

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA
PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL
DISTRITO DE QUEHUE – CANAS – CUSCO 2024**

PRESENTADO POR:

Br. JOEL ERNESTO OVIEDO OJEDA

Br. PAOLO FRANCISCO HURTADO AMPUERO

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

ASESOR:

Dr. RONALD LUIS LÓPEZ ZAPANA

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el Asesor DR. RONALD LUIS LÓPEZ ZAPANA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E
HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUPIBANDA DEL
DISTRITO DE QUEHUE - CANAS - CUSCO 2024

Presentado por: JOEL ERNESTO OVIEDO OSEDA DNI N° 72420723;
presentado por: PAOLO FRANCISCO HURTADO AMPUERO DNI N°: 45958109
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

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

Cusco, 18 de SEPTIEMBRE de 2026


Firma

Post firma Ronald Luis López Zapana

Nro. de DNI 23923900

ORCID del Asesor 0000-0003-0148-6535

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:626298446

Oviedo- Hurtado

Evaluación Geológica, Geotécnica e Hidrológica para el Diseño de la Presa Chaupibanda del Distrito de Quehue- Canas- Cusc...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:626298446

Fecha de entrega

18 sep 2026, 12:53 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

18 sep 2026, 1:00 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis Oviedo.-Hurtado.pdf

Tamaño del archivo

32.6 MB

323 páginas

101.010 palabras

458.829 caracteres

10% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Exclusiones

- N.º de coincidencia excluida

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, manifestamos nuestra devoción y cariño a Dios por estar a nuestro lado en cada fase de nuestra educación universitaria, darnos fortaleza ante los obstáculos y ayudarnos a lograr uno de los objetivos más relevantes de nuestra vida laboral.

Manifestamos nuestro especial agradecimiento al Dr. Ronald Luis López Zapana, quien, mediante su orientación, experiencia y disposición, contribuyó significativamente al desarrollo de la presente investigación. Sus recomendaciones y observaciones fueron fundamentales para mejorar y culminar este trabajo.

Asimismo, agradecemos a los ingenieros dictaminantes y replicantes por el tiempo dedicado a la revisión de la investigación y por sus valiosos aportes, los cuales permitieron corregir, fortalecer y enriquecer su contenido.

Queremos rendir homenaje a los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, quienes durante toda nuestra vida en la universidad brindaron sus experiencias y saberes, lo que tuvo un impacto significativo en nuestra educación ética, profesional y académica.

Por último, queremos expresar nuestro agradecimiento a nuestros amigos, familiares y colegas por su constante apoyo, comprensión y motivación. Cada uno de ellos, ya sea directa o indirectamente, participó en este proceso y nos motivó a seguir adelante hasta llegar al final de nuestra investigación actual y de nuestra carrera profesional.

Los autores



DEDICATORIA

Este Trabajo de tesis lo dedico principalmente a Dios, por darme salud y guiar mi camino hasta este día tan especial.

A mi querida familia mi madre, mi padre, mis hermanas y mi cuñado, gracias por la constancia la paciencia y el esfuerzo que tienen conmigo para permitirme llegar a cumplir esta meta, y así lograr culminar en esta mi etapa de formación profesional.

También agradecer a mis docentes, compañeros y amistades quienes siempre me apoyaron y creyeron en mí para poder culminar esta etapa gracias totales.

Joel Ernesto Oviedo Ojeda

A Dios, por brindarme la vida, la fortaleza, el discernimiento y la persistencia requeridos para avanzar y lograr este objetivo significativo; y a San Cristóbal, por su resguardo y compañía espiritual en todo este trayecto.

Por su amor, sacrificio, consejos y apoyo incondicional durante toda mi vida, a mis amados padres Cerelina y Francisco. Te agradezco por confiar en mí y animarme a seguir adelante.

A mis hermanos, Isabel, Andre, Franco y Yolvi, por su afecto, compañía y palabras de apoyo en cada fase de este recorrido.

A mi esposa, Milagros, por brindarme su amor, apoyo constante, paciencia y comprensión a lo largo de todo este proceso; y a mis hijos, Valeska y Fabián, por ser la principal motivación que me impulsa a mejorarme cada día.

A mis primos, tíos y otros parientes, por su presencia, su cariño y motivación para continuar.

Mi más sincero y profundo agradecimiento a todos ustedes por haber contribuido a este éxito.

Paolo Francisco Hurtado Ampuero



RESUMEN

La investigación “Evaluación geológica, geotécnica e hidrológica para el diseño de la presa Chaupibanda del distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024” tuvo como objetivo evaluar las características físicas del terreno y de la microcuenca aportante, con el propósito de brindar sustento técnico al diseño de una presa de almacenamiento hídrico en la comunidad campesina de Chaupibanda. La metodología comprendió recopilación de información geológica, bibliográfica y cartográfica, trabajos de campo, análisis geomorfológico y geológico, ejecución de calicatas, ensayos de laboratorio, pruebas de permeabilidad, caracterización de materiales de préstamo y estudios geofísicos mediante sondeo eléctrico vertical, MASW y refracción sísmica.

Los resultados muestran condiciones naturales favorables para el emplazamiento de la presa, debido a la configuración elíptica cóncava del vaso, la presencia de laderas, colinas, cerros y terrazas aluviales, además de unidades volcánicas y depósitos cuaternarios útiles para el análisis de cimentación. Hidrológicamente, la microcuenca Yuraccasa constituye el principal aporte, con una oferta anual estimada de 129,860.63 m³ y una oferta al 75 % de persistencia de 76,864.42 m³, permitiendo almacenar agua en época de lluvias para su aprovechamiento en temporada seca. Los estudios geofísicos y geotécnicos evidencian materiales rígidos a muy rígidos, baja permeabilidad y condiciones adecuadas para una presa de terraplén, considerando compactación, impermeabilización, drenaje y protección de taludes.

Se concluye que la presa de terraplén en Chaupibanda es técnicamente viable y contribuirá a incrementar la disponibilidad de agua para las actividades agropecuarias de la comunidad.

Palabras clave: Geología, Geotecnia, Hidrología, Presa de terraplén, Chaupibanda.



ABSTRACT

The research “Geological, geotechnical and hydrological evaluation for the design of the Chaupibanda Dam in the district of Quehue–Canas–Cusco, 2024” aimed to assess the physical characteristics of the terrain and the contributing micro-watershed in order to provide technical support for the design of a water-storage dam in the rural community of Chaupibanda. The methodology included the collection of geological, bibliographic, and cartographic information; fieldwork; geomorphological and geological analysis; excavation of test pits; laboratory testing; permeability tests; characterization of borrow materials; and geophysical studies using vertical electrical sounding, MASW, and seismic refraction.

The results indicate favorable natural conditions for dam siting due to the concave elliptical configuration of the reservoir basin, the presence of slopes, hills, mountains, and alluvial terraces, as well as volcanic units and Quaternary deposits suitable for foundation analysis. Hydrologically, the Yuraccasa micro-watershed is the main water source, with an estimated annual supply of 129,860.63 m³ and a 75% persistence supply of 76,864.42 m³, allowing water to be stored during the rainy season for use in the dry season. Geophysical and geotechnical studies indicate stiff to very stiff materials, low permeability, and suitable conditions for an earthfill dam, provided that compaction, waterproofing, drainage, and slope protection measures are properly implemented.

It is concluded that an earthfill dam in Chaupibanda is technically feasible and will contribute to increasing water availability for the community’s agricultural and livestock activities, while supporting local water management.

Keywords: Geology, Geotechnics, Hydrology, Earthfill dam, Chaupibanda.



INTRODUCCIÓN

El trabajo realizado en la zona destinada a la presa Chaupibanda, que se encuentra en el distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento del Cusco, abarca los elementos geofísicos, geomorfológicos, hidrológicos, geológicos y geotécnicos. Con el objetivo de adquirir información técnica que permita determinar las condiciones de diseño y funcionamiento de la infraestructura hidráulica, el análisis se concentró en identificar las propiedades del terreno y de la microcuenca que provee al sistema futuro de almacenamiento. Se identificaron y describieron las unidades geológicas, los contornos del relieve y las estructuras más relevantes en la zona como parte de este procedimiento, prestando atención particularmente a aquellos elementos que tienen el potencial de afectar la estabilidad del lugar y la capacidad para conservar agua.

El comportamiento de la microcuenca fue analizado en el componente hidrológico, tomando como base la precipitación, la escorrentía, el caudal mínimo y máximo, la disponibilidad de agua y la respuesta ante situaciones de avenida. Al mismo tiempo, se realizaron estudios geotécnicos para examinar las condiciones del suelo de la fundación, las características de los materiales, sus propiedades de permeabilidad y cómo reaccionan las discontinuidades. Se adquirió esta información a través de métodos de exploración geofísica, ensayos en laboratorio y reconocimiento de campo. Asimismo, se examinaron los procesos geodinámicos que tienen el potencial de impactar el emplazamiento, considerando la actividad sísmica y la eventualidad de erosión, formación de cárcavas, hundimientos, lluvias fuertes y heladas.

El examen combinado de estos datos permitió la identificación de los factores hidrológicos, geológicos y geotécnicos más importantes que determinan el emplazamiento de una presa de terraplén en Chaupibanda. Los resultados alcanzados sirven como soporte técnico para evaluar la estabilidad del terreno, anticipar potenciales zonas de infiltración y definir las condiciones que se requieren para que la obra proyectada opere de manera correcta. Además, la regulación y el almacenamiento del agua en las épocas de abundancia permitirían tener acceso a este recurso durante la estación seca, lo que favorecería el progreso de las actividades agropecuarias de la comunidad campesina de Chaupibanda y una administración más eficaz del agua en esta zona andina.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
INTRODUCCIÓN.....	V
CAPITULO I.....	18
ASPECTOS GENERALES.....	18
1.1. GENERALIDADES	18
1.1.1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.2. UBICACIÓN.....	19
1.2.1. UBICACIÓN POLÍTICA	19
1.2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	19
1.3. ACCESIBILIDAD	21
1.4. ÁREA DE INFLUENCIA.....	21
1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
1.5.1. PROBLEMA GENERAL.....	22
1.5.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	22
1.6. OBJETIVOS	22
1.6.1. OBJETIVO GENERAL.....	22
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
1.7. HIPÓTESIS	23
1.8. VARIABLES.....	23
1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	23
1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	24
1.9. JUSTIFICACIÓN	24
1.10. METODOLOGÍA DE TRABAJO	25
1.10.1. ETAPA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE	25



1.10.2.	ETAPA DE TRABAJO DE CAMPO	25
1.10.3.	ETAPA DE PROCESAMIENTO DE DATOS (POST CAMPO)	25
1.10.4.	MATERIALES Y EQUIPOS	26
1.10.5.	REDACCIÓN DE LA TESIS	26
1.11.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	27
1.12.	CLIMA	29
1.13.	TEMPERATURA	29
1.14.	PRECIPITACIÓN	29
1.15.	MATRIZ DE CONSISTENCIA	31
1.16.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	32
CAPITULO II.....		34
MARCO TEÓRICO		34
2.1.	MARCO REFERENCIAL	34
2.1.1.	ANTECEDENTES	34
ANTECEDENTES LOCALES		34
ANTECEDENTES NACIONALES		36
ANTECEDENTES INTERNACIONALES		37
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	39
2.2.1.	Presas y obras de almacenamiento hídrico	39
2.2.2.	Geomorfología aplicada al diseño de presas	41
2.2.3.	Geología y litoestratigrafía aplicada al vaso y eje de presa	42
2.2.4.	Geología estructural y discontinuidades	43
2.2.5.	Geotecnia aplicada al diseño de la presa	43
2.2.5.1.	Prospección directa: calicatas y muestreo	44
2.2.5.2.	Clasificación SUCS y propiedades índices	44
2.2.5.3.	Resistencia al corte	45
2.2.5.4.	Capacidad portante y asentamientos	45
2.2.5.5.	Caracterización geomecánica de rocas: RQD y RMR	46



2.2.6.	Permeabilidad, filtración e hidrogeología aplicada	46
2.2.6.1.	Ensayo Lefranc y permeabilidad en suelos	47
2.2.6.2.	Ensayo Lugeon y permeabilidad en roca	47
2.2.6.3.	Unidades hidrogeológicas	48
2.2.7.	Hidrología aplicada al almacenamiento hídrico	48
2.2.8.	Geofísica aplicada al reconocimiento del subsuelo	49
2.2.8.1.	Refracción sísmica	49
2.2.8.2.	Método MASW	50
2.2.8.3.	Sondeo Eléctrico Vertical - SEV	50
2.2.9.	Geodinámica y peligros geológicos	52
2.2.10.	Normas conceptuales para el diseño geológico-geotécnico de la presa	52
2.2.11.	Definiciones técnicas complementarias	52
CAPITULO III		56
GEOMORFOLOGÍA		56
3.1.	INTRODUCCIÓN	56
3.2.	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	56
3.2.1.	FAJA INTRACORDILLERANA	56
3.2.2.	CORDILLERA ORIENTAL	56
3.3.	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	58
3.3.1.	LADERAS	58
3.3.2.	COLINAS	58
3.3.3.	CERROS	59
3.3.4.	TERRAZA ALUVIAL	60
CAPITULO IV		61
GEOLOGÍA		61
4.1.	INTRODUCCIÓN	61
4.2.	GEOLOGÍA REGIONAL	61
4.2.1.	GRUPO CATAZA (PN-ta)	62



4.2.2.	GRUPO MAURE (Nm-ma3; Nm-ma2; Nm-ma1)	63
4.2.3.	FORMACIÓN CASABLANCA (NQ-cb).....	63
4.2.4.	FORMACIÓN BARROSO (NQ-ba/pi; NQ-ba/da,an).....	64
4.2.5.	FORMACIÓN ARCURQUINA (Kis-ar).....	64
4.2.6.	DEPOSITO MORRÉNICO (Qpl-mo).....	65
4.2.7.	DEPOSITO ALUVIAL (Qh-al).....	65
4.2.8.	DEPOSITO FLUVIOGLACIAR (Qh-fg)	66
4.3.	GEOLOGÍA LOCAL	66
4.3.1.	CENTRO VOLCÁNICO LEQUE LEQUE - EVENTO 3 (Nm- leE3).....	66
4.3.2.	FORMACIÓN TINAJANI (Nm-ti3).....	67
4.3.3.	SECUENCIA VOLCÁNICA EL SALTO (Np-sa)	67
4.3.4.	DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al).....	68
4.3.5.	INTERPRETACIÓN COLUMNA TIPO.....	69
4.4.	UNIDADES ESTRUCTURALES	70
CAPITULO V		71
HIDROLOGÍA		71
5.1.	GENERALIDADES	71
5.2.	EVALUACIÓN HIDROLÓGICA.....	71
5.2.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA Y DEL RÍO PRINCIPAL DE LA FUENTE NATURAL DE AGUA.....	72
5.2.2.	UBICACIÓN HIDROGRÁFICA Y CODIFICACIÓN.....	73
5.2.2.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	78
5.2.2.2.	PROPIEDADES FISIAGRÁFICAS DE LA CUENCA COLECTORA Y ZONA AGRÍCOLA.....	79
➤	Microcuenca Yuraccasa	81
➤	Microcuenca Chaupibanda.....	81
5.2.2.3.	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CUENCA COLECTORA Y ÁMBITO AGRÍCOLA.....	82
➤	a) Grupo Tacaza (Tm-ta).....	82



➤ b) Morrenas fluvio glaciares.....	83
5.3. EVAPORACIÓN	84
5.3.1. FACTOR DE RELACIÓN ENTRE LA EVAPORACIÓN PROMEDIO Y LA DEL RESERVORIO.....	84
5.3.2. PERDIDA POR EVAPORACIÓN DE RESERVORIOS	85
5.3.3. PRECIPITACIÓN.....	86
➤ Fuente de Información	87
➤ Revisión y Extensión de los Registros.....	87
➤ Análisis Regional de la Precipitación	87
➤ Distribución Estacional de las Precipitaciones	88
5.3.4. ESCORRENTÍA.....	88
➤ Información Existente	89
➤ Metodología	89
➤ Producción de caudales (elaboración de la metodología)	89
5.4. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA COLECTORA .91	
5.4.1. SISTEMAS DE DRENAJE CUENCA	93
5.4.1.1. NÚMERO DE ORDEN DEL CANAL PRINCIPAL.....	93
5.4.1.2. DENSIDAD DE DRENAJE.....	94
5.4.1.3. TIPO DE RED DRENAJERA	94
5.4.1.4. LONGITUD DEL FLUJO EN LA SUPERFICIE.....	94
5.4.1.5. RELACIONES DE SUPERFICIE	94
5.4.1.6. ÁREA, PERÍMETRO Y CONFIGURACIÓN DE LA CUENCA	94
a) Superficie de drenaje (km ²).....	94
b) Longitud del perímetro de la cuenca (en kilómetros).....	95
c) Coeficiente de Gravelius.....	95
d) Factores de Forma.....	95
e) Curva Hipsométrica	95
f) Rectángulo Equivalente.....	97
5.4.1.7. PARÁMETRO DE RELIEVE DE LA CUENCA	97
a) Inclinación del terreno	97
b) Pendiente del Río	98
c) Altitud promedio de la Cuenca.....	98



d) Media de la altitud del sector de riego	98
5.4.1.8. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	98
5.5. CENSO DE LAS INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS Y FUENTES DE AGUA EN LA ÁREA DE ESTUDIO	99
5.5.1. CATÁLOGO DE LAS FUENTES HÍDRICAS.....	99
5.5.2. INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EXISTENTE.....	100
5.6. CALIDAD DE AGUAS.....	100
5.7. JUZGAMIENTO DE AGUAS CON FINES DE RIEGO	101
5.7.1. RAZÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO (RAS).....	101
5.7.2. RAZÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO (RAS) AJUSTADO	101
5.7.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL AGUA	101
5.8. ANÁLISIS Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y METEOROLÓGICA.....	102
5.8.1. PRECIPITACIÓN PLUVIAL	102
5.8.1.1. ANÁLISIS A TRAVÉS DE GRÁFICOS.....	103
5.8.1.2. ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS	103
a) Consistencia en la Media.....	103
b) Estabilidad en la desviación estándar	104
5.8.1.3. COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN	104
5.8.1.4. PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE	104
5.8.1.5. ANÁLISIS REGIONAL DE LAS PRECIPITACIONES	104
5.8.1.6. PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN UN PERÍODO DE 24 HORAS	106
5.8.1.7. PRECIPITACIÓN EFECTIVA AL 75% DE PERSISTENCIA (PE75) ..	108
5.9. OFERTA HÍDRICA	109
5.10. ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS	110
5.10.1. CAUDALES MÁXIMOS.....	110
5.10.2. CAUDALES MÍNIMOS	112
5.10.3. TRÁNSITO DE AVENIDAS	112



5.10.3.1.	HIDROGRAMA DE ENTRADA	112
5.10.3.2.	TRÁNSITO DE AVENIDA MÁXIMA	114
5.11.	BALANCE HÍDRICO	117
5.11.1.	BALANCE HÍDRICO DINÁMICO PARA LA SIMULACIÓN DE OPERACIÓN DE LA PRESA CHAUIBANDA.....	117
a)	Descripción del Balance Hídrico Dinámico.....	117
b)	Creación de la operación de la presa	119
5.12.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN TÉRMINOS DE APROVECHAMIENTO E INGENIERÍA	120
5.12.1.	INFRAESTRUCTURA – OBRAS CIVILES	121
5.12.1.1.	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	121
5.12.1.2.	SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	122
5.12.1.3.	SISTEMA DE CONDUCCIÓN	123
5.12.1.4.	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	123
5.12.2.	PLANTEAMIENTO TÉCNICO DEL PLAN DE DISTRIBUCIÓN Y PLANTEAMIENTO HIDRÁULICO.....	123
5.13.	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS	123
5.13.1.	BORDE LIBRE	124
5.13.1.1.	ALTURA DE LA OLA POR VIENTO	124
5.13.1.2.	ALTURA DE LA OLA POR SISMO	124
5.13.1.3.	ALTURA ASENTAMIENTO PRESA	125
5.13.1.4.	ALTURA DE SEGURIDAD PRESA	125
5.13.2.	GEOMETRÍA DEL DIQUE	125
5.13.2.1.	NIVEL DE LA CORONA DEL DIQUE:	125
5.13.2.2.	ANCHO DE LA CORONA.....	126
a)	(de acuerdo con USBR).....	126
b)	(Seguns Norma Japoneza)	126
c)	Según ICOLD	126
d)	Según Bureau of Reclamation	126
5.13.2.3.	TALUDES SUGERIDOS.....	126



5.13.3.	ESTABILIDAD DE TALUDES CON ASISTENCIA DEL SOFTWARE SLIDE	127
a)	Modelo	127
b)	Talud Aguas arriba.....	127
c)	Talud aguas abajo.....	128
d)	Resumen.....	128
5.14.	OBRA DE TOMA.....	130
5.15.	TUBERÍA DE OPERACIÓN	130
a)	Datos	130
b)	Rugosidad Manning.....	130
c)	Dimensionamiento Inicial.....	131
d)	Cálculo de Perdidas y Ajuste de D	131
5.16.	ALIVIADERO	133
5.16.1.	CALCULO HIDRÁULICO CON HCANALES	134
a)	Tramo 0+000 a 0+045.....	134
b)	Tramo 0+000 a 0+100.....	134
c)	Estimación de resalto en la poza de descarga rápida (vertedor preso).....	135
5.17.	MODELACIÓN RED DE FLUJO	135
5.17.1.	Red de flujo presa Chaupibanda	135
CAPITULO VI		136
GEODINÁMICA		136
6.1.	GENERALIDADES	136
6.2.	GEODINÁMICA INTERNA.....	136
6.2.1.	UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	136
6.2.2.	SISMOLOGÍA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	136
6.2.3.	FUNDAMENTOS DE LOS ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW	138
6.2.3.1.	FUNDAMENTO DEL ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA	138
6.2.3.2.	FUNDAMENTO DEL ENSAYO MASW	140
6.2.3.3.	MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL.....	141
6.2.4.	PROCEDIMIENTO Y EQUIPOS DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.....	143



6.2.4.1.	PROCEDIMIENTO DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW	143
6.2.4.2.	PROCEDIMIENTO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL	143
6.2.4.3.	EQUIPO DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW	144
6.2.4.4.	EQUIPO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL	145
6.2.5.	INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES	146
6.2.5.1.	INTERPRETACIÓN - REFRACCIÓN SÍSMICA	146
1.	PERFIL SÍSMICO LS- 01.....	146
2.	PERFIL SÍSMICO LS- 02.....	147
6.2.5.2.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - SONDAJES MASW	147
1.	Sondaje MASW- 1	147
2.	Sondaje MASW- 2	148
6.2.5.3.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - SONDAJES ELÉCTRICO VERTICAL	148
1.	Sección Geo eléctrica 01, 02 y 03	148
6.2.6.	CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO	149
6.2.6.1.	CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO SEGÚN NORMA IBC.....	149
6.2.6.2.	CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO SEGÚN NORMA TÉCNICA E 030 2019	150
6.2.7.	PARÁMETROS ELÁSTICOS.....	151
6.3.	GEODINÁMICA EXTERNA	153
6.3.1.	GEODINÁMICA DEL ÁREA DEL VASO	153
6.3.2.	GEODINÁMICA DEL EJE DE LA PRESA.....	154
6.3.3.	IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.....	155
6.3.4.	ESTUDIOS Y DOCUMENTOS TÉCNICOS	155
6.3.5.	LLUVIAS INTENSAS	156
6.3.6.	LAS HELADAS	157
6.3.7.	LA SEQUÍA	158
6.3.8.	TORRENTA ELÉCTRICA.....	160
6.3.9.	VIENTOS FUERTES	160



6.3.10.	INCENDIOS FORESTALES.....	161
6.3.11.	RIESGOS EN EL ÁREA IMPACTADA	161
6.3.12.	EVALUACIÓN DE LA ESTRATIGRAFÍA DE PELIGROS.....	162
6.3.12.1.	LLUVIAS INTENSAS	162
6.3.12.2.	HELADAS.....	162
6.3.12.3.	SEQUIAS	163
6.3.12.4.	TORMENTAS ELÉCTRICAS	163
6.3.12.5.	VIENTOS FUERTES	163
6.3.12.6.	INCENDIO FORESTALES.....	163
6.3.13.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	164
CAPITULO VII		167
GEOTECNIA		167
7.1.	GENERALIDADES	167
7.2.	DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA.....	167
7.2.1.	ESTUDIO PETROGRÁFICO M-01 (Calicata 01)	167
7.2.2.	ESTUDIO PETROGRÁFICO M-01 (Calicata 01)	170
7.2.3.	ESTUDIO PETROGRÁFICO M-02 (Calicata 02)	171
7.3.	REGISTROS Y ENSAYOS DE CAMPO	172
7.4.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	173
7.5.	PERMEABILIDAD IN SITU	173
7.6.	PERMEABILIDAD EN LABORATORIO	175
7.7.	GEOTECNIA CIMENTACIÓN DE LA PRESA CHAUIBANDA	177
7.2.1.	MATERIAL DE PRÉSTAMO.....	177
7.2.2.	DISEÑO PRESA DE GRAVEDAD EN TERRAPLÉN.....	178
7.8.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE DIACLASAS, ESTACIONES GEOMECAÑICAS EG-01 A EG-05, PRESA CHAUIBANDA.....	178
7.2.1.	Estación estructural EG-01	179
7.2.2.	Estación estructural EG-02	181



7.2.3.	Estación estructural EG-03	183
7.2.4.	Estación estructural EG-04	186
7.2.5.	Estación estructural EG-05	188
7.2.6.	Resumen de estaciones estructurales.....	191
7.2.7.	Interpretación estructural general.....	191
7.2.8.	Mapa estructural local	192
7.2.9.	Perfil geológico-estructural A-A' del eje de presa	193
7.2.10.	Consideraciones geológico-geotécnicas para el diseño.....	193
CONCLUSIONES		195
RECOMENDACIONES.....		196
BIBLIOGRAFÍA.....		197
ANEXOS.....		204
ANEXOS HIDROLOGÍA		205
PRECIPITACIÓN REGIONALIZADA		244
ANEXOS GEOTÉCNICOS.....		266
ANEXOS GEOQUÍMICOS.....		289
ANEXOS GEOFÍSICOS.....		290
REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS: EXPERIMENTO DE REFRACCIÓN SÍSMICA		290
REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS - ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA		291
LINEA LS – 01		292
LINEA LS - 02		293
REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS - ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA		294
CURVA DE DISPERSIÓN– SONDAJES MASW - SONDAJES MASW – 1 ..		295
CURVA DE DISPERSIÓN– SONDAJES MASW - SONDAJES MASW – 2 ..		296
CURVAS DE INVERSIÓN DE RESISTIVIDAD		297
CURVAS DE INVERSIÓN DE RESISTIVIDAD		298



CURVAS DE INVERSIÓN DE RESISTIVIDAD	299
SECCION GEOELECTRICA 03, 02 Y 01	300
GEOFÍSICA – REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW - LS-01/MASW-1	301
GEOFÍSICA – REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW - LS-02/MASW-2	301
GEOFÍSICA – SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL - SEV-1	302
GEOFÍSICA – SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL - SEV-2	302
GEOFÍSICA – SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL - SEV-3	303
TABLAS RESUMEN DE ENSAYO GEOFÍSICO (REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW)	303
MAPA DE UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS GEOFISICOS	305
ANEXO MAPAS	306

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Descripción geográfica y normativa de la microcuenca Chaupibanda	19
Tabla 2: Ubicación Geográfica	20
Tabla 3: Especificaciones sobre el acceso a la vía	21
Tabla 4: Codificación Hidrográfica de la cuenca	74
Tabla 5: Ubicación UTM	79
Tabla 6: Fisiografía de la cuenca Chaupibanda	81
Tabla 7: Resumen de precipitaciones	88
Tabla 8: Resumen generación de caudales microcuenca Yuraccasa (m ³ /s)	90
Tabla 9: Parámetros geomorfológicos primordiales de la microcuenca Yuraccasa.	92
Tabla 10: Tiempos de concentración diferentes métodos	99
Tabla 11: Análisis Químico de agua, microcuenca Yuraccasa	100
Tabla 12: Regionalización de la precipitación con la altitud.....	105
Tabla 13: Precipitaciones máximas en 24 horas Regionalizada.....	107
Tabla 14: Determinación factores de Influencia para las precipitaciones máximas en 24 horas	108
Tabla 15: Precipitaciones al 75% Microcuenca Yuraccasa(mm).	108
Tabla 16: Precipitaciones al 75% Áreas de Cultivo(mm).....	108



Tabla 17: Precipitación efectiva de 75% de persistencia (mm).	109
Tabla 18: Oferta Hídrica microcuenca Yuraccasa	110
Tabla 19: Caudales máximos de diseño	112
Tabla 20: Generación Hidrograma de entrada Microcuenca Yuraccasa	113
Tabla 21: Generación del tránsito de Avenida Máxima	115
Tabla 22: Balance hídrico Oferta & Demanda en (l/s).	118
Tabla 23: Balance en términos de Volúmenes(m ³)	119
Tabla 24: Distribución de Volúmenes.....	120
Tabla 25: Fases constructivas y la calidad de los elementos conformante.....	122
Tabla 26: Coordenadas UTM punto de captación	122
Tabla 27: Altura de seguridad presa	125
Tabla 28: Pendientes de taludes para presas Homogéneas	126
Tabla 29: Factores de seguridad mínimos según US Corps of Engineers.....	128
Tabla 30: Análisis Estático y Seudoestático Presa llena	128
Tabla 31: Coeficiente Manning Para tuberías	131
Tabla 32: Coeficientes de perdida en los controles.....	132
Tabla 33: Factores sísmicos del suelo según RNE E.030.....	137
Tabla 34: Reporte de peligros en el área de estudio desde el 2015.....	155
Tabla 35: Ocurrencia de los fenómenos de mayor intensidad.....	156
Tabla 36: Formato de antecedentes de peligros en la zona de estudio.....	162
Tabla 37: Estratigrafía de peligros.	163
Tabla 38: Análisis de vulnerabilidad.....	164
Tabla 39: Identificación de la vulnerabilidad.....	165
Tabla 40: Matriz de identificación del riesgo.	165
Tabla 41: Características de la roca M-01 en C-1	167
Tabla 42: Localización geográfica de los lugares de estudio en Google Earth.....	168
Tabla 43: Características de la roca M-02 en C2	171
Tabla 44: Características de la roca M-02 en C2	172



Tabla 45: Recopilación de datos de campo	172
Tabla 46: Resumen de ensayos básicos realizados en el laboratorio	173
Tabla 47: Resumen de ensayos especializados de laboratorio	173
Tabla 48: Parámetros de permeabilidad y densidad para el material de cantera	173
Tabla 49: Resistencia a la compresión inconfiada en núcleos de roca.....	173
Tabla 50: Información sobre las pruebas de permeabilidad	175
Tabla 51: Parámetros para el cálculo de permeabilidad.....	175
Tabla 52: Calculo del volumen.....	175
Tabla 53: Calculo del Gradiente Hidráulico	176
Tabla 54: Cimentación de la presa Chaupibanda.....	177
Tabla 55: Resistencia a la Compresión Inconfiada en Núcleos de Roca Intacta	177
Tabla 56: Material de Préstamo	177
Tabla 57: Ensayo de Corte Directo	178
Tabla 58: Densidad y permeabilidad del material de cantera	178
Tabla 59: Determinación de la escorrentía y la retención de la microcuenca	205
Tabla 60: Determinación del Coeficiente de agotamiento	206
Tabla 61: Generación de Caudal microcuenca	207
Tabla 62: Calculo Regresión Triple	208
Tabla 63: Precipitación Efectiva Real.....	209
Tabla 64: Números Aleatorios.....	210
Tabla 65: Caudales Generados	211
Tabla 66: Caudales generados(m^3/s) - Yuraccasa	212
Tabla 67: Generación de Caudal Media Mensual (m^3/s) para diferentes percentiles - Yuraccasa.....	213
Tabla 68: Factores de Influencia Geográfica - Yuraccasa	214
Tabla 69: Información Hidrometeorológica e hidrométrica histórica, completada y sintética Histórica - Kayra	215
Tabla 70: Análisis de Estadístico de Saltos - Kayra	216
Tabla 71: Precipitación Total Mensual Histórica - Písaq.....	217



Tabla 72: Análisis de Estadístico de Saltos - Písaq.....	218
Tabla 73: Registro de Precipitación Media Mensual - Sicuani.....	219
Tabla 74: Análisis de Estadístico de Saltos - Sicuani.....	220
Tabla 75: Registro de Precipitación Media Mensual - Yauri	221
Tabla 76: Análisis de Estadístico de Saltos - Yauri	222
Tabla 77: Registro de Precipitación Media Mensual - Angostura	223
Tabla 78: Análisis de Estadístico de Saltos – Angostura.....	224
Tabla 79: Registro de Precipitación Media Mensual – Paucartambo.....	225
Tabla 80: Análisis de Estadístico de Saltos – Paucartambo.....	226
Tabla 81: Registro de Precipitación Media Mensual – Chitapampa.....	227
Tabla 82: Análisis de Estadístico de Saltos – Chitapampa.....	228
Tabla 83: Registro de Precipitación Media Mensual Completada - Kayra	229
Tabla 84: Análisis de Estadístico de Saltos – Kayra Completada	230
Tabla 85: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Písaq	231
Tabla 86: Análisis de Estadístico de Saltos – Písaq Corregido	232
Tabla 87: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Sicuani.....	233
Tabla 88: Análisis de Estadístico de Saltos – Sicuani Corregido.....	234
Tabla 89: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Yauri.....	235
Tabla 90: Análisis de Estadístico de Saltos – Yauri Completada	236
Tabla 91: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Angostura	237
Tabla 92: Análisis de Estadístico de Saltos – Angostura Completada.....	238
Tabla 93: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Paucartambo	239
Tabla 94: Análisis de Estadístico de Saltos – Paucartambo Corregido	240
Tabla 95: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Chitapampa	241
Tabla 96: Análisis de Estadístico de Saltos – Chitapampa Corregido	242
Tabla 97: Análisis de Doble Masa.....	243
Tabla 98: Precipitación Media de la Microcuenca Yuraccasa.....	244
Tabla 99: Coordenadas UTM – Ensayos Geofísicos – Refracción Sísmica	303



Tabla 100: Coordenadas UTM – Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW	303
Tabla 101: Coordenadas UTM – Ensayos Geofísicos – Sondaje Eléctrico Vertical.....	303
Tabla 102: Longitud - Refracción Sísmica.....	303
Tabla 103: Longitud – MASW	304
Tabla 104: Resumen de los Ensayos de Velocidades de Ondas P – Refracción Sísmica	304
Tabla 105: Resumen de los Ensayos de Velocidades de Ondas S – MASW	304

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1: Ruta de Cusco a Quehue y Chaupibanda.	21
Imagen 2: Imagen Satelital de la Comunidad Campesina de Chaupibanda.	21
Imagen 3: Promedio diario de temperatura a lo largo del año.	29
Imagen 4: Mapa geomorfológico del área de investigación.....	57
Imagen 5: Vistas de las colinas del área de estudio.....	59
Imagen 6: Panorama del cerro Ccoñomoro, que se encuentra al noreste de la región de análisis.....	59
Imagen 7: Sección Estratigráfica Tipo del Vaso – Represa de Chaupibanda.....	68
Imagen 8: Columna estratigráfica del vaso.	69
Imagen 9: Hidrografía de la MicroCuenca Chaupibanda.	73
Imagen 10: Ubicación Geográfica de Ámbito Agrícola y Área Colectora cuenca Chaupibanda.	79
Imagen 11: Situación de la región de análisis en las áreas sísmicas peruanas.....	137

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Vista de la quebrada Yurac Casa Huayra	58
Foto 2: Vista de la Terraza aluvial al pie de la colina Sillac Huasi de las áreas de pastoreo y cultivo.....	60
Foto 3: Muestra de roca gris oscura con fenocristales de plagioclasas	67
Foto 4: Observación de la muestra de piroclastos.	67
Foto 5: Perspectiva de la muestra de roca toba cristalina y lítica	68
Foto 6: Estratificación de la secuencia volcánica de salto.....	69



Foto 7: Vaso Chaupibanda	99
Foto 8: Vista del Hundimiento de suelo.....	154
Foto 9: Vista de la Cárcava.....	154
Foto 10: Muestra de mano M-01	170
Foto 11: Muestra de mano M-02.....	171
Foto 12: Registro de la data sísmica.....	301
Foto 13: Personal realizando el golpe para el shot	301
Foto 14: Terreno donde se realizó el estudio y geófonos conectados al cable sísmico..	302
Foto 15: Registro de datos para la línea LS-02.....	302
Foto 16: Registro de la Resistividad Aparente para el SEV-1	302
Foto 17: Terreno donde se realizó el estudio, cables de corriente y potencial conectados a los electrodos.....	302
Foto 18: Registro de la Resistividad Aparente para el SEV-3	303



CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. GENERALIDADES

1.1.1. INTRODUCCIÓN

Para que las actividades de la agricultura y la ganadería se desarrollen en las áreas altoandinas del Perú, es esencial utilizar correctamente los recursos hídricos. En estas zonas, la cantidad de agua disponible experimenta una notable fluctuación estacional, con un aumento de las precipitaciones en los meses lluviosos y una reducción significativa en la estación seca. Esta circunstancia afecta directamente la economía y la calidad de vida de las comunidades rurales al poner límites a la producción agrícola.

La comunidad de Chaupibanda, situada en el distrito de Quehue, en la provincia de Canas y el departamento del Cusco, tiene condiciones naturales que requieren que se analicen las diferentes opciones para la regulación y almacenamiento del agua. Si se construyera una presa, se podría recolectar y almacenar el agua de las lluvias y las escorrentías superficiales durante la época húmeda para usarla después en los meses con menos disponibilidad de agua. No obstante, para asegurar la viabilidad técnica de una obra como esta, es esencial que se conozcan con anticipación las condiciones geotécnicas, geológicas e hidrológicas del área donde se va a emplazar.

El propósito de este trabajo de investigación, denominado "Evaluación geológica, geotécnica e hidrológica para el diseño de la presa Chaupibanda del distrito de Quehue-Cusco-Canas 2024", es examinar las propiedades físicas del terreno en el que se planea construir la infraestructura hidráulica. Para esto, se tiene en cuenta el estudio de la geomorfología, la litoestratigrafía, la geología estructural, las condiciones del terreno de fundación desde un punto de vista geotécnico, los aspectos hidrológicos de la microcuenca y cómo se comporta el subsuelo a través de métodos directos e indirectos de prospección.

La valoración geológica posibilita el reconocimiento de las unidades litológicas existentes en la zona analizada, además de las estructuras geológicas que pueden afectar la seguridad y la estanqueidad de la presa. El análisis geomorfológico ayuda a identificar la pendiente, las formas del relieve, las laderas, las terrazas y las áreas que son propensas a procesos geodinámicos. Además, el análisis geotécnico posibilita establecer las propiedades mecánicas y físicas de rocas y suelos mediante calicatas, ensayos en laboratorio, pruebas de permeabilidad y caracterización de materiales prestados.



Asimismo, el estudio hidrológico posibilita examinar aspectos esenciales para calcular la capacidad de almacenamiento y operación de la presa, como son la demanda y oferta hídrica, la precipitación, el balance hídrico y la escurrimiento del área. Los métodos geofísicos, como la refracción sísmica, el MASW y el sondeo eléctrico vertical, posibilitan que se interpreten las condiciones del subsuelo, se distingan los estratos, se calculen los espesores y se identifiquen áreas potencialmente afectadas o filtrantes.

En este contexto, el objetivo de esta investigación es combinar datos geofísicos, hidrológicos, geológicos y geotécnicos con el fin de sugerir un diseño de presa apropiado para las condiciones naturales de Chaupibanda. Se utilizarán los resultados obtenidos como fundamento técnico para determinar el tipo de presa que se recomienda, las condiciones de cimentación, la estabilidad del terreno, la disponibilidad de agua y las acciones requeridas para asegurar tanto la eficacia como la seguridad de la infraestructura proyectada.

El estudio tiene como objetivo, al fin y al cabo, que se gestione de manera sostenible el agua en la comunidad de Chaupibanda, ayudando a que las condiciones de vida de los habitantes que se benefician mejoren y fomentando el progreso ganadero y agrícola. Asimismo, representa una contribución técnica y académica para proyectos futuros de infraestructura hidráulica en áreas altoandinas que tengan condiciones geológicas, hidrológicas y geotécnicas parecidas.

1.2. UBICACIÓN

1.2.1. UBICACIÓN POLÍTICA

La presa y la zona de estudio están situadas en:

Tabla 1: Descripción geográfica y normativa de la microcuenca Chaupibanda

COMUNIDAD	CHAUIBANDA
DISTRITO	Quehue
PROVINCIA	Canas
DEPARTAMENTO	Cusco

Fuente: Elaboración propia.

1.2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

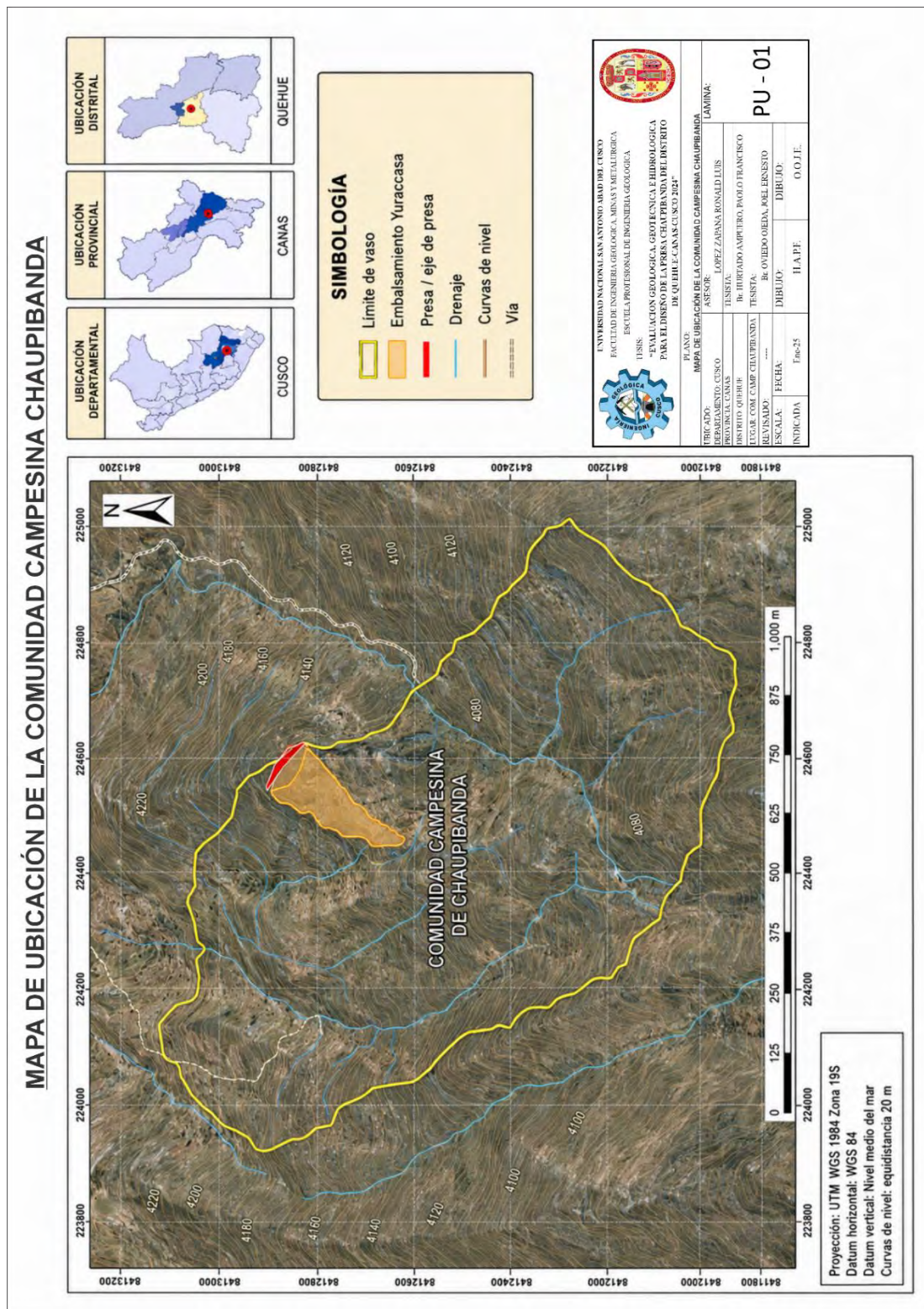
La posición geográfica con el sistema de coordenadas UTM WG84 19L es la siguiente:



Tabla 2: Ubicación Geográfica

COORD. GEOGRÁFICAS			COORD. UTM	
Lat. Sur	Long. Oeste	E. (X)	N. (Y)	Alt. (m.s.n.m)
14°20'35.19"S	71°33'21.94"O	224299	8412803	4107

Fuente: Elaboración propia.



1.3. ACCESIBILIDAD

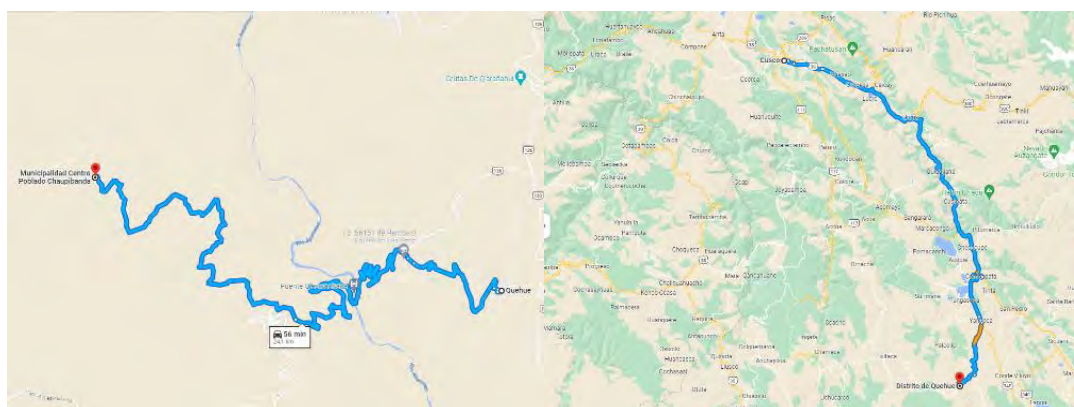
La carretera pavimentada, que va desde Cusco hasta Quehue, permite acceder a la zona de la tesis en 3 horas y 45 minutos. Luego, hay que continuar por una carretera no pavimentada durante cerca de 1 hora y 30 minutos.

Tabla 3: Especificaciones sobre el acceso a la vía

A partir	Finaliza	Trayecto	Lapso	Clase de vía	Modo de transporte
CUSCO	QUEHUE	155 km	3 h 45 min	Asfalto	Vehicular
QUEHUE	CHAUIBANDA	24.1 km	1 h 28 min	Afirmado	Vehicular

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1: Ruta de Cusco a Quehue y Chaupibanda.



Fuente: Google Maps, 2024.

1.4. ÁREA DE INFLUENCIA

Es el área geográfica en la que está situada la población impactada, en este caso, los habitantes de la Comunidad Campesina de Chaupibanda, quienes residen dentro de los límites del distrito de Quehue.

Imagen 2: Imagen Satelital de la Comunidad Campesina de Chaupibanda.



Fuente: Google Maps.



1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La escasez de agua en los meses secos (de abril a noviembre) contrasta con la abundancia de agua que se tiene durante la época lluviosa (de diciembre a marzo). Por esta razón, es necesario asegurar una gestión apropiada del recurso hídrico en el distrito de Quehue – Canas; esto justifica el presente estudio. La ganadería y la agricultura, que son las actividades económicas más importantes para la población, se ven afectadas directamente por esta situación.

La construcción de un embalse posibilitaría la acumulación del agua sobrante en el periodo de lluvias para su uso durante la época de sequía. No obstante, para asegurar la viabilidad técnica y económica de esa infraestructura, es esencial que se realice un análisis exhaustivo de los rasgos geotécnicos, hidrológicos y geológicos del área.

Este estudio, en términos académicos, aporta una metodología aplicada que combina la prospección indirecta y directa con el análisis hidrológico, lo cual robustece el conocimiento técnico para proyectos semejantes que vengan en el futuro. Asimismo, plantea soluciones que optimizan la calidad de vida de los residentes locales y promueven la sustentabilidad del ecosistema local.

1.5.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son las características geológicas, geotécnicas e hidrológica para el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024?

1.5.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Qué características geomorfológicas, litoestratigráficas, presenta el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024?
2. ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos en el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024?
3. ¿Qué condiciones hidrológicas presenta la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024?
4. ¿Qué características posee el subsuelo mediante métodos de prospección geofísica de Sondaje eléctrico vertical (SEV) y Refracción sísmica la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024?

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características geológicas, geotécnicas e hidrológica para el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024.



1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las características geomorfológicas, litoestratigráficas, presenta el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024.
2. Determinar los parámetros geotécnicos en el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024.
3. Evaluar las condiciones hidrológicas, presenta la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024.
4. Determinar las características del subsuelo mediante métodos de prospección geofísica de Sondaje eléctrico vertical (SEV) y Refracción sísmica la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024.

1.7. HIPÓTESIS

La viabilidad técnica para elaborar y edificar la presa en la región de Chaupibanda se ve afectada considerablemente por las propiedades geológicas, hidrológicas y geotécnicas del área.

1.8. VARIABLES

De acuerdo con el propósito de la investigación y con el título “Evaluación geológica, geotécnica e hidrológica para el diseño de la presa Chaupibanda del distrito de Quehue–Canas–Cusco 2024”, se consideran las siguientes variables:

1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- **Evaluación geológica, geotécnica e hidrológica**

Comprende el análisis integral de las condiciones naturales y físico-mecánicas existentes en el área destinada al emplazamiento de la presa Chaupibanda, con la finalidad de obtener los parámetros técnicos necesarios para sustentar su diseño.

Esta variable comprende las siguientes dimensiones:

- Evaluación geológica y geomorfológica.
- Evaluación geotécnica.
- Evaluación hidrológica.
- Caracterización geofísica complementaria del subsuelo.

La evaluación geológica y geomorfológica comprende el reconocimiento de las geoformas, unidades litoestratigráficas, estructuras geológicas y condiciones del vaso y eje de presa. La evaluación geotécnica considera las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, rocas y materiales de préstamo, así como su resistencia, permeabilidad y comportamiento como terreno de cimentación. La evaluación hidrológica comprende el análisis de las precipitaciones, escurrimiento, oferta y demanda hídrica, balance hídrico y eventos extremos.



La caracterización geofísica complementa la evaluación del subsuelo mediante métodos como refracción sísmica, MASW y Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).

1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- **Diseño de la presa Chaupibanda**

Comprende la definición de las características técnicas, geométricas, hidráulicas y de estabilidad de la infraestructura de almacenamiento hídrico, establecidas a partir de los resultados obtenidos mediante las evaluaciones geológica, geotécnica, hidrológica y geofísica.

Esta variable comprende las siguientes dimensiones:

- Selección del tipo de presa.
- Diseño geométrico y estructural.
- Diseño hidráulico.
- Estabilidad y control de filtraciones.

Estas dimensiones permiten establecer el tipo de presa técnicamente recomendable, las condiciones de cimentación, la altura y geometría del dique, los taludes, el ancho de corona, el borde libre, las obras hidráulicas necesarias, así como los factores de seguridad y las medidas de impermeabilización, drenaje y control de filtraciones requeridas para el funcionamiento seguro de la presa Chaupibanda.

1.9. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación de tesis tiene como objetivo examinar y/o identificar las propiedades geológicas, hidrológicas y geotécnicas para llevar a cabo la cimentación, el diseño y la edificación de la presa de Chaupibanda.

La existencia de eventos hidrológicos máximos y la capacidad insuficiente de los embalses son las principales causas de estos fenómenos. Muchos embalses rebasan su vida útil, lo que incrementa el riesgo admisible. A medida que los años han pasado, la capacidad de almacenamiento de los embalses ha disminuido debido a la erosión y sedimentación.

Partiendo de las propiedades geológicas, hidrológicas y geotécnicas, se sugiere una infraestructura apropiada para los resultados que se conseguirán en las investigaciones concretas. El objetivo es incrementar la disponibilidad de agua y cubrir las demandas de la población, tanto para el riego como para la ganadería, lo que mejorará el nivel de vida de los habitantes y beneficiará al ecosistema de flora y fauna.

Si los resultados logrados no son totalmente satisfactorios, se podrían sugerir medidas preventivas o un plan de emergencia para reducir el nivel de riesgo de inundaciones que puedan ocurrir en la zona baja del lugar donde se construye la presa.



Además, este trabajo incentiva a las promociones futuras y a los compañeros a utilizar la tecnología, pues de esta forma se consigue mayor precisión y un manejo apropiado de los recursos hídricos.

1.10. METODOLOGÍA DE TRABAJO

1.10.1. ETAPA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Esta fase de la investigación consistirá en reunir información de trabajos previos, mapas geológicos previos, libros sobre construcción de represas y geotecnia, así como sobre geofísica.

Análisis de la geología de las regiones cuadrangulares de Cusco y Livitaca. Boletines que describan el sitio.

Creación de mapas topográficos básicos y localización del área a estudiar, para llevar a cabo un mapeo geológico.

Establecimiento de etapas para salir al campo, generando un calendario de actividades con fechas específicas.

1.10.2. ETAPA DE TRABAJO DE CAMPO

- Verificación del lugar, y reconocimiento del campo, para un levantamiento topográfico base.
- Hacer un mapeo geomorfológico y geológico de la zona analizada para observar las unidades geomorfológicas y geológicas.
- Realizar un mapeo geológico estructural, para ver posibles fallas o fracturas que puedan afectar al lugar.
- Realizar estudios de prospección directa, utilizando el método de calicatas, y realizar la caracterización geomecánica de suelos, y ver los parámetros geotécnicos e hidrológicos.
- Realizar estudios de prospección indirecta, utilizando métodos geofísicos de refracción sísmica, MASW, SEV.
- Obtener datos hidrológicos de precipitación, caudales y evapotranspiración, a partir de datos meteorológicos.

1.10.3. ETAPA DE PROCESAMIENTO DE DATOS (POST CAMPO)

- Digitalización del levantamiento topográfico y elaboración de un mapa base y obtención de resultados.
- Elaboración de mapas geológicos geomorfológicos, con los resultados obtenidos.



- Elaboración de mapas geológicos estructurales, plasmando las estructuras, fallas y diaclasas.
- Procesar los hallazgos de la prospección directa, elaborando parámetros geotécnicos y mecánicos del suelo con permeabilidades.
- Ejecutar perfiles geofísicos y geotécnicos, así como procesar y examinar los resultados de la prospección indirecta.
- Elaborar mapas hidrológicos de precipitación, de caudales y evapotranspiración.

1.10.4. MATERIALES Y EQUIPOS

Materiales - Equipos de Gabinete

- Computadora - laptop
- Impresora, memorias de cámaras fotográficas, UBS.
- Oficina de trabajo
- Softwares de procesamiento

Materiales y Equipos de Campo

- Sacos y bolsas de muestreo
- Planos base
- Libreta de campo, colores, lápices
- Escalímetro
- GPS
- Pico, pala
- Brújula
- Picota
- Lupa de geólogo
- Equipos geofísicos
- Equipo de ensayo Lugeon
- Vehículo 4x4 (camioneta)
- Dron
- Alimentación

1.10.5. REDACCIÓN DE LA TESIS

Realizar, en primer lugar, el informe preliminar y después el consolidado del informe final, incluyendo todo lo trabajado: planos, cuadros, fotos y anexos que se consideren necesarios.



1.11. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de **tipo aplicada**, debido a que está orientada a utilizar conocimientos científicos y técnicos de la geología, geotecnia, hidrología y geofísica para resolver una necesidad concreta relacionada con la evaluación de las condiciones del emplazamiento y proporcionar sustento técnico para el diseño de la presa Chaupibanda. De acuerdo con Bernal (2016), la investigación aplicada se orienta al uso del conocimiento científico para el estudio y solución de situaciones o problemas específicos de la realidad. En ese sentido, los resultados obtenidos en la presente investigación tienen una aplicación directa en la definición de las condiciones técnicas requeridas para la infraestructura hidráulica proyectada.

Respecto al **enfoque de investigación**, el estudio corresponde a un **enfoque mixto, con predominio cuantitativo**. Hernández-Sampieri y Mendoza Torres (2018) señalan que la ruta mixta implica la integración sistemática de información cuantitativa y cualitativa con la finalidad de lograr una comprensión más completa del fenómeno estudiado. En la presente investigación, el componente cuantitativo se encuentra representado por los resultados numéricos obtenidos mediante ensayos de laboratorio, pruebas de permeabilidad, análisis geotécnicos, estudios geofísicos y cálculos hidrológicos; mientras que el componente cualitativo comprende la observación, descripción e interpretación de las características geomorfológicas, geológicas, estructurales y geodinámicas presentes en el área de estudio.

El componente cuantitativo comprende parámetros como granulometría, límites de consistencia, densidad, permeabilidad, cohesión, ángulo de fricción interna, resistencia de los materiales, velocidades de ondas sísmicas, resistividad eléctrica, precipitación, escorrentía, caudales, oferta hídrica y balance hídrico. Por su parte, el componente cualitativo permite reconocer e interpretar las unidades geomorfológicas y litoestratigráficas, estructuras geológicas, discontinuidades, características del macizo rocoso y procesos geodinámicos existentes en el área destinada al emplazamiento de la presa.

En cuanto al **diseño de investigación**, corresponde a un **diseño no experimental**, debido a que las variables y condiciones naturales del área de estudio no fueron manipuladas deliberadamente por los investigadores, sino observadas, medidas, analizadas e interpretadas tal como se presentan en su contexto natural. Hernández-Sampieri y Mendoza Torres (2018) sostienen que en los diseños no experimentales los fenómenos



son estudiados sin manipulación deliberada de las variables, observándolos en su ambiente natural para posteriormente analizarlos. Esta característica corresponde al presente estudio, puesto que las propiedades geológicas, geotécnicas e hidrológicas de Chaupibanda fueron evaluadas mediante procedimientos de campo, laboratorio y gabinete sin alterar intencionalmente sus condiciones naturales.

Asimismo, la investigación presenta un **diseño transversal o transeccional**, debido a que la información necesaria para caracterizar las condiciones del área de estudio fue recopilada y analizada dentro de un periodo determinado. De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza Torres (2018), los diseños transeccionales recopilan información en un momento o periodo definido con el propósito de describir variables y analizar sus características en un contexto específico.

Por su **alcance**, la investigación es principalmente **descriptiva, con orientación evaluativa**. Según Hernández-Sampieri y Mendoza Torres (2018), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, características y perfiles relevantes del fenómeno sometido a análisis. En esta investigación se describen y caracterizan las condiciones geomorfológicas, geológicas, geotécnicas, hidrológicas y geofísicas existentes en el área de Chaupibanda. A partir de dicha caracterización, los resultados son integrados y evaluados técnicamente para establecer su pertinencia respecto al diseño de la presa proyectada.

La orientación evaluativa del estudio se evidencia en la interpretación conjunta de los resultados obtenidos mediante las diferentes especialidades, permitiendo establecer las condiciones de cimentación, permeabilidad, resistencia del terreno, disponibilidad hídrica, comportamiento del subsuelo y estabilidad necesarias para sustentar la selección y el diseño de la infraestructura hidráulica. Por consiguiente, la investigación no pretende modificar experimentalmente las condiciones naturales del área, sino caracterizarlas y evaluarlas técnicamente para determinar su correspondencia con los requerimientos de diseño.

En síntesis, la presente investigación se clasifica como **aplicada, de enfoque mixto con predominio cuantitativo, diseño no experimental de corte transversal y alcance descriptivo con orientación evaluativa**, debido a que integra información geológica, geotécnica, hidrológica y geofísica obtenida mediante trabajos de campo, ensayos de laboratorio, métodos de prospección y análisis de gabinete, con la finalidad de proporcionar el sustento técnico necesario para el diseño de la presa Chaupibanda.

1.12. CLIMA

El área de estudio está ubicada en el distrito de Quehue.

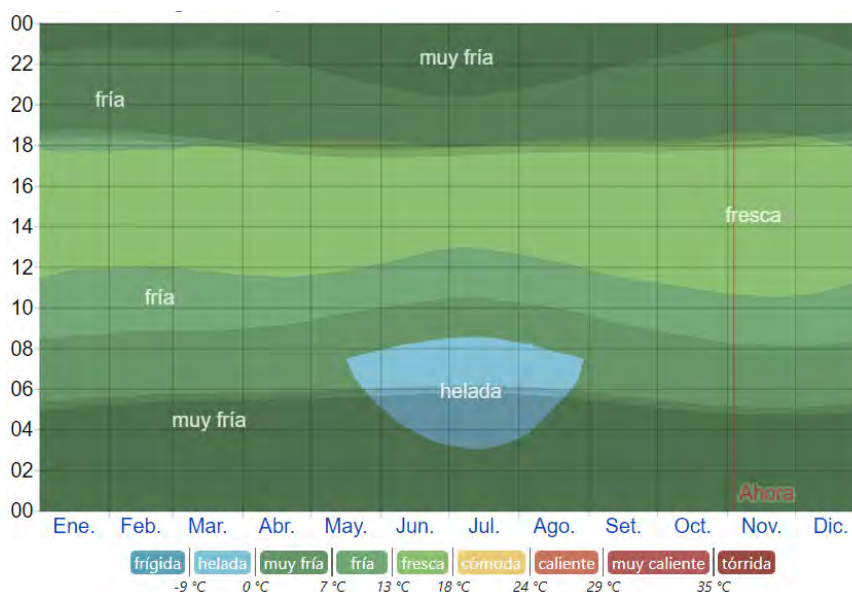
En Quehue, la temporada de verano es breve, fresca y nublada; en cambio, la de invierno es también breve pero fría y seca, con algunas nubes. A lo largo del año, la temperatura oscila normalmente entre -3°C y 18°C , y con poca frecuencia se reduce por debajo de -5°C o aumenta más allá de los 21°C .

1.13. TEMPERATURA

La temporada de templado dura 1,5 meses, del 2024 de octubre hasta el 7 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es superior a los 17°C . El día más cálido del año corresponde al 15 de noviembre, con una temperatura mínima promedio de 4°C y una temperatura máxima promedio de 18°C .

Desde el 14 de junio hasta el 31 de julio se extiende la temporada fría, que tiene una duración de un mes y medio. La temperatura máxima promedio diaria durante este período es inferior a los 16°C . El 7 de julio es el día más frío del año: la temperatura mínima promedio en esa fecha es -3°C y la máxima promedio, 15°C .

Imagen 3: Promedio diario de temperatura a lo largo del año.



Fuente: weatherspark.com

1.14. PRECIPITACIÓN

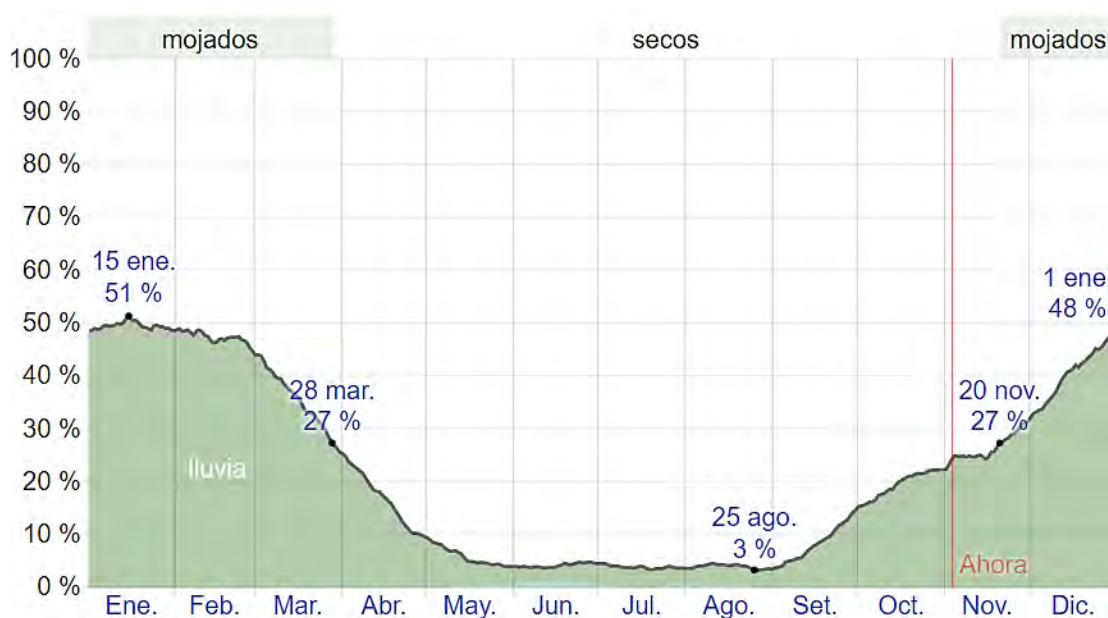
Un día lluvioso es aquel en el que se registra una precipitación de, como mínimo, 1 milímetro o un volumen equivalente.

La probabilidad de días lluviosos en Yanaoca presenta una variación significativa a lo largo del año.

La estación más lluviosa se extiende por 4,3 meses, entre el 20 de noviembre y el 28 de marzo, con un porcentaje superior al 27 % de que cualquier día en ese periodo sea un día lluvioso. El 15 de enero, la posibilidad más alta de que un día esté lluvioso es del 50 %.

Del 28 de marzo al 20 de noviembre se extiende el periodo más seco, que tiene una duración de 7.7 meses. El 22 de julio, la posibilidad más baja de que llueva es del 2%.

En el contexto de los días húmedos, diferenciamos entre aquellos que se limitan a la lluvia, a la nieve o que son una mezcla de ambas. Según esta clasificación, la precipitación más frecuente a lo largo del año es solamente lluvia, con un 51 % de probabilidad máxima el día 15 de enero.



Fuente: weatherspark.com



1.15. MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

“EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024”				
Problemas General	Objetivos General	Hipótesis General	Variables / Dimensiones Variable Independiente	Metodología – Plan de Trabajo
¿Cuáles son las características geológicas, geotécnicas e hidrológicas para el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024?	Evaluar las características geológicas - geotécnicas e hidrológica para el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024.	Las características geológicas, geotécnicas e hidrológicas de la zona de Chaupibanda influyen significativamente en la factibilidad técnica para el diseño y construcción de la presa.	- Evaluación geológica - Evaluación geotécnica - Evaluación hidrológica	➤ Etapas de Recopilación de Información Existente - Esta etapa de la investigación se procederá a recopilar información, de trabajos anteriores, mapas geológicos anteriores, libros de geotecnia y construcción de presas, geofísica. - Revisión de la geología de cuadrángulos de Cusco y Livitaca. Boletines que hagan la descripción del lugar. - Elaboración de mapas topográficos bases, y ubicación de la zona de estudio, para poder realizar un mapeo geológico. - Programación de etapas de salida de campo, realizando un cronograma de actividades por fechas. ➤ Etapas de Trabajos en Campo - Verificación del lugar, y reconocimiento del campo, para un levantamiento topográfico base. - Realizar un mapeo geológico y geomorfológico de la zona de estudio para ver las unidades geológicas y geomorfológicas. - Realizar un mapeo geológico estructural, para ver posibles fallas o fracturas que puedan afectar al lugar. - Realizar estudios de prospección directa, utilizando el método de calicatas, y realizar la caracterización geomecánica de suelos, y ver los parámetros geotécnicos e hidrológicos. - Realizar estudios de prospección indirecta, utilizando métodos geofísicos de refracción sísmica, MASW, SEV. - Obtener datos hidrológicos de precipitación, caudales y evapotranspiración, a partir de datos meteorológicos. ➤ Etapas de Procesamiento de Datos (Post Campo) - Digitalización del levantamiento topográfico y elaboración de un mapa base y obtención de resultados. - Elaboración de mapas geológicos geomorfológicos, con los resultados obtenidos. - Elaboración de mapas geológicos estructurales, plasmando las estructuras, fallas y diaclasas. - Procesar los resultados obtenidos de la prospección directa, generando los parámetros geotécnicos, y de la mecánica de suelos con permeabilidades. - Procesar y analizar los resultados de la prospección indirecta, y realizar perfiles geotécnicos y geofísicos. - Elaborar mapas hidrológicos de precipitación, de caudales y evapotranspiración ➤ Materiales y Equipos Materiales y Equipos de Gabinete - Computadora y laptop - Impresora, memorias de cámaras fotográficas, UBS. - Oficina de trabajo - Softwares de procesamiento Materiales y Equipos de Campo - Sacos y bolsas de muestreo; Planos base; Libreta de campo, colores, lápices; Escalímetro; GPS; Pico, pala; Brújula; Picota; Lupa de geólogo; Equipos geofísicos; Equipo de ensayo Luguen; Vehículo 4x4 (camioneta); Dron; Alimentación ➤ Redacción de la Tesis - Elaborar el informe preliminar y posteriormente el consolidado del informe final, adjuntando todo lo elaborado como planos, cuadros, fotografías y anexos que se consideren convenientes.
Específicos	Específicos		Variable Dependiente	
¿Qué características geomorfológicas, litoestratigráficas, presenta el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024? ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos en el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024? ¿Qué condiciones hidrológicas presenta la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024? ¿Qué características posee el subsuelo mediante métodos de prospección geofísica de Sondaje eléctrico vertical (SEV) y Refracción sísmica la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024?	- Determinar las características geomorfológicas, litoestratigráficas, presenta el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024. - Determinar los parámetros geotécnicos en el diseño de la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024. - Evaluar las condiciones hidrológicas, presenta la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024. - Determinar las características del subsuelo mediante métodos de prospección geofísica de Sondaje eléctrico vertical (SEV) y Refracción sísmica la presa Chaupibanda, distrito de Quehue – Canas – Cusco 2024.		Diseño de la presa Chaupibanda	



1.16. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
VARIABLE INDEPENDIENTE: EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA	EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA	Unidades geomorfológicas del vaso y eje de presa	Mapa geomorfológico / tipo de geoforma
		Pendiente del terreno	% / grados (°)
		Unidades litoestratigráficas	Mapa geológico / unidad geológica
		Litología del área de estudio	Tipo de roca o depósito
		Rumbo y buzamiento de discontinuidades	Grados (°)
		Espaciamiento, persistencia y abertura de diaclasas	mm, cm o m
		Fallas, fracturas y diaclasas	Registro y mapa estructural
		Condiciones geomorfológicas del vaso y eje de presa	Descripción y clasificación técnica
		Clasificación del suelo	SUCS
		Granulometría	% / mm
	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	Contenido de humedad	%
		Límite líquido	%
		Límite plástico	%
		Índice de plasticidad	%
		Densidad natural y densidad seca	g/cm ³ o kN/m ³
		Cohesión	kPa
		Ángulo de fricción interna	Grados (°)
		Resistencia a la compresión inconfina	MPa
		Calidad del macizo rocoso	RQD (%) / RMR
		Coefficiente de permeabilidad	m/s o cm/s
	EVALUACIÓN HIDROLÓGICA	Permeabilidad del macizo rocoso	Unidades Lugeon (LU)
		Características de los materiales de préstamo	SUCS, %, g/cm ³ , kPa y °
		Precipitación media	mm
		Precipitación máxima en 24 horas	mm/24 h
		Precipitación efectiva al 75 % de persistencia	mm
		Área de la microcuenca	km ²
		Perímetro de la microcuenca	km
		Densidad de drenaje	km/km ²
		Tiempo de concentración	min / h
		Caudal generado	m ³ /s
		Oferta hídrica	m ³ /año
		Demanda hídrica	L/s o m ³ /año
		Balance hídrico	L/s y m ³
		Caudal máximo	m ³ /s
		Caudal mínimo	m ³ /s
		Período de retorno	años
		Tránsito de avenida máxima	m ³ /s
	CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA COMPLEMENTARIA	Velocidad de ondas P mediante refracción sísmica	m/s
		Velocidad de ondas S mediante MASW	m/s
		Velocidad promedio Vs30	m/s
		Resistividad eléctrica aparente mediante SEV	Ω·m
		Profundidad de estratos	m
		Espesor de estratos	m
		Clasificación del tipo de suelo	Clase de suelo según normativa



VARIABLE DEPENDIENTE: DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA	SELECCIÓN DEL TIPO DE PRESA	Tipo de presa compatible con las condiciones del emplazamiento	Tipo de presa
		Compatibilidad con las condiciones geológicas y geotécnicas	Evaluación técnica
		Aptitud de los materiales de préstamo	Clasificación técnica
		Condiciones de cimentación	Clasificación técnica
	DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL	Altura del dique	m
		Nivel de corona	m s. n. m.
		Ancho de corona	m
		Talud aguas arriba	Relación H:V
		Talud aguas abajo	Relación H:V
		Borde libre	m
		Factor de seguridad estructural	Adimensional
	DISEÑO HIDRÁULICO	Volumen de almacenamiento	m ³
		Caudal de diseño	m ³ /s
		Dimensiones de la obra de toma	m / mm
		Diámetro de la tubería de operación	mm
		Velocidad de flujo	m/s
		Pérdida de carga	m
		Capacidad de descarga del aliviadero	m ³ /s
		Dimensiones del aliviadero	m
	ESTABILIDAD Y CONTROL DE FILTRACIONES	Factor de seguridad estático	Adimensional
		Factor de seguridad pseudoestático	Adimensional
		Estabilidad del talud aguas arriba	Factor de seguridad
		Estabilidad del talud aguas abajo	Factor de seguridad
		Coefficiente de permeabilidad	m/s o cm/s
		Caudal de filtración	m ³ /s
		Gradiente hidráulico	Adimensional
		Red de flujo	Líneas de flujo y equipotenciales
		Sistema de impermeabilización	Tipo / dimensiones
		Sistema de filtros y drenaje	Tipo / dimensiones



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO REFERENCIAL

2.1.1. ANTECEDENTES

La etapa de reunir y examinar todos los datos disponibles sobre los temas que se van a tratar ha comenzado en el desarrollo de la siguiente tesis, incluyendo incluso investigaciones preliminares realizadas en la zona o cerca de ella, como los siguientes asuntos:

ANTECEDENTES LOCALES

- Chuma y García Mendoza (2023), en su tesis Estudio geológico, geotécnico para la construcción de la presa Chocayhua del distrito de Quehue-Canas-Cusco 2022, llevaron a cabo una evaluación tanto geológica como geotécnica con el objetivo de establecer las condiciones del terreno donde se ubica el vaso de presa y la fundación en la comunidad de Chocayhua, ubicada en el distrito de Quehue. El estudio distinguió entidades geomorfológicas como las pendientes bajas de las terrazas, las laderas que se encuentran sobre los depósitos fluvioglaciares y las laderas inclinadas en roca volcánica. El área está relacionada, desde el punto de vista geológico, con depósitos cuaternarios fluvioglaciares y con rocas volcánicas del Grupo Barroso. Además de las calicatas y los ensayos de permeabilidad, se realizaron pruebas geofísicas de refracción sísmica, sondeo eléctrico vertical y MASW. Se aconsejó construir una presa de tierra mixta con un núcleo de arcilla y pedraplén, dado el estado positivo del macizo rocoso y los materiales de cantera. La investigación actual se beneficia de este antecedente porque tiene lugar en el mismo distrito de Quehue y muestra condiciones que son parecidas a las de la zona de Chaupibanda en términos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos.
- Huamán Zúñiga y Caballero Cayllahua (2022), en su tesis titulada Estudio geológico y geotécnico para la construcción de la presa Marhuay del distrito de Coya, provincia de Calca, Cusco, examinaron las condiciones geológicas y geotécnicas de la microcuenca Marhuay, situada en el distrito de Coya. El estudio indica que la región tiene una demanda de agua y que edificar una presa posibilitaría elevar la capacidad de almacenaje de agua en la laguna Marhuay, lo cual favorecería a poblaciones rurales ocupadas en diferentes actividades económicas. La zona, además, se encuentra entre los 4300 y 4600 metros sobre el nivel del mar, con una



geomorfología de valle glaciar y un patrón de precipitaciones estacionales. Como incorpora criterios geológicos, hidrológicos y geotécnicos para sustentar la edificación de una presa en un área altoandina del departamento de Cusco, este trabajo es útil como referencia.

- Chara Holguín y Soncco Mamani (2022), en su tesis Estudio geológico, hidrológico y geotécnico para asegurar la estanqueidad y seguridad de la presa Querqueccocha, en el distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco, 2020, realizaron un estudio con el objetivo de definir las condiciones geotécnicas, hidrológicas y geológicas del vaso y eje de presa. La investigación tuvo en cuenta el análisis de las condiciones de cimentación, la evaluación de la geodinámica interna y externa, la caracterización estructural y el reconocimiento de unidades geomorfológicas. Su principal contribución consiste en vincular la estanqueidad y seguridad de la presa con las propiedades del terreno, aspecto que también es esencial para el diseño de la presa Chaupibanda.
- Ramírez Oyola y Ponce Centeno (2022), en su tesis Estudio geológico, geotécnico para la construcción de la presa Hayculli en la comunidad campesina de Quehuincha del distrito de Livitaca-Chumbivilcas-Cusco, llevaron a cabo una caracterización tanto geológica como geotécnica de los componentes que formarían el sistema estructural de la presa. La investigación detectó depósitos glaciares, rocas ígneas, calizas de la Formación Arcurquina y materiales biogénicos de bofedal. Desde la perspectiva geomorfológica, la presa se encuentra situada en una depresión natural de origen glaciar y está rodeada por colinas bajas. Asimismo, se examinó la permeabilidad del vaso de almacenamiento y de los estribos, llegando a la conclusión de que las condiciones son propicias para que el embalse esté estanco. Este antecedente es importante porque muestra la necesidad de incluir en el análisis la litología, la geomorfología y la permeabilidad para determinar si un área es apta para una presa.
- Cruz Chura y Vargas Vásquez (2023), en su tesis Estudio geológico, geotécnico e hidrológico para la construcción de la presa Pachacsimi del distrito de Chinchaypujio, provincia de Anta, departamento del Cusco, analizaron una región altoandina situada en la microcuenca Ccuyo que presenta necesidad de agua. Según la investigación, la construcción de la presa aumentaría el volumen de agua que se puede almacenar en la laguna de Ccuyo, lo cual sería ventajoso para los habitantes locales. Igualmente, describe un sistema de precipitaciones



estacionales, con una época seca entre mayo y agosto y otra lluviosa entre diciembre y abril. Geomorfológicamente, el área tiene un valle glaciar con forma de “U”. Este antecedente contribuye a la investigación actual, ya que presenta una metodología que se puede utilizar para analizar presas en entornos altoandinos con variaciones climáticas estacionales significativas.

- Esquivel Chañi y Ruiz Peralta (2023), en su tesis Estudio geológico y geotécnico para la construcción de la presa Collini, distrito de Pitumarca, provincia Canchis, departamento del Cusco, examinaron las condiciones geotécnicas del macizo rocoso en el eje de presa, el equilibrio físico del área analizada y la capacidad de soporte del terreno donde se cimentaría. La investigación indica que la presa se extiende sobre una unidad geomorfológica de un valle glaciar con forma de “U”, en el cual la cimentación estaría sobre afloramientos de roca del Grupo Mitu. Asimismo, se determinaron estructuras geológicas, tales como una falla normal y lineamientos que dividen las unidades de roca. Este estudio es relevante para la tesis actual, ya que demuestra lo importante que es examinar la conexión entre la geomorfología glaciar, las estructuras geológicas, la capacidad portante y el almacenamiento de agua en el diseño de presas altoandinas.

ANTECEDENTES NACIONALES

- Pacompia Flores (2014), en su tesis Evaluación geológica y geotécnica para la construcción de la presa Chonta - Cajamarca, llevó a cabo una investigación enfocada en describir las condiciones geológicas y geotécnicas del lugar donde se proyectó la presa Chonta, que es de tipo CCR o concreto compactado con rodillo. El análisis detectó afloramientos de roca pertenecientes a unidades del Cenozoico y Mesozoico, incluyendo los Volcánicos Huambos, la Formación Cajamarca, la Formación Quilquiñán-Mujarrún y la Formación Celendín, así como depósitos del Cuaternario. Este estudio es importante porque evidencia lo crucial que es analizar el comportamiento geotécnico del suelo, las condiciones del macizo rocoso y los materiales de construcción para asegurar la viabilidad de una represa.
- Arellano (2014), en su tesis Estudio geotécnico para la construcción de la presa Tinkiccocha - Apurímac, llevó a cabo un estudio geológico y geotécnico en una región de emplazamiento con el propósito de construir una presa de tierra para irrigación, situada en el distrito de Huaccana, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac. La investigación tuvo en cuenta la prospección geofísica, el diseño adecuado para construir una presa con una capacidad de



almacenamiento cercana a 1.058 MMC, perforaciones diamantinas, ensayos de laboratorio y de permeabilidad in situ, así como el mapeo geológico local. Este antecedente contribuye a la investigación actual, ya que incorpora enfoques directos e indirectos para establecer parámetros geotécnicos que se pueden usar en el diseño de presas de tierra.

- López Díaz (2022), en su tesis Evaluación geológica-geotécnica para la factibilidad, diseño y construcción de la presa Pucacocha y aprovechamiento hídrico en el distrito de Huancaray, provincia de Andahuaylas - departamento de Apurímac, analizó las condiciones geológicas y geotécnicas del área de presa mediante técnicas directas e indirectas, que abarcan perforaciones diamantinas, ensayos de laboratorio y pruebas de campo. Además, el estudio examinó los materiales de cantera y llevó a cabo análisis de estabilidad utilizando el programa Slide, logrando factores de seguridad en situaciones tanto estáticas como pseudoestáticas. Este antecedente es relevante, ya que vincula la posibilidad de diseñar y construir una represa con la estabilidad de los taludes, la disponibilidad de materiales de préstamo y el tratamiento geotécnico requerido para asegurar su estanqueidad.
- Carlos Quinto (2022), en su tesis Evaluación geotécnica para la construcción de la presa Ucuscancha I, Huancayo - Junín, realizó una valoración con el objetivo de establecer las condiciones geotécnicas del suelo en la región Junín para edificar una presa. Este antecedente es relevante porque se enfoca en la caracterización geotécnica como fundamento para establecer la estabilidad de la infraestructura hidráulica proyectada y la seguridad de su cimentación. La investigación actual está relacionada con el estudio de los parámetros físicos y mecánicos del terreno, que son esenciales para definir condiciones apropiadas para el diseño y la construcción de presas.

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Pacompia Flores (2014), en su tesis Evaluación geológica y geotécnica para la construcción de la presa Chonta - Cajamarca, llevó a cabo una investigación enfocada en describir las condiciones geológicas y geotécnicas del lugar donde se proyectó la presa Chonta, de tipo CCR o concreto compactado con rodillo. El análisis detectó afloramientos de roca pertenecientes a unidades del Cenozoico y Mesozoico, entre ellas los Volcánicos Huambos, la Formación Cajamarca, la Formación Quilquiñán-Mujarrún y la Formación Celendín, además de depósitos cuaternarios. Este estudio es importante porque evidencia la relevancia de analizar



el comportamiento geotécnico del suelo, las condiciones del macizo rocoso y los materiales de construcción para determinar la viabilidad de una presa.

- Arellano (2014), en su tesis Estudio geotécnico para la construcción de la presa Tinkiccocha - Apurímac, llevó a cabo un estudio geológico y geotécnico en una zona de emplazamiento destinada a la construcción de una presa de tierra para irrigación, ubicada en el distrito de Huaccana, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac. La investigación consideró la prospección geofísica, perforaciones diamantinas, ensayos de laboratorio, pruebas de permeabilidad in situ y el mapeo geológico local. Asimismo, se planteó el diseño de una presa con una capacidad de almacenamiento aproximada de 1.058 MMC. Este antecedente contribuye a la investigación actual, ya que integra métodos directos e indirectos para determinar parámetros geotécnicos aplicables al diseño de presas de tierra.
- López Díaz (2022), en su tesis Evaluación geológica-geotécnica para la factibilidad, diseño y construcción de la presa Pucacocha y aprovechamiento hídrico en el distrito de Huancaray, provincia de Andahuaylas - departamento de Apurímac, analizó las condiciones geológicas y geotécnicas del área de presa mediante técnicas directas e indirectas, entre ellas perforaciones diamantinas, ensayos de laboratorio y pruebas de campo. Además, el estudio evaluó los materiales de cantera y desarrolló análisis de estabilidad mediante el programa Slide, obteniendo factores de seguridad para condiciones estáticas y pseudoestáticas. Este antecedente es relevante porque relaciona la factibilidad, el diseño y la construcción de una presa con la estabilidad de taludes, la disponibilidad de materiales de préstamo y el tratamiento geotécnico necesario para garantizar su estanqueidad.
- Carlos Quinto (2022), en su tesis Evaluación geotécnica para la construcción de la presa Ucuscancha I, Huancayo - Junín, realizó una evaluación orientada a determinar las condiciones geotécnicas del terreno para la construcción de una presa en la región Junín. Este antecedente resulta relevante porque se centra en la caracterización geotécnica como fundamento para determinar la estabilidad de la infraestructura hidráulica proyectada y la seguridad de su cimentación. Asimismo, guarda relación con la investigación actual, debido a que considera el análisis de los parámetros físicos y mecánicos del terreno como elementos esenciales para establecer condiciones adecuadas para el diseño y la construcción de presas.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

La geología no es un estudio aislado, es la base de la seguridad estructural del proyecto:

Modelamiento Geológico-Estructural: Define la ubicación exacta del eje de la presa donde las laderas sean cerradas y estables.

Evaluación de Permeabilidad In-situ: Mediante ensayos Lugeon (en roca) o Lefranc (en suelo), se cuantifica el grado de filtración bajo el vaso y el dique.

Mapeo de Peligros Geológicos: Determina si las laderas del vaso de almacenamiento son propensas a deslizamientos que reduzcan la capacidad del embalse o generen olas por impacto.

2.2.1. Presas y obras de almacenamiento hídrico

Una presa es una estructura artificial que se construye de manera transversa a un cauce, quebrada, depresión o cerradura natural, con el objetivo de almacenar, desviar, regular o controlar el agua.

Desde la perspectiva geotécnica y geológica, una presa no debe ser percibida únicamente como una estructura hidráulica. La seguridad de la obra depende de lo siguiente: del comportamiento del terreno en el que se funde, de la resistencia y permeabilidad del macizo rocoso o del suelo sobre el que descansa, de la estabilidad de los estribos, de la estanqueidad del vaso, de si hay materiales para construir y también de cómo responde frente a situaciones hidrológicas y sísmicas extremas.

Tabla 2.1. Clasificación conceptual de presas

Clasificación	Tipo de presa	Criterio técnico
Según función	Almacenamiento	Retiene agua para uso posterior.
Según función	Derivación	Eleva el nivel del agua para conducirla.
Según material	Tierra homogénea	Terraplén compacto de material fino o mixto.
Según material	Tierra zonificada	Núcleo impermeable, espaldones, filtros y drenes.
Según material	Enrocado o pedraplén	Cuerpo granular grueso con elemento impermeable.
Según material	Concreto o gravedad	Estabilidad por peso propio.

Fuente: Elaboración propia.

Como profesionales o tesisistas en el campo de las ciencias de la Tierra (Geología), nuestro objetivo es, después de haber recolectado y reunido los datos necesarios para elaborar el diseño de la presa, obtener, examinar y validar los parámetros geológicos, hidrológicos y geotécnicos que se utilizan directamente para dicho diseño. La propuesta y Predimensionamiento del dique se lleva a cabo con base en esos parámetros, siguiendo la normativa técnica (como el USBR o el USACE), con el objetivo de asegurar que la solución estructural sea coherente con las condiciones geográficas de Quehue-Canas.

De acuerdo a cuántos tipos de diseño existen, se clasifican principalmente según su material y su funcionamiento estructural:

1. Presas de materiales sueltos:

- **Tierra uniforme:** Hechas completamente de un único material impermeable.
- **Tierra zonificada:** Con un núcleo central impermeable (arcilla) y espaldones que son permeables o semi-permeables (gravas/roca) para proporcionar estabilidad.
- **Enrocado con cara de cemento (CFRD) o centro de arcilla/asfalto.**

2. Represas de mampostería / concreto:

- **Gravedad:** Trabajan de manera autónoma.
- **Doble curvatura o arco:** Transmiten las presiones hacia los costados (requieren rocas de cimentación con resistencia muy alta).
- **Contrafuerzas:** Muros estrechos que se sustentan en componentes estructurales posteriores.

Para el diseño de la presa Chaupibanda, en las áreas geológica, geotécnica e hidrológica, se recomienda construir una presa de tierra zonificada. Esta se estructura de la siguiente manera:

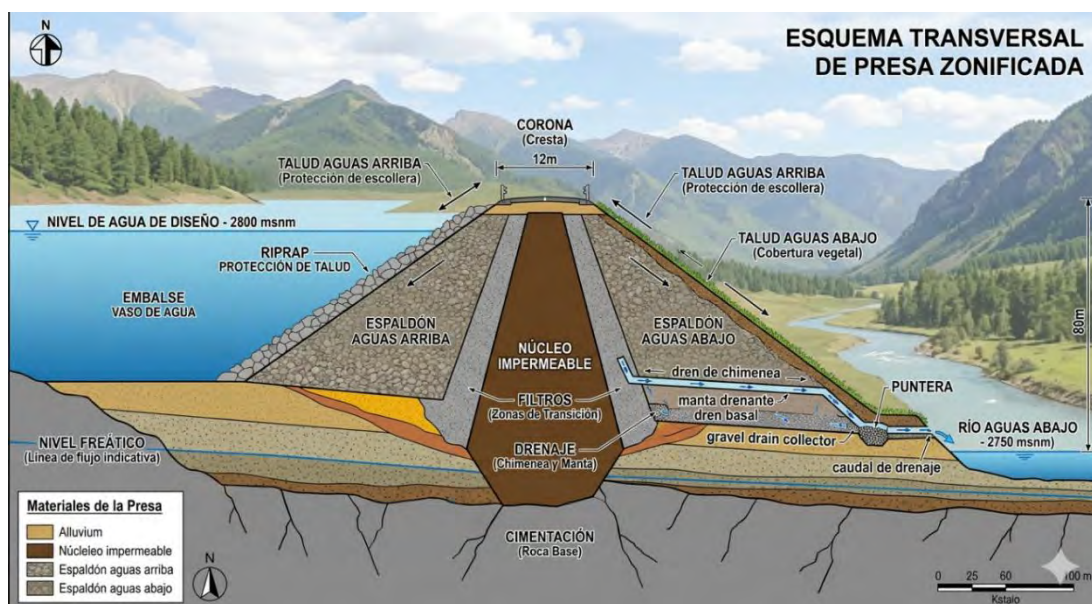
- **Núcleo central compuesto por arcilla:** Para asegurar el estancamiento, se requiere un coeficiente de permeabilidad bajo ($K < 10^{-7}$ cm/s).
- **Filtros y drenes:** Transición entre el núcleo y los espaldones para prevenir la erosión interna (tubificación o piping).
- **Espaldones (upstream y downstream):** Material granular o enroque que proporciona estabilidad estructural y peso a los taludes.
- **Protección del talud de arriba (Rip-Rap):** Enroque pesado para soportar la marejada y los períodos de desagüe rápido.
- **Pantalla/Trinchera de impermeabilización (corte):** Concentrada en la base para detener la infiltración subsuperficial.

Tabla 2.2. Componentes de una presa y su importancia geológico-geotécnica

Componente	Definición técnica
Vaso de embalse	Depresión natural donde se almacena el agua.
Cerrada o boquilla	Sector estrecho donde se emplaza la presa.
Eje de presa	Línea de ubicación principal del cuerpo de presa.
Estribos	Laderas laterales contra las cuales se apoya el dique.
Cimentación	Terreno que soporta la presa.
Núcleo impermeable	Zona de baja permeabilidad dentro de presas de tierra zonificada.
Filtros y drenes	Materiales graduados que controlan flujo interno.
Aliviadero	Obra para evacuar excedentes de avenida.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.1. Elementos fundamentales de una presa hecha de materiales sueltos



Fuente: Gemini. Esquema transversal de presa zonificada.

2.2.2. Geomorfología aplicada al diseño de presas

La geomorfología analiza las formas del relieve y los mecanismos que las crean, modifican o destruyen. En el diseño de una presa, el análisis geomorfológico permite reconocer las condiciones del vaso, la cerrada, los estribos, las laderas y la microcuenca aportante. También ayuda a identificar zonas de erosión, cárcavas, deslizamientos antiguos, terrazas, colinas, depósitos aluviales y áreas susceptibles a aporte de sedimentos.

Tabla 2.4. Geoformas de interés para la evaluación de Chaupibanda

Geoforma	Descripción técnica	Interpretación para una presa
Laderas	Superficies inclinadas que conectan zonas altas con fondos de quebrada.	Controlan estabilidad lateral, escorrentía y aporte de sedimentos.
Colinas	Relieves positivos de menor altitud relativa que los cerros.	Pueden delimitar el vaso y estribos de la presa.
Cerros	Relieves elevados con pendiente variable y afloramientos rocosos.	Pueden constituir roca de cimentación o material de cantera.
Terrazas aluviales	Superficies relativamente planas formadas por antiguos depósitos de cauce.	Suelen tener gravas, arenas y limos; pueden ser permeables.
Quebradas	Incisiones del relieve por escorrentía concentrada.	Definen el cauce principal y la dirección del flujo hacia el embalse.
Cárcavas	Erosión lineal profunda causada por escorrentía concentrada.	Pueden afectar laderas, producir sedimentos y requerir control.

Fuente: Elaboración propia.

La pendiente expresa la inclinación del terreno y se calcula a partir de la relación entre desnivel y distancia horizontal. Es un parámetro indispensable para elaborar mapas de pendientes, reconocer laderas inestables, definir accesos y evaluar zonas de erosión.

$$\text{Pendiente (\%)} = (\text{Desnivel} / \text{Distancia horizontal}) \times 100$$

Tabla 2.5. Clasificación referencial por pendientes

Rango - pendiente	Clasificación referencial
0 a 5 %	Llano - suavemente oblicuo
5 a 15 %	Pendiente suave - moderada
15 a 30 %	Pendiente moderada - fuerte
30 a 50 %	Pendiente fuerte
> 50 %	Muy fuerte o escarpada

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros morfométricos permiten cuantificar la geometría de la microcuenca. Estos parámetros son útiles para estimar la respuesta hidrológica, el tiempo de concentración y el potencial de escorrentía hacia el vaso.

$$Dd = \sum \frac{L}{A}$$

Donde $\sum L$ es la longitud total de los cauces, A representa el área de la cuenca y Dd es la densidad del drenaje.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde Kc es el coeficiente de compacidad, A representa la superficie y P , el perímetro de la cuenca.

$$Ff = \frac{A}{L^2}$$

Aquí, Ff es el factor de forma, A representa el área y L la longitud más grande de la cuenca.

$$S = \frac{(H_{\max} - H_{\min})}{L}$$

En donde S representa la pendiente media del lecho, $H_{\max}$ y $H_{\min}$ son las cotas más altas y L es la longitud del cauce principal.

2.2.3. Geología y litoestratigrafía aplicada al vaso y eje de presa

La geología aplicada al diseño de presas analiza la naturaleza, distribución, continuidad, resistencia, alteración, fracturamiento y permeabilidad de las unidades litológicas presentes en el eje, vaso, estribos y zonas de préstamo.

La litoestratigrafía permite ordenar las unidades de roca y depósitos superficiales según sus características litológicas y relaciones de superposición. En obras hidráulicas, no basta con nombrar una formación geológica; se debe indicar su comportamiento ingenieril: grado de alteración, fracturamiento, resistencia, continuidad lateral, permeabilidad y respuesta frente a excavación o saturación.



Tabla 2.6. Unidades litológicas y su importancia en presas altoandinas

Unidad o material	Características generales
Rocas volcánicas	Lavas andesíticas, dacíticas o afines, con textura masiva o porfírica.
Flujos piroclásticos y tobas	Material volcánico fragmentario, cenizas, cristales y líticos.
Conglomerados	Clastos gruesos en matriz arenosa, limosa o arcillosa.
Depósitos aluviales	Gravas, arenas, limos y arcillas transportadas por cauces.
Depósitos coluviales	Material angular acumulado por gravedad en laderas.
Depósitos morrénicos/fluvioglaciares	Mezcla heterogénea de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas.

Fuente: Elaboración propia.

Con la evaluación geológica permite lograr:

Establecimiento de la base y la cobertura: Determinar la geomorfología, litología y estratigrafía en el eje de la presa y en el área del vaso.

Descripción estructural: Identificar fracturamientos, diaclasas, pliegues y fallas que tengan un impacto directo en la estabilidad o en posibles caminos de filtración de agua.

Definición de la geodinámica externa: Prever procesos de remoción en masa (como deslizamientos, caídas de rocas o derrumbes) que puedan poner en peligro la duración de la vida del embalse o de la estructura.

Ubicación de los materiales prestados y de las canteras: Establecer la disponibilidad local de los materiales apropiados para la creación del dique (agregados, arcillas, roscas para rip-rap).

2.2.4. Geología estructural y discontinuidades

La geología estructural examina cómo están dispuestas, orientadas y deformadas las rocas.

En una presa, las fallas, fracturas, diaclasas, planos de estratificación y áreas de cizalla tienen la capacidad de determinar la estabilidad del macizo rocoso, el rumbo preferido de filtraciones y la calidad de los cimientos.

Tabla 2.7. Elementos estructurales relevantes para la presa

Elemento estructural	Definición
Falla	Plano o zona de ruptura con desplazamiento relativo.
Fractura	Discontinuidad sin desplazamiento apreciable.
Diaclasa	Fractura natural sistemática sin desplazamiento visible.
Estratificación	Superficie de separación entre capas.
Lineamiento	Rasgo rectilíneo observado en mapas o imágenes.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. Geotecnia aplicada al diseño de la presa

La geotecnia estudia el comportamiento de suelos y rocas frente a cargas, excavaciones, saturación, filtración y deformaciones. La geotecnia, en una presa, posibilita determinar el

asentamiento que se prevé, la estabilidad de taludes, la calidad de los materiales de préstamo, la permeabilidad del cuerpo de presa y la fortaleza de los materiales.

Con la evaluación geotécnica e hidrológica, ¿qué importancia transfiere a la investigación para el diseño de la presa?

- **Evaluación geotécnica:** Transfiere las características físico-mecánicas del terreno o la roca de cimentación y del cuerpo de la presa (cohesión, capacidad portante, permeabilidad K , compresibilidad, ángulo de fricción interna). Esto es esencial para comprobar la estabilidad de los taludes (tanto estática como pseudoestática) y para calcular el tamaño del sistema de drenaje e impermeabilización.
- **Evaluación hidrológica:** Ofrece el cálculo del Aporte Hídrico (para asegurar la posibilidad y el llenado del embalse) y de la Avenida de Diseño (flujos máximos extremos para periodos de retorno de 100, 500 o 1,000 años). Esto establece el potencial del aliviadero (también conocido como vertedero de demasías) para evitar que ocurra el sobrepaso (overtopping), la altura útil del embalse y el borde libre.

2.2.5.1. Prospección directa: calicatas y muestreo

Las calicatas son excavaciones exploratorias que permiten observar directamente el perfil del suelo, registrar espesores, contactos, humedad, color, textura, presencia de gravas o bloques, nivel freático y condiciones de cimentación superficial.

Tabla 2.8. Datos mínimos a registrar en calicatas

Registro en calicata	Dato obtenido
Profundidad y estratigrafía	Espesor de horizontes y contactos.
Clase de suelo	Arena, grava, arcilla, limo o una mezcla.
Saturación y humedad	Condición natural del suelo.
Presencia de bloques	Heterogeneidad del depósito.
Nivel freático	Profundidad del agua subterránea.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5.2. Clasificación SUCS y propiedades índices

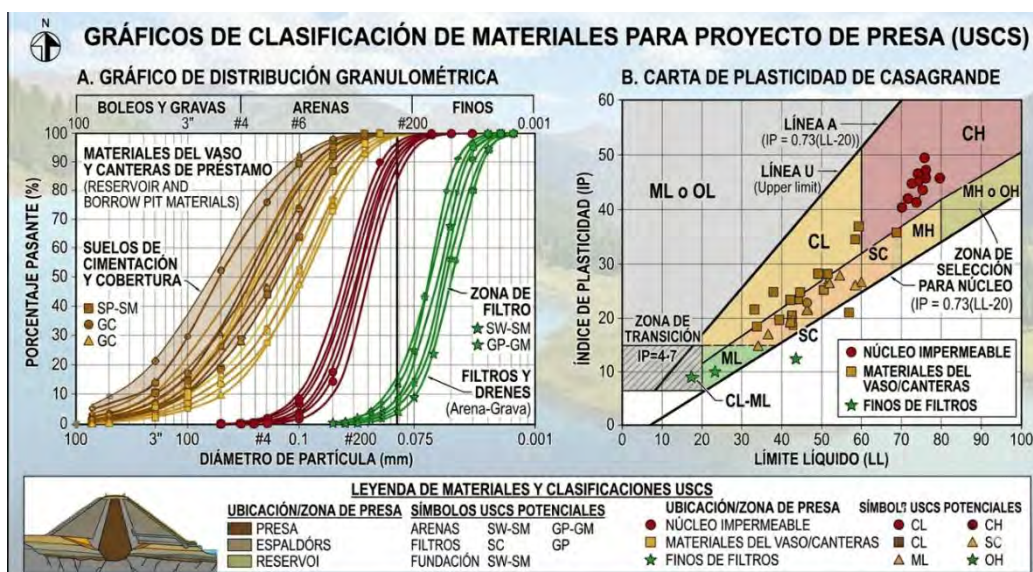
SUCS, o Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, clasifica los suelos con base en la plasticidad y la granulometría. Esta clasificación es fundamental para decidir si un material puede usarse como núcleo impermeable, espaldón, filtro, dren o relleno compactado.

Tabla 2.9. Ensayos índices y aplicación geotécnica

Ensayo	Parámetro obtenido
Contenido de humedad	Porcentaje de agua natural.
Granulometría por tamizado	Distribución de tamaños.
Límite líquido	Contenido de agua en transición plástica-líquida.
Límite plástico	Contenido de agua en transición semisólida-plástica.
Índice de plasticidad	$IP = LL - LP$.
Densidad natural	Peso unitario natural.
Proctor modificado	Densidad seca máxima y humedad óptima.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2. Curva granulométrica y carta de plasticidad



Fuente: Google. (2026). Esquema transversal de presa zonificada.

2.2.5.3. Resistencia al corte

La capacidad del suelo o de un material compactado para soportar esfuerzos tangenciales se conoce como resistencia al corte. La estabilidad del cuerpo de presa y de sus taludes aguas arriba y aguas abajo en presas de tierra o materiales sueltos está determinada por la resistencia al corte.

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi$$

En donde ϕ es el ángulo de fricción interna, τ la resistencia al corte y σ' el esfuerzo normal efectivo.

Tabla 2.10. Cuantificaciones de la resistencia por corte

Parámetro	Definición
Cohesión - "c"	Elemento de resistencia que no depende del esfuerzo ordinario.
Ángulo - fricción " ϕ "	Resistencia asociada al rozamiento entre partículas.
Esfuerzo normal efectivo " σ "	Esfuerzo transmitido por el esqueleto sólido.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5.4. Capacidad portante y asentamientos

La presión máxima que el terreno de cimentación puede soportar sin provocar deformaciones excesivas o fallos por corte se conoce como capacidad portante. En presas, es necesario realizar una evaluación tanto en suelos como en macizos de roca, tomando en cuenta la saturación, la carga del terraplén, la presión del agua y las condiciones sísmicas.

Los asentamientos son alteraciones en vertical de la tierra o del cuerpo de la presa. Pueden ser inmediatos, por reacomodo de materiales o por consolidación. En presas de materiales sueltos, los asentamientos tienen un impacto en el borde libre, la corona y la seguridad contra el sobrepaso.

2.2.5.5. Caracterización geomecánica de rocas: RQD y RMR

El índice RQD se utiliza para calcular la calidad de la roca, basándose en el porcentaje de testigos sanos que superan los 10 cm en una corrida de perforación. Lo mejor es calcularlo con testigos de perforación, aunque puede estimarse indirectamente en campo a través del espaciamiento de discontinuidades.

$$RQD(\%) = \left(\frac{\sum \text{longitudes de testigos} > 10\text{cm}}{\text{longitud total del tramo}} \right) \times 100$$

El sistema RMR categoriza el macizo rocoso según la resistencia de la roca intacta (RQD), la distancia entre discontinuidades, las condiciones de estas últimas, la presencia de agua y la dirección de las estructuras.

Tabla 2.11. Clasificación referencial - macizo rocoso (RMR)

Rock Mass Rating	Calidad del macizo
81 a 100	Muy buena
61 a 80	Buena
41 a 60	Regular
21 a 40	Mala
0 a 20	Muy mala

Fuente: Adaptado de Bieniawski (1989).

2.2.6. Permeabilidad, filtración e hidrogeología aplicada

La propiedad que hace posible la circulación del agua por medio de vacíos, poros o discontinuidades se conoce como permeabilidad. En presas, su evaluación es fundamental porque la filtración puede reducir la eficiencia del embalse, generar presiones internas, provocar erosión interna o comprometer la estabilidad de la cimentación y estribos.

$$q = k \cdot i \cdot A$$

Ley de Darcy: q es el caudal de filtración, k el coeficiente de permeabilidad, i el gradiente hidráulico y A el área de flujo.

$$i = \Delta h / L$$

El gradiente hidráulico es la pérdida de carga hidráulica dividida por la distancia del recorrido de flujo.

Tabla 2.12. Clasificación referencial de permeabilidad

Coeficiente k (m/s)	Clasificación referencial	Material típico
$> 10^{-3}$	Muy permeable	Gravas limpias
10^{-3} a 10^{-5}	Permeable	Arenas y gravas arenosas
10^{-5} a 10^{-7}	Baja permeabilidad	Arenas limosas, limos
10^{-7} a 10^{-9}	Muy baja permeabilidad	Arcillas y limos arcillosos
$< 10^{-9}$	Prácticamente impermeable	Arcillas muy compactas o roca sana sin fracturas

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6.1. Ensayo Lefranc y permeabilidad en suelos

La permeabilidad de suelos o materiales granulares en campo se calcula con el ensayo Lefranc. Es posible realizarlo con carga constante o variable.

2.2.6.2. Ensayo Lugeon y permeabilidad en roca

El ensayo de Lugeon se utiliza en macizos rocosos a través de la inyección de agua a presión en una sección aislada de perforación. Posibilita la evaluación de la entrada de agua en fracturas, diaclasas o áreas alteradas.

$$1 \text{ unidad Lugeon} \approx 1 \text{ Litro/minuto/metro} \Rightarrow \text{una presión de } 10 \text{ kg/cm}^2$$

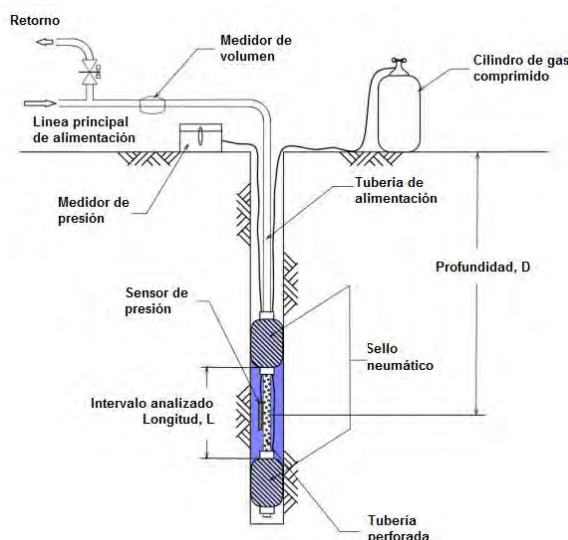
La interpretación debe considerar presión aplicada, longitud del tramo ensayado, comportamiento de admisión y posible lavado o apertura de fracturas.

Tabla IIIII2.13. Interpretación conceptual del ensayo Lugeon

Resultado Lugeon	Interpretación referencial
Muy bajo	Roca poco permeable.
Bajo a medio	Fracturación moderada o zonas localizadas de flujo.
Alto	Roca fracturada o conductos de flujo.
Muy alto	Macizo muy permeable o zonas abiertas.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.3. Esquema del ensayo Lugeon en roca



Fuente: Wikipedia

2.2.6.3. Unidades hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas clasifican los materiales de acuerdo con su habilidad para almacenar y transferir agua. En una presa, posibilitan distinguir áreas que favorecen la filtración y áreas que ayudan a la estanqueidad.

Tabla 2.14. Unidades hidrogeológicas y aplicación en presas

Unidad hidrogeológica	Definición	Ejemplo conceptual
Acuífero	Material que almacena y transmite agua con facilidad.	Gravas, arenas, roca fracturada.
Acuitardos	Material que almacena agua pero la transmite lentamente.	Limos, arcillas limosas, roca poco fracturada.
Acuicludos	Material que guarda agua pero la transmite muy poco.	Arcillas plásticas.
Acuifugo	Material que no conserva ni difunde agua de manera notable.	Roca sana masiva no fracturada.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.7. Hidrología aplicada al almacenamiento hídrico

La hidrología analiza el surgimiento, la distribución, la circulación y el uso del agua tanto en la superficie de la Tierra como en su subsuelo.

$$P = ES + ETR + I \pm \Delta S$$

Balance hídrico general: P es precipitación, ES escorrentía superficial, ETR evapotranspiración real, I infiltración y ΔS cambio de almacenamiento.

$$Q = \frac{V}{t}$$

El caudal Q es el volumen V que fluye a través de una sección en un tiempo t.

$$C_e = \frac{ES}{P}$$

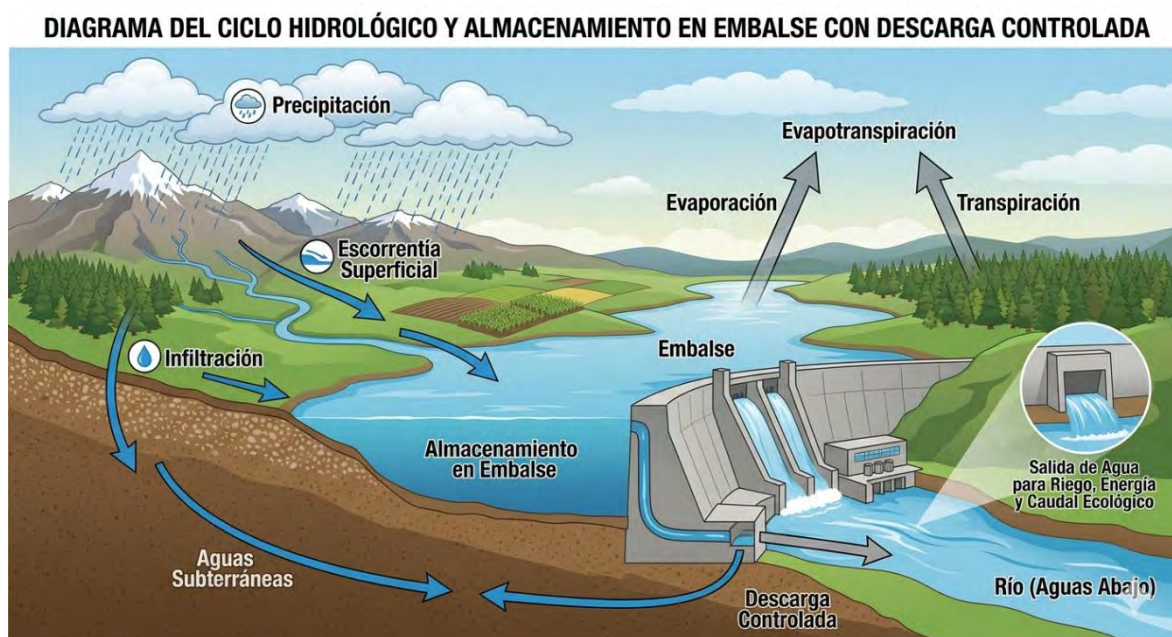
El coeficiente de escurrimiento relaciona la escorrentía superficial con la precipitación.

Tabla 2.15. Variables hidrológicas principales

Variable hidrológica	Definición
Precipitación	Agua que precipita en forma de granizo, lluvia o nieve.
Evapotranspiración	Pérdida de agua a través de la evaporación y la transpiración de las plantas.
Escorrentía	Agua que fluye superficialmente hacia cauces.
Infiltración	Entrada de agua al suelo o roca.
Oferta hídrica	Disponibilidad de agua generada por la cuenca.
Demanda hídrica	Requerimiento de agua para riego, ganadería u otros usos.
Caudal máximo	Caudal asociado a eventos extremos.
Caudal mínimo	Caudal disponible en época seca.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.4. Esquema del ciclo hidrológico aplicado a una microcuenca



Fuente: Google. (2026). Esquema transversal de presa zonificada.

2.2.8. Geofísica aplicada al reconocimiento del subsuelo

La geofísica aplicada permite inferir propiedades del subsuelo a partir de mediciones indirectas. En presas, es útil para estimar espesores de depósitos superficiales, profundidad de roca, variaciones de rigidez, zonas alteradas, contrastes de humedad y posibles rutas de filtración.

2.2.8.1. Refracción sísmica

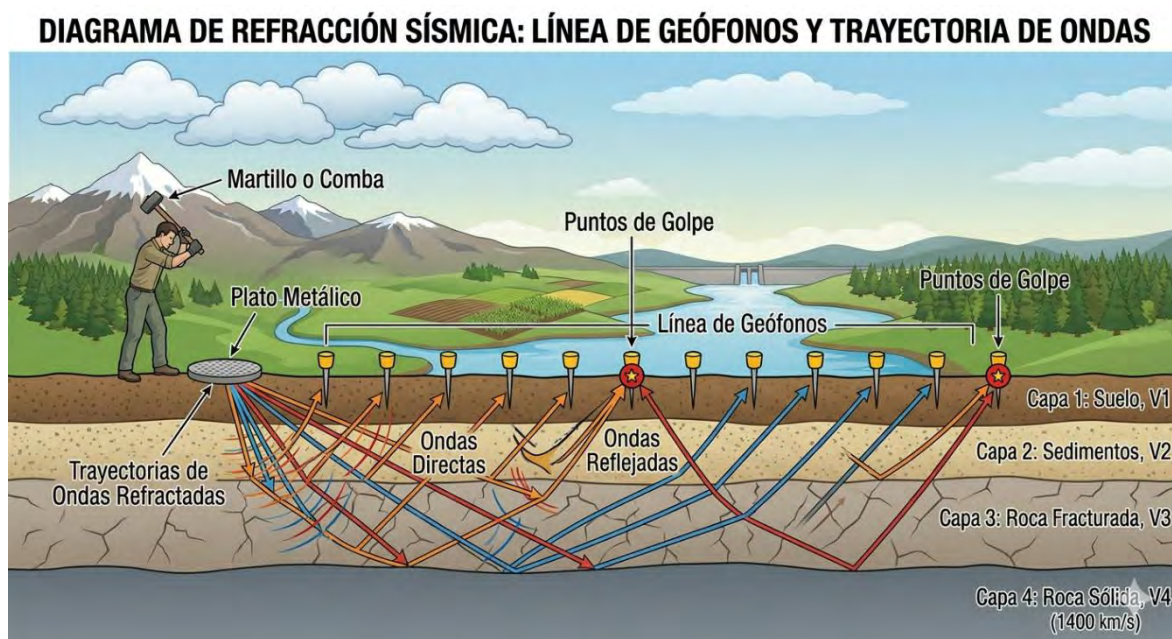
La refracción sísmica se fundamenta en el registro de ondas P producidas por una fuente sísmica y recibidas por geófonos. La rigidez, la compactación y la clase de material se vinculan con las velocidades logradas. En términos generales, velocidades bajas son indicativas de suelos sueltos o alterados, y velocidades altas sugieren la presencia de materiales densos o roca competente.

Tabla 2.16. Interpretación conceptual de velocidades de onda P

Velocidad Vp referencial	Interpretación conceptual
Baja	Suelo superficial, material suelto o alterado.
Media	Suelo denso, depósito compacto o roca alterada.
Alta	Roca poco alterada a roca competente.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.5 Representación para un ensayo de refracción sísmica



Fuente: Google. (2026). Esquema transversal de presa zonificada.

2.2.8.2. Método MASW

El método MASW examina las ondas superficiales con el objetivo de calcular el perfil de velocidad de ondas cortantes V_s . Este parámetro tiene relación con la rigidez del suelo y posibilita la categorización del tipo de terreno para su análisis sísmico. La velocidad media de las ondas de corte durante los primeros 30 metros es lo que representa el parámetro V_{s30} .

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \left(\frac{h_i}{V_{s_i}} \right)}$$

Donde h_i representa el grosor de cada capa y V_{s_i} la velocidad de la onda cortante en cada estrato hasta una profundidad de 30 metros.

Tabla 2.17. Conceptos básicos del método MASW

Parámetro	Significado
V_s	Velocidad de onda de corte.
V_{s30}	Velocidad promedio en los primeros 30 m.
Curva de dispersión	Relación entre frecuencia y velocidad de fase.
Modelo unidimensional	Perfil de V_s con profundidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de Park et al. (1999) y Xia et al. (2000).

2.2.8.3. Sondeo Eléctrico Vertical - SEV

El Sondeo Eléctrico Vertical se encarga de medir la resistividad aparente del suelo a través de la inyección de corriente y la lectura de diferencia de potencial. La resistividad está

determinada por la litología, la salinidad, el contenido de agua, el grado de alteración y la porosidad. En presas, ayuda a determinar áreas saturadas, depósitos que son permeables, roca alterada y roca más competente.

$$\rho_a = K \cdot \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

Donde ρ_a es la resistividad aparente, K el factor geométrico, ΔV la diferencia de potencial e I la intensidad de corriente.

$$K = \frac{\pi \left[\left(\frac{AB}{2} \right)^2 - \left(\frac{MN}{2} \right)^2 \right]}{MN}$$

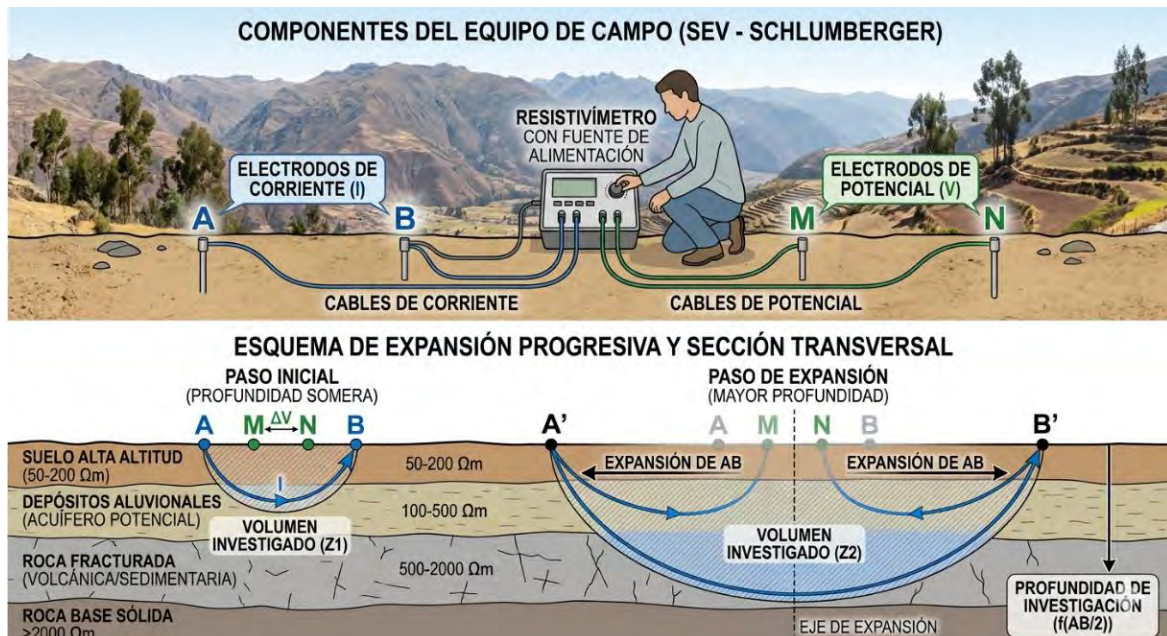
Factor geométrico para la disposición Schlumberger, que emplea una separación de electrodos de corriente AB y MN de potencial.

Tabla 2.18. Interpretación conceptual de resistividad

Resistividad relativa	Interpretación posible
Baja	Material arcilloso, saturado o alterado.
Media	Depósitos compactos o roca alterada.
Alta	Roca más sana, seca o material grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.6. Arreglo Schlumberger para SEV



Fuente: Google. (2026). Esquema transversal de presa zonificada.

2.2.9. Geodinámica y peligros geológicos

La geodinámica comprende los procesos internos y externos que modifican la superficie terrestre. En presas, su análisis es esencial porque los movimientos sísmicos, lluvias intensas, erosión, caída de rocas, deslizamientos, cárcavas o hundimientos pueden afectar la estabilidad del vaso, eje, estribos y obras complementarias.

Tabla 2.19. Procesos geodinámicos a considerar

Tipo de proceso	Definición
Sismicidad	Movimiento del terreno causado por liberación de energía tectónica.
Cárcavas	Erosión lineal profunda por escorrentía concentrada.
Deslizamientos	Movimiento de masa ladera abajo.
Caída de rocas	Desprendimiento súbito de bloques.
Socavación	Erosión en cauces o márgenes.
Hundimiento	Deformación vertical del terreno.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.10. Normas conceptuales para el diseño geológico-geotécnico de la presa.

La elaboración del diseño de la presa tiene que ser el resultado de combinar los estudios geológicos, hidrológicos, geotécnicos y geofísicos. La selección del tipo de presa no debe definirse únicamente por disponibilidad de agua o forma del vaso; también debe considerar cimentación, permeabilidad, estabilidad de estribos, materiales de préstamo, caudales máximos, seguridad sísmica y facilidad constructiva.

Tabla 2.20. Criterios de integración para el diseño de la presa

Condición evaluada	Resultado requerido
Cimentación	Roca o suelo competente, baja deformabilidad y filtración controlable.
Vaso	Baja permeabilidad y laderas estables.
Estribos	Macizo estable, sin fracturas abiertas críticas.
Material de préstamo	Granulometría, plasticidad, compactación y permeabilidad adecuadas.
Hidrología	Oferta suficiente, demanda definida y avenida de diseño.
Geodinámica	Peligros identificados y mitigables.

Fuente: Elaboración propia.

En una presa de materiales sueltos, la seguridad depende especialmente del control de filtraciones. Por ello, el diseño debe considerar núcleo impermeable, filtros de transición, drenes, protección de taludes, control de compactación y tratamiento de la cimentación. Si la cimentación rocosa presenta fracturas permeables, puede requerirse inyección o pantalla impermeable; si el suelo superficial es compresible o permeable, puede requerirse excavación hasta material competente.

2.2.11. Definiciones técnicas complementarias

Las siguientes definiciones complementan el marco conceptual y sirven para uniformizar el lenguaje técnico de la tesis. Se presentan con enfoque aplicado a Chaupibanda para que



puedan utilizarse en los capítulos de geomorfología, geología, geotecnia, geofísica, hidrología, geodinámica y diseño de presa.

Tabla 2.21. Definiciones complementarias de presas y obras hidráulicas

Término técnico	Definición aplicada
Presa	Estructura artificial que almacena, regula o deriva agua.
Embalse	Volumen de agua almacenado aguas arriba de la presa.
Vaso	Depresión natural que contiene el agua embalsada.
Cerrada o boquilla	Sector estrecho donde se emplaza la presa.
Eje de presa	Alineamiento principal del cuerpo de presa.
Corona	Parte superior de la presa.
Borde libre	Distancia entre nivel máximo del agua y corona.
Talud aguas arriba	Cara de la presa en contacto con el embalse.
Talud aguas abajo	Cara opuesta al embalse.
Aliviadero	Obra que evacua excedentes de agua.
Obra de toma	Estructura que permite extraer agua del embalse.
Ataguía	Dique temporal para desviar o controlar agua durante construcción.
Dentellón	Excavación o elemento impermeable bajo la presa.
Pantalla impermeable	Barrera vertical de baja permeabilidad.
Filtro	Material granular graduado que retiene finos y permite drenaje.
Dren	Elemento que recoge y evacua agua infiltrada.

Fuente: Elaboración propia a partir de USACE (2004), Novak et al. (2007) y ICOLD (2011).

Tabla 2.22. Definiciones complementarias de geomorfología y geología

Término técnico	Definición aplicada
Geomorfología	Campo de estudio que aborda las formas del relieve y los procesos a través de los cuales se producen.
Fisiografía	Descripción del relieve y rasgos físicos del terreno.
Pendiente	Inclinación del terreno respecto a la horizontal.
Ladera	Superficie inclinada de una geoforma.
Terraza aluvial	Superficie plana formada por antiguos depósitos de cauce.
Cauce	Canal natural por donde circula agua.
Microcuenca	Área de drenaje que aporta agua hacia un punto específico.
Litología	Descripción de la composición y textura de rocas o sedimentos.
Estratigrafía	Ordenamiento de unidades geológicas en el tiempo y espacio.
Contacto geológico	Límite entre dos unidades litológicas.
Depósito aluvial	Material transportado y depositado por corrientes de agua.
Depósito coluvial	Material acumulado por gravedad en laderas.
Depósito morrénico	Material heterogéneo dejado por glaciares.
Roca volcánica	Roca formada por actividad volcánica.
Toba	Roca piroclástica consolidada.
Meteorización	Alteración física o química de rocas en superficie.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.23. Definiciones complementarias de geología estructural y geomecánica

Término técnico	Definición aplicada
Rumbo	Dirección de una línea horizontal contenida en un plano geológico.
Buzamiento	Ángulo de inclinación máxima de un plano.
Dirección de buzamiento	Orientación hacia donde inclina un plano.
Falla	Discontinuidad con desplazamiento relativo.
Fractura	Ruptura sin desplazamiento apreciable.
Diaclasa	Fractura natural sistemática sin desplazamiento visible.
Persistencia	Extensión de una discontinuidad.
Espaciamiento	Distancia entre discontinuidades de una misma familia.
Abertura	Separación entre paredes de una discontinuidad.
Rugosidad	Irregularidad de las superficies de discontinuidad.
Relleno	Material dentro de una discontinuidad.
RQD	Índice de calidad de roca basado en testigos mayores de 10 cm.
RMR	Sistema de clasificación del macizo rocoso.
Macizo rocoso	Conjunto de roca intacta y discontinuidades.
Roca intacta	Fragmento de roca sin discontinuidades mayores.

Fuente: Elaboración propia a partir de ISRM (1978), Deere (1963) y Bieniawski (1989).



Tabla 2.24. Definiciones complementarias de geotecnia de suelos y rocas

Término técnico	Definición aplicada
Suelo	Material natural no consolidado compuesto por partículas minerales y vacíos.
Granulometría	Distribución porcentual de tamaños de partículas.
Límite líquido(LL)	Contenido acuoso en el paso de plástico a líquido.
Límite plástico(LP)	Contenido de agua en la transición de estado semisólido a plástico.
Índice de plasticidad(IP)	Distinción entre LP y LL.
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
Contenido de humedad	Conexión entre la masa de agua y la masa seca en el suelo.
Peso unitario(PU)	Peso por cada unidad de volumen.
Densidad seca máxima	Máxima densidad obtenida por compactación.
Humedad óptima	Contenido de agua para máxima compactación.
Cohesión	Elemento de resistencia al corte sin dependencia de la presión normal.
Ángulo - fricción interna del suelo	Parámetro de resistencia por rozamiento entre partículas.
Capacidad portante	Presión admisible que puede soportar el terreno.
Asentamiento	Deformación vertical por carga o consolidación.
Compresión simple	Ensayo de resistencia axial sin confinamiento.
Corte directo	Ensayo para obtener c y ϕ .
Material de préstamo	Material natural disponible para construcción.
Cantera	Lugar de extracción de material de construcción.

Fuente: Fuente: Elaboración propia a partir de Terzaghi et al. (1996), Das (2015) y ASTM International (2017).

Tabla 2.25. Definiciones complementarias de permeabilidad e hidrogeología

Término técnico	Definición aplicada
Permeabilidad	Capacidad de un material para transmitir agua.
Coefficiente k	Medida cuantitativa de permeabilidad.
Filtración	Desplazamiento de agua a través del suelo o la roca.
Gradiente hidráulico	Pérdida de carga por cada unidad de longitud.
Tubificación	Erosión interna progresiva por flujo de agua.
Presión de poros	Presión hídrica en los espacios vacíos de roca o tierra.
Nivel freático	Superficie superior de saturación subterránea.
Acuífero	Unidad que almacena y transmite agua.
Acuitardo	Unidad que transmite agua lentamente.
Acuícludo	Unidad que almacena pero casi no transmite agua.
Acuífugo	Unidad que no guarda ni envía una cantidad significativa de agua.
Ensayo Lefranc	Ensayo de permeabilidad en terrenos.
Ensayo Lugeon	Examen de admisión de agua en la roca.
Pantalla de inyección	Tratamiento con lechada para reducir filtración.

Fuente: Elaboración propia a partir de Freeze y Cherry (1979), Cedergren (1989) y USACE (1993).

Tabla 2.26. Definiciones complementarias de hidrología

Término técnico	Definición aplicada
Precipitación	Agua que proviene de la atmósfera y se deposita en la superficie.
Evaporación	Pérdida de agua desde superficies libres.
Evapotranspiración	Evaporación más transpiración vegetal.
Escorrentía	Flujo superficial generado por precipitación.
Infiltración	Ingreso de agua al suelo.
Caudal	La cantidad de agua por unidad temporal.
Caudal medio	Promedio de caudales a lo largo de un período.
Caudal máximo	Caudal de crecida para un intervalo de retorno.
Periodo de retorno	Tiempo promedio de recurrencia de un evento extremo.
Oferta hídrica	Agua disponible en la microcuenca.
Demanda hídrica	Agua requerida por usuarios o cultivos.
Balance hídrico	Comparación de entradas y salidas de agua.
Curva hipsométrica	Relación entre altitud y área acumulada de una cuenca.
Tiempo de concentración	Tiempo que el agua emplea en ir desde el punto más distante hasta la salida.

Fuente: Elaboración propia a partir de Chow et al. (1994), Maidment (1993) y Aparicio (1992).



Tabla 2.27. Definiciones complementarias de geofísica

Término técnico	Definición aplicada
Geofísica aplicada	Uso de propiedades físicas para inferir el subsuelo.
Refracción sísmica	Método que usa ondas P refractadas.
Onda P	Onda compresional primaria.
Geófono	Sensor que registra vibraciones del terreno.
Vp	Velocidad - onda P.
MASW	Análisis multicanal - ondas superficiales.
Onda S	Onda de corte.
Vs	Velocidad - onda cortante.
Vs30	Promedio de velocidad de corte en los primeros 30 metros.
SEV	Sondeo eléctrico vertical.
Resistividad	Oposición del terreno al paso de corriente eléctrica.
Resistividad aparente	Valor medido influenciado por varias capas.
Arreglo Schlumberger	Configuración de cuatro electrodos para SEV.
Inversión geofísica	Proceso para obtener un modelo del subsuelo desde datos medidos.

Fuente: Elaboración propia a partir de Telford et al. (1990), Reynolds (2011) y Park et al. (1999).

Tabla 2.28. Definiciones complementarias de geodinámica y seguridad

Término técnico	Definición aplicada
Geodinámica interna	Procesos originados en el interior terrestre.
Geodinámica externa	Procesos superficiales por agua, gravedad, clima o viento.
Sismicidad	Frecuencia y distribución de sismos en una región.
Aceleración sísmica	Medida de movimiento del terreno durante sismo.
Amenaza	Posibilidad de que un proceso riesgoso ocurra.
Vulnerabilidad	Nivel de impacto sobre los elementos expuestos.
Riesgo	La combinación de riesgo, exposición y vulnerabilidad.
Deslizamiento	Movimiento de masa sobre una superficie de falla.
Cárcava	Incisión erosiva profunda por escorrentía.
Erosión interna	Remoción de partículas dentro del cuerpo de presa.
Monitoreo	Seguimiento de deformaciones, filtraciones o niveles de agua.

Fuente: Elaboración propia a partir de Varnes (1984), Cruden y Varnes (1996), Fell et al. (2008) y UNISDR (2009).



CAPITULO III

GEOMORFOLOGÍA

3.1. INTRODUCCIÓN

El área comprendida entre los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca se encuentra ubicada en la Cordillera Occidental, con una orientación predominantemente andina, excepto hacia el límite norte del cuadrángulo del Cuzco, donde dicha orientación presenta variaciones (Mendívil & Dávila, 1994).

La superficie es desigual y montañosa, con desniveles que en su totalidad brindan una perspectiva geográfica que puede dividirse en las siguientes unidades:

3.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

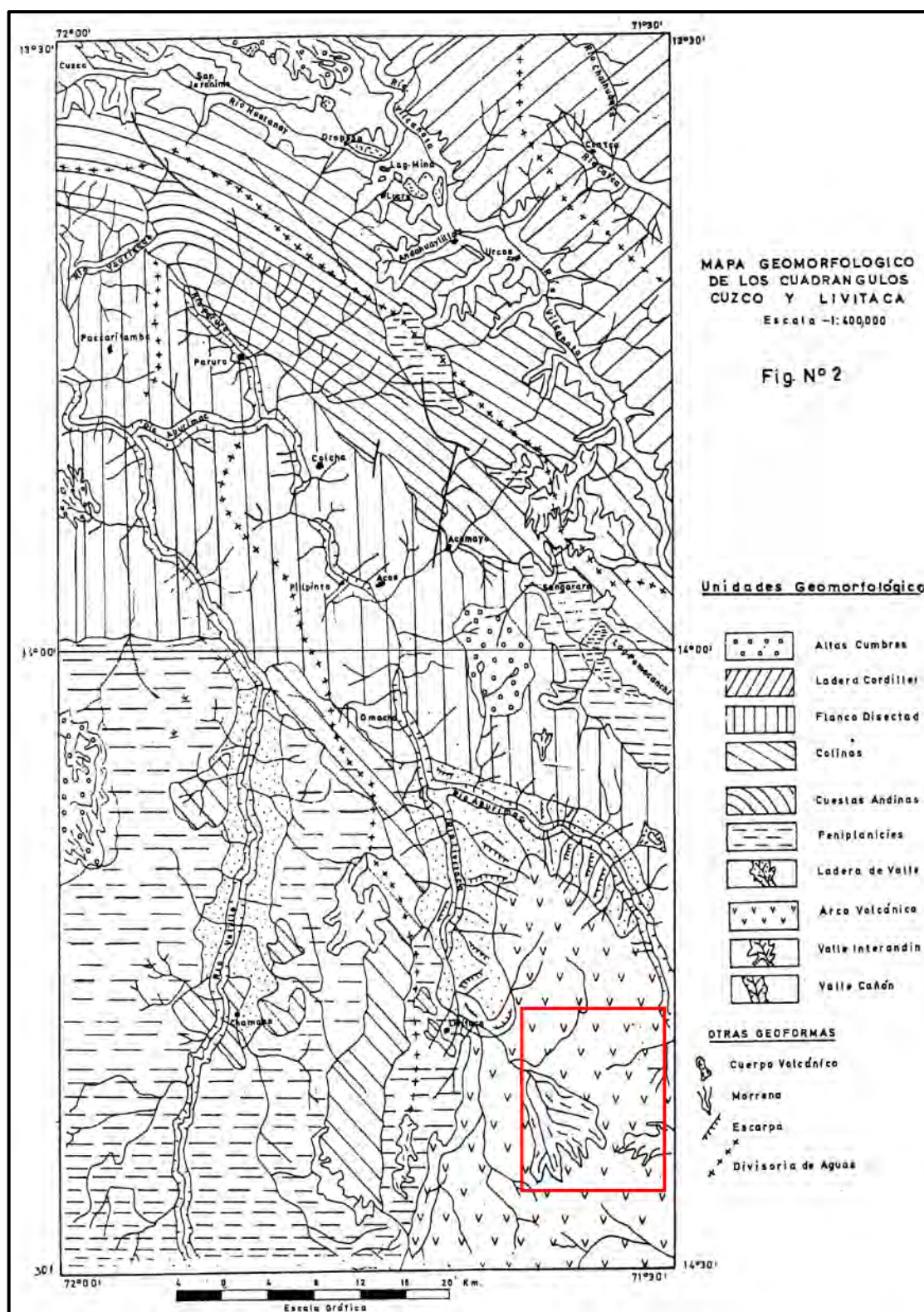
3.2.1. FAJA INTRACORDILLERANA

La unidad geográfica ubicada entre la Cordillera Oriental y la Cordillera Occidental presenta una morfología accidentada y contrastante, caracterizada por la presencia de sectores planos delimitados por cadenas montañosas y depresiones profundas. Dentro de esta unidad se encuentran las mayores variaciones altitudinales del área de estudio (Mendívil & Dávila, 1994).

3.2.2. CORDILLERA ORIENTAL

Pertenece a las partes más orientales de esta estructura y se ubica al sureste del cuadrángulo de Livitaca. Su topografía es moderada y las altitudes extremas oscilan entre los 3,000 m.s.n.m. y los 4,491 m.s.n.m.

Imagen 4: Mapa geomorfológico del área de investigación.



Fuente: Adaptado de Mendivil y Dávila (1994), INGEMMET.

3.3. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

A continuación, se detallan las geoformas más relevantes que aparecen en la región de estudio.:

3.3.1. LADERAS

Los flancos de las quebradas Yurac Casa Huayra tienen laderas con pendiente suave a moderada.

Foto 1: Vista de la quebrada Yurac Casa Huayra

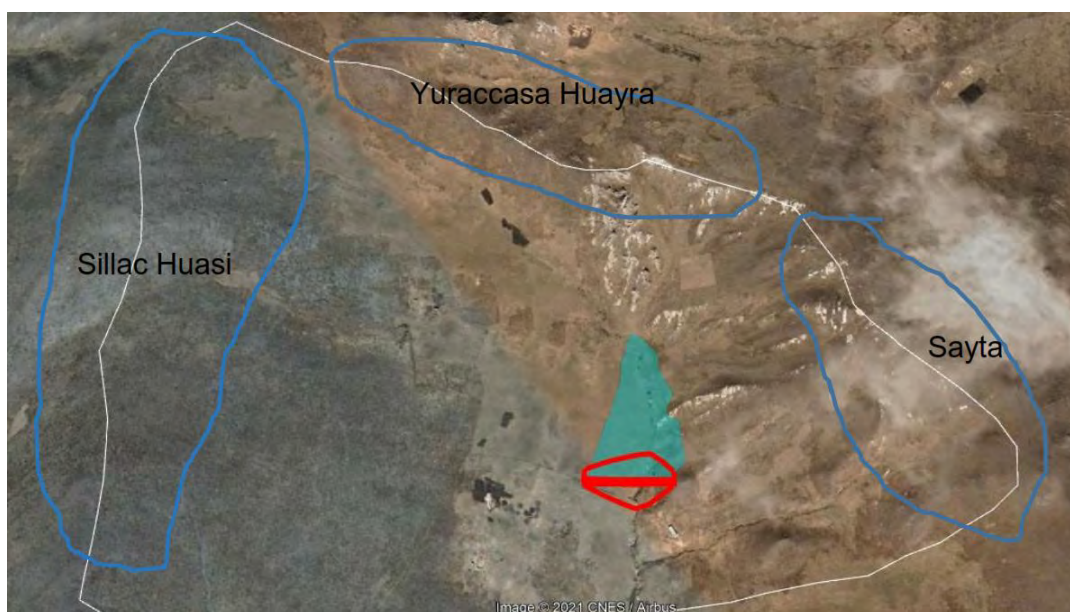


Fuente: Elaboración propia

3.3.2. COLINAS

En el área del proyecto, hay tres colinas, llamadas Sayta, Sillac Huasi y Yuraccasa Huayra. Están situadas entre los 4 143 y los 4 243 metros sobre el nivel del mar y tienen perfiles convexos, que van de suaves a moderados.

Imagen 5: Vistas de las colinas del área de estudio

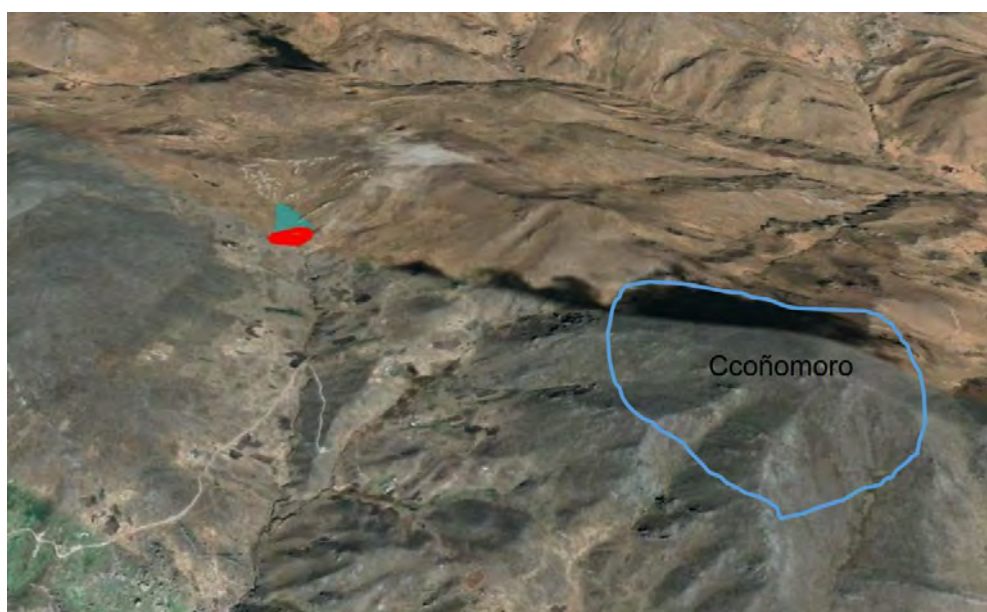


Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales obtenidas mediante SASPlanet.

3.3.3. CERROS

El cerro Ccoñomoro, que tiene una altura de 4 320 metros sobre el nivel del mar y está constituido por rocas volcánicas de la formación Tinajani, está cubierto con suelo coluvial superficial.

Imagen 6: Panorama del cerro Ccoñomoro, que se encuentra al noreste de la región de análisis.



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales obtenidas mediante SASPlanet.

3.3.4. TERRAZA ALUVIAL

Esta geoforma está situada al pie de la colina Sillac Huasi y tiene relieve suave y plano, con ligeras ondulaciones. Hoy en día, se emplea como zonas de cultivo y pastoreo.

Foto 2: Vista de la Terraza aluvial al pie de la colina Sillac Huasi de las áreas de pastoreo y cultivo



La zona del sistema de almacenamiento, actualmente tiene una forma elíptica cóncava, al inicio del vaso está formado por la cabecera de quebrada medianamente ancha con aproximadamente 340 m de longitud. En la parte media del vaso se va anchando con aproximadamente 993 m y a medida que se acerca al eje de presa el ancho va disminuyendo a 170 m aproximadamente.

En general, los flancos del vaso presentan pendientes moderadas, con una inclinación predominante de 20° a 30°. Estas están ubicadas en flujos piroclásticos, con ceniza y volcanoclásticos, arenisca de grano medio y conglomerados monomícticos, así como ceniza y cristales blanquecinos, además de contener una gran cantidad de cuarzo..



CAPITULO IV

GEOLOGÍA

4.1. INTRODUCCIÓN

El estudio actual se refiere a los trabajos de campo y gabinete efectuados en el área del sistema de almacenamiento (PRESA) para la tesis actual titulada "EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024". Este incluye las pruebas y trabajos realizados, además de las características geológicas más relevantes en el área del sistema de almacenamiento.

El área de influencia del proyecto se encuentra en la Comunidad Campesina de Chaupibanda, y el criterio para llevar a cabo las tareas ha sido conforme a la normativa vigente.

Un elemento crucial a señalar es la relevancia de las tareas de reconocimiento de campo y la delimitación del área de impacto del proyecto. Para ello, se han llevado a cabo trabajos en colaboración con los encargados de la Municipalidad Distrital de Quehue. Además, se establecieron coordinaciones con los beneficiarios y líderes de la Comunidad Campesina de Chaupibanda.

Para delinear los trabajos geológicos, se utilizó la información que proveen las cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y la Municipalidad Distrital de Quehue.

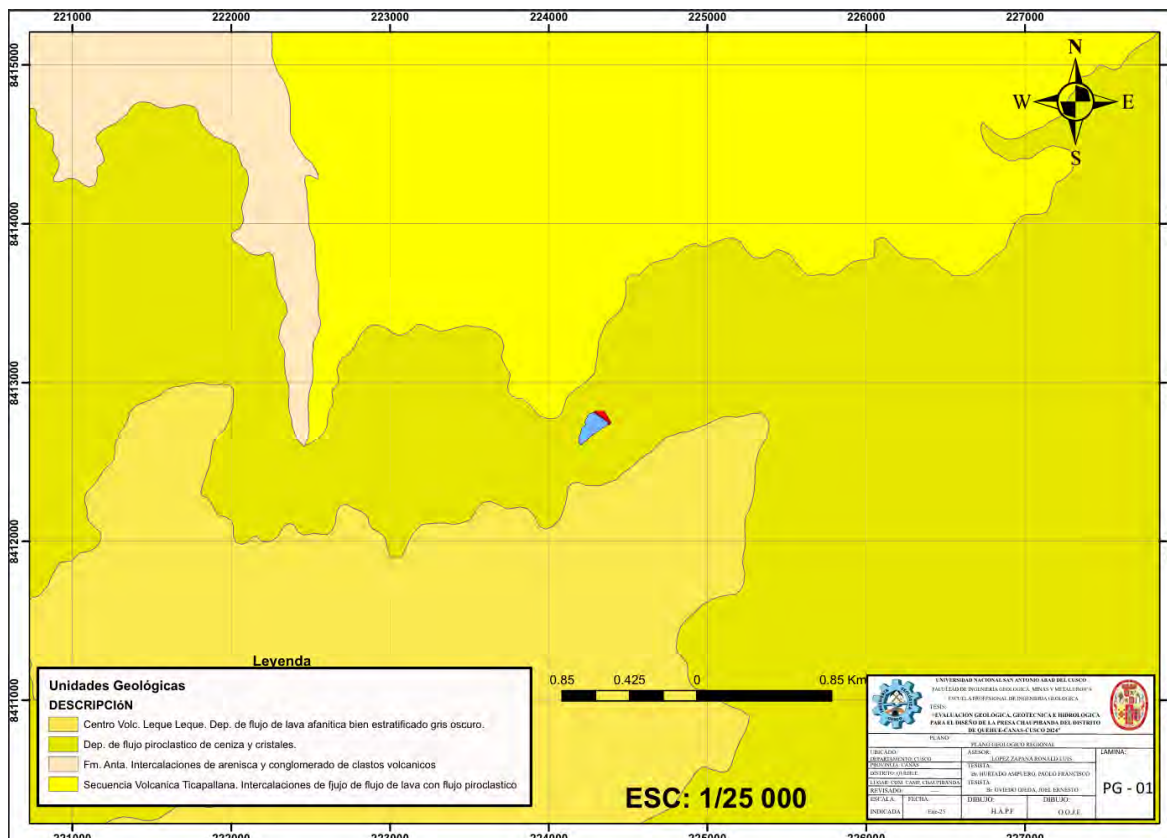
Durante la ejecución de los estudios geológicos a nivel regional, se han confirmado y corregido en campo las unidades geológicas regionales de superficie, que emergen tanto dentro como fuera del embalse, el vaso y sus alrededores. Para ello, se ha usado principalmente lo publicado por el INGEMMET, en relación a los cuadrángulos de Livitaca y Cuzco. Hojas: 28-s y 29-s - [Boletín A 52] - Salvador Mendívil Echevarría | David Dávila Manrique (Mendívil & Dávila, 1994).

4.2. GEOLOGÍA REGIONAL

Las Formaciones Geológicas Regionales de la zona analizada, que incluyen rocas volcánicas, subvolcánicas, brechas y conglomerados, se originaron entre el Paleógeno y el Cuaternario reciente (Mendívil & Dávila, 1994). Estas formaciones están sujetas a procesos geodinámicos internos y externos que alteran las estructuras rocosas según su comportamiento geomecánico (de resistencia y cohesión), lo que conduce a la creación de estructuras geológicas como los plegamientos y los fallamientos (Mendívil & Dávila, 1994).

La permeabilidad de las rocas, el nivel de fracturamiento tectónico o sismo-tectónico y la erosión causada por las aguas meteóricas, los glaciares y el viento son factores que determinan el comportamiento geomecánico de las rocas en la zona (ISRM, 1978). Estas alteraciones de las rocas y la actividad volcánica que es característica de esta zona. Las principales unidades litológicas que se encuentran en el campo de estudio se describen a continuación:

Mapa 1: Mapa geológica regional



Fuente: Elaboración propia

4.2.1. GRUPO CATAZA (PN-ta)

Newell (1949) lo caracterizó como una formación. En el estudio de los cuadrángulos de Palca y Pachía, Wilson (1962) lo eleva posteriormente al Grupo. La secuencia superior es la más extensa y complicada debido a sus rápidas variaciones laterales, que van desde facies tobáceas depositadas en ambientes subaéreos hasta tobas subacuosas depositadas en lagunas grandes y próximas entre sí. Se comienza con andesitas depositadas en estructuras piramidales, que en ciertas zonas están al lado de andesitas brechoides y por encima de piroclásticos riodacíticos a dacíticos, formando bancos masivos, que a veces están bien estratificados e incluso tienen indicios de corrientes, si se trata de facies



lagunares. Entre Cayarani y Alja Victoria, en la sección analizada, se han intercalado arcillas, arenas tobáceas y calizas (Wilson, 1962).

Correlación y edad. Las dataciones radiométricas que Noble (1974) hizo en áreas vecinas, como Orcopampa y zonas aledañas, con el método K/Ar, reportan edades de 19.5 m.a. para la parte inferior y de 18.9 m.a. para la superior de las tobas (Noble, 1974).

4.2.2. GRUPO MAURE (Nm-ma3; Nm-ma2; Nm-ma1)

Para una secuencia de sedimentos y piroclásticos posterior al Grupo Barroso, se le conoce como Wilson y García (1962) en la región de Palca, ubicada en el sur peruano, aparentemente derivado del nombre “Mauri”, que se utilizó anteriormente (Douglas, 1914; Ahlfeld, 1946) para las rocas ubicadas en la zona del Río Mauri, al norte de Bolivia. Más adelante, Mendivil (1965) utilizó el término para referirse a una secuencia pre-Grupo Barroso de sedimentos lacustres y piroclásticos en la región de Maure, ubicada al sur del Perú. Después de ello, otros autores continuaron usándolo (Wilson & García, 1962; Mendivil, 1965).

El Grupo Maure, que es una unidad muy diferenciada en el ámbito del proyecto, está compuesto por sedimentos lacustres (en su mayoría fangolitas, limolitas y tobas retrabajadas, además de conglomerados, calizas con algunas areniscas y lutitas negras) y por rocas volcánicas interestratificadas (escasamente bloques de tobas, andesitas basálticas, lavas e ignimbritas). Los sedimentos y los piroclásticos suelen tener colores claros, además de las lutitas negras. Sin embargo, algunas unidades se distinguen por tener una coloración verde intensa a causa del elevado contenido de clorita (Mendivil, 1965).

4.2.3. FORMACIÓN CASABLANCA (NQ-cb)

Según Wilson y García (1962), Mendivil (1965), Marocco y Del Pino (1966) y García (1978), el grupo está bien expuesto en un pequeño sinclinal, donde se encuentra una ignimbrita masiva, estratificada, de menos de 5 metros de espesor. Esta presenta escasos clastos líticos, con secciones inferiores a 1 cm., así como cristales de cuarzo que alcanzan hasta 2 mm. de sección. Los elementos se interestratifican con tobas aéreas lapillíticas muy finamente laminadas y clastos de tobas explosivas vesiculares pulverizadas, las cuales son normalmente gradadas y llegan a tener hasta 30 cm. Además, se nota una menor presencia de limolitas tobáceas y fangolitas grises, las cuales están delicadamente laminadas y tienen un espesor inferior a los 20 cm. También hay menos conglomerado de gravas con clastos de andesita (de hasta 5 m.) y en capas con un grosor máximo de 40 cm. Por varios kilómetros y a lo largo de la dirección, se revelan capas de caliza silicificada. Con una laminación fina, de color gris oscuro y con capas que pueden alcanzar los 40 cm de grosor,



se crean barrancos con bordes bien definidos. En la porción más baja de la sucesión, hay bloques de tobas rocosos que han sido intemperizados y contienen clastos de andesita angular, incluso de 12 cm. De una sección en una matriz tobácea con malaquita (Wilson & García, 1962; Mendívil, 1965; Marocco & Del Pino, 1966; García, 1978).

4.2.4. FORMACIÓN BARROSO (NQ-ba/pi; NQ-ba/da,an)

En la región de Maure y Antajave, el Grupo Barroso fue identificado por Wilson en 1962 y posteriormente por S. Mendívil en 1965. Allí se identificaron tres secuencias que recibieron los nombres Volcánico Chila, Volcánico Barroso y Volcánico Purupurini. En Huambo y Orcopampa, J. Caldas (1974) lo ha identificado cerca de la zona de Cayarani y Chulca, donde se distinguen tres series: inferior, media y superior. Consideramos que estas unidades también se encuentran en Cayarani y Chulca; no obstante, la hemos segmentado en Barroso superior e inferior de acuerdo con las características geomórficas, que están relacionadas con la litología tufácea de la serie inferior y con los conos lávicos de la fase superior, los cuales reposan sobre superficies peneplanizadas (Wilson & García, 1962; Mendívil, 1965; Caldas, 1974).

Creemos que el Barroso inferior, que es resultado de secuencias piroclásticas y lávicas de alcance regional, ha cubierto una superficie erosionada que impacta al Sencca y al Grupo Tacaza. Por otro lado, los focos volcánicos del Barroso 2 están situados por encima, pero en un área lávica local, a través de la zona debilitada (agrietamiento) donde estos magmas han sido vertidos (Mendívil, 1965).

Esta unidad está posicionada en discordancia angular sobre la Formación Alfabamba y debajo de los depósitos fluvio-glaciares (Wilson & García, 1962; Mendívil, 1965).

4.2.5. FORMACIÓN ARCURQUINA (Kis-ar)

Jenks (1948) estableció y Benavides (1962) ratificó el término para la secuencia calcárea que se encuentra sobre los clásticos Murco, al noroeste de Arequipa; no obstante, Marocco (1975) y Pecho (1981) lo usaron para referirse a la secuencia calcárea con una posición estratigráfica parecida a la Formación Arcurquina. Después, Mendívil (1978) emplea el término Arcurquina para distinguir tres miembros en la zona de Livitaca; sin embargo, explica que esta unidad necesita ser reclasificada, ya que puede dividirse en diversas unidades con la categoría de formación e integrantes de un grupo. No se ha hecho este cambio porque no se han llevado a cabo las observaciones pertinentes. En la región de Livitaca y Cuzco, todos los afloramientos calcáreos del Cretáceo se han agrupado en una única unidad litoestratigráfica debido a su similitud litológica y a su secuencia estratigráfica parecida. Por ser una extensión lateral de la Formación Arcurquina, se le conserva ese nombre (Jenks, 1948; Benavides, 1962; Marocco, 1975; Pecho, 1981; Mendívil, 1978).



La Formación Arcurquina es un conjunto de capas calcáreas compuestas por dolomitas en estratos intermedios, calizas que van del gris al gris oscuro y margas y lutitas en menor proporción (Mendívil, 1978).

Edad y correlación: Como no se han hallado fósiles en la investigación actual, se adoptan las conclusiones de las relaciones estratigráficas regionales y de la fauna reportada en localidades cercanas. Por lo tanto, se supone que abarca desde el Albiano hasta el Coniaciano; sin embargo, según las relaciones estratigráficas mencionadas, la edad cambia en ambas conexiones hacia el este, limitándose al Cenomaniano. La Formación Arcurquina se relaciona con las unidades calcáreas de la región central y del norte peruano, como Cajamarca, Quilquiñán, Chulec, Pariatambo y Pulluicana. Simultáneamente, es igual al Grupo Moho (Mendívil, 1978).

4.2.6. DEPOSITO MORRÉNICO (Qpl-mo)

El porcentaje más alto se encuentra a más de 4,350 m. y aún más allá de 4,400 m.: es posible que esta disminución sea más pronunciada en el norte que en el sur, posiblemente debido a factores como la alimentación provocada por cambios meteorológicos en relación con el relieve sobre el cual operaron, lo cual tiene una influencia significativa (Mendívil & Dávila, 1994).

Los depósitos de morrena están formados por fragmentos de diversos tamaños, que suelen estar organizados en una matriz de arcilla-limo-arena. La composición de estos componentes cambia de un sitio a otro dependiendo de la roca madre y pueden aparecer como morrenas frontales, laterales o de fondo (Mendívil & Dávila, 1994).

Se han distinguido tres tipos de glaciares: los de montaña o cerros Intanaira, que son aquellos que han existido y los que todavía existen, siempre de manera permanente (Mendívil & Dávila, 1994).

4.2.7. DEPOSITO ALUVIAL (Qh-al)

Están formados por bloques, quijas, gravas, arenas, limos y arcillas con una composición heterogénea. El material que se transporta mediante este proceso tiene un tamaño muy variado, desde formas subredondeadas hasta subangulosas (Mendívil & Dávila, 1994).

Esta acumulación de aluviones llenó, por lo menos en parte, todos los valles al final del periodo glacial y prosiguió más tarde, como se deduce de sus conexiones con el volcán Quimsachata y las terrazas suspendidas o simplemente con una acción reactivada, que reanudó la acción socavadora o degradante, profundizando antiguos cauces y depositando sedimentos nuevos. Por lo anterior, estos depósitos se han ido acumulando en distintos

periodos desde el comienzo de la época reciente; probablemente abarcan un poco desde las postrimerías del Pleistoceno hasta los tiempos presentes (Mendivil & Dávila, 1994).

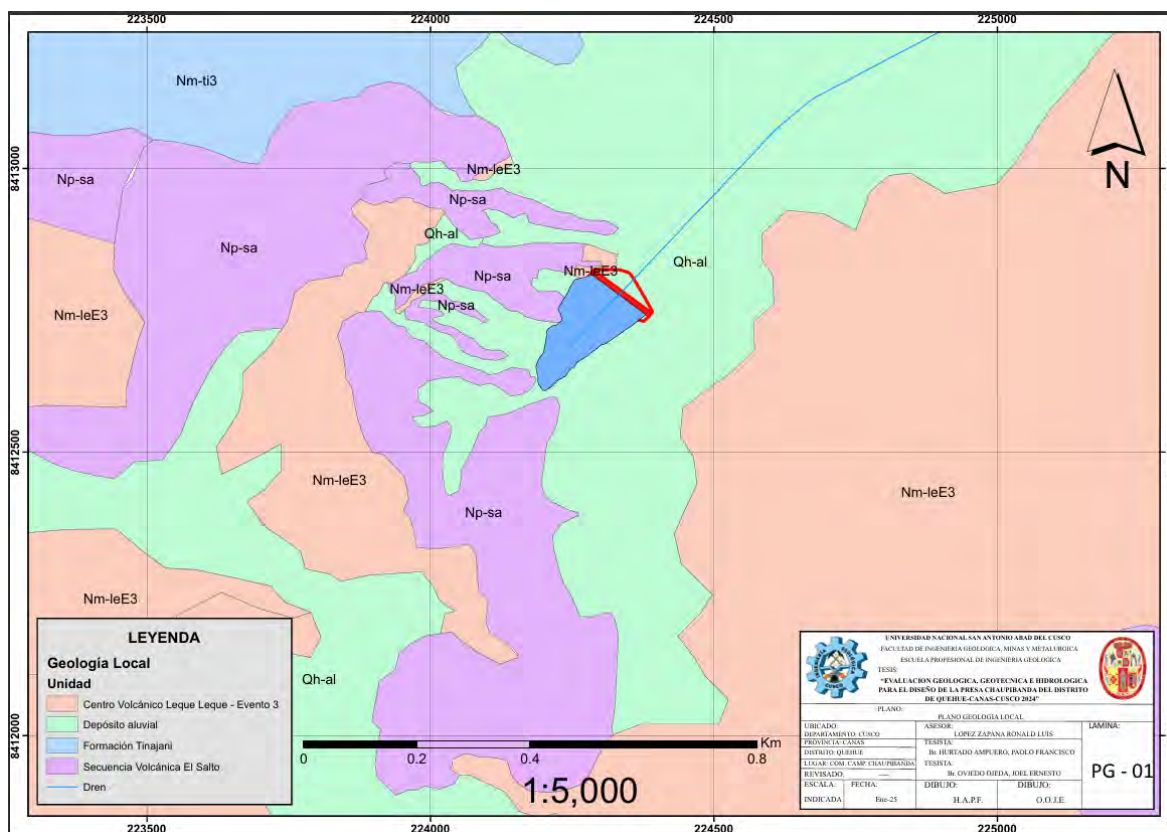
4.2.8. DEPOSITO FLUVIOGLACIAR (Qh-fg)

Las gravas, las arenas poco estratificadas, los conglomerados y los limos y arcillas lenticulares son los principales componentes de los depósitos fluvioglaciares. Su grosor es muy variable y la composición de sus elementos es bastante diversa (Mendivil & Dávila, 1994).

4.3. GEOLOGÍA LOCAL

En la zona de estudio se pueden observar afloramientos de rocas que pertenecen a la secuencia volcánica El Salto y al centro volcánico Leque Leque. Asimismo, hay depósitos del Cuaternario (bofedales, depósitos coluviales, aluviales y fluviales) en el área.

Mapa 2: Mapa geológico local



Fuente: Elaboración propia

4.3.1. CENTRO VOLCÁNICO LEQUE LEQUE - EVENTO 3 (Nm-leE3)

En esta unidad informal es del sistema Neógeno y en la serie Mioceno del tiempo geológico de un ambiente volcánico, se encuentra en al este y al sureste del vaso, está conformado

por depósito de flujo de lava afanítica bien estratificado gris oscura con fenocristales de plagioclasas.

Foto 3: Muestra de roca gris oscura con fenocristales de plagioclasas



Fuente: Elaboración propia

4.3.2. FORMACIÓN TINAJANI (Nm-ti3)

En esta unidad formal es del sistema Neógeno de la serie Mioceno, se encuentra al norte del vaso y está conformado por intercalación de flujos piroclásticos, ceniza con volcanoclásticos, y conglomerados monomícticos.

4.3.3. SECUENCIA VOLCÁNICA EL SALTO (Np-sa)

Esta unidad informal del Neógeno Plioceno que sobre yace al centro volcánico Leque Leque y a la formación Tinajani se desplaza en los flancos del este al sureste del vaso. Está conformado por depósito de flujo piroclásticos de ceniza y cristales blanquecinos, abundante cuarzo y tobas líticas.

Foto 4: Observación de la muestra de piroclastos.



Fuente: Elaboración propia

Foto 5: Perspectiva de la muestra de roca toba cristalina y lítica



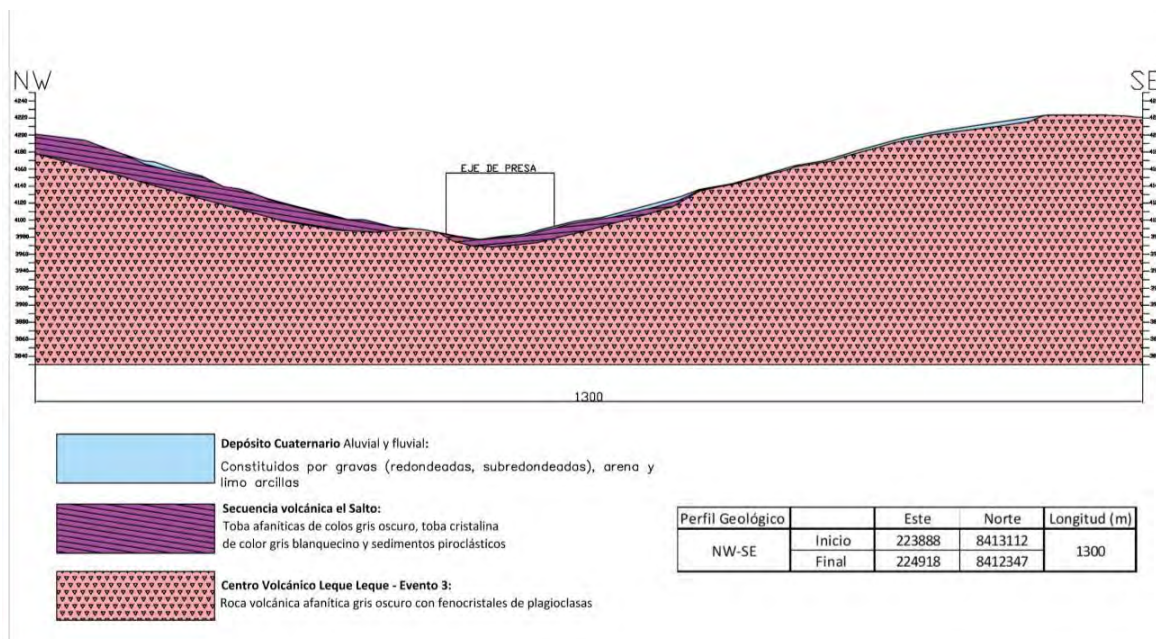
Fuente: Elaboración propia

4.3.4. DEPÓSITOS ALUVIALES (Qh-al)

Estos materiales, pertenecientes al Cuaternario, se encuentran en el cauce del drenaje y también a lo largo de las pendientes laterales del vaso, dando lugar a terrazas.

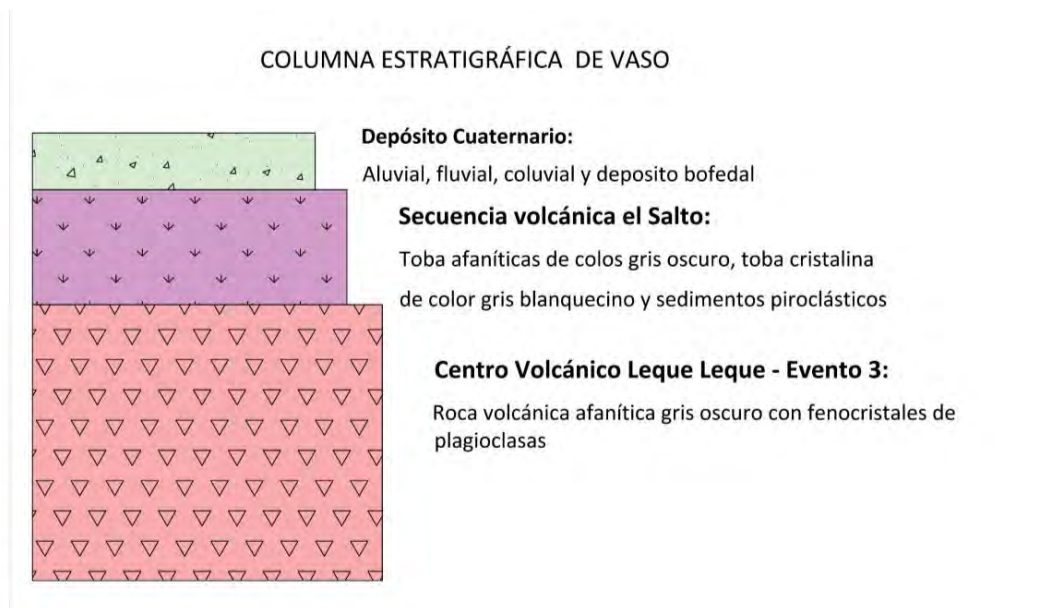
Están formados por gravas, las cuales son redondeadas o subredondeadas y se encuentran en una matriz arenosa y areno-arcillosa.

Imagen 7: Sección Estratigráfica Tipo del Vaso – Represa de Chaupibanda



Fuente: Elaboración propia (2024), a partir de trabajos de campo y levantamiento geológico del área de estudio.

Imagen 8: Columna estratigráfica del vaso.



Fuente: Elaboración propia (2024), basada en trabajos de campo y cartografía geológica del INGEMMET.

4.3.5. INTERPRETACIÓN COLUMNA TIPO

En el Vaso de la Represa de Chaupibanda se realizó las calicatas para determinar los diferentes tipos de materiales existentes en los depósitos reconocidos en la Geología Local de estos se referencia una Columna estratigráfica tipo, con todos los materiales emplazados en el Vaso de la Represa. Teniendo como base rocosa al centro volcánico de Leque Leque, la formación Tinajani y como parte superior a la secuencia volcánica de salto y al depósito cuaternario aluvial.

Foto 6: Estratificación de la secuencia volcánica de salto.



Fuente: Elaboración propia

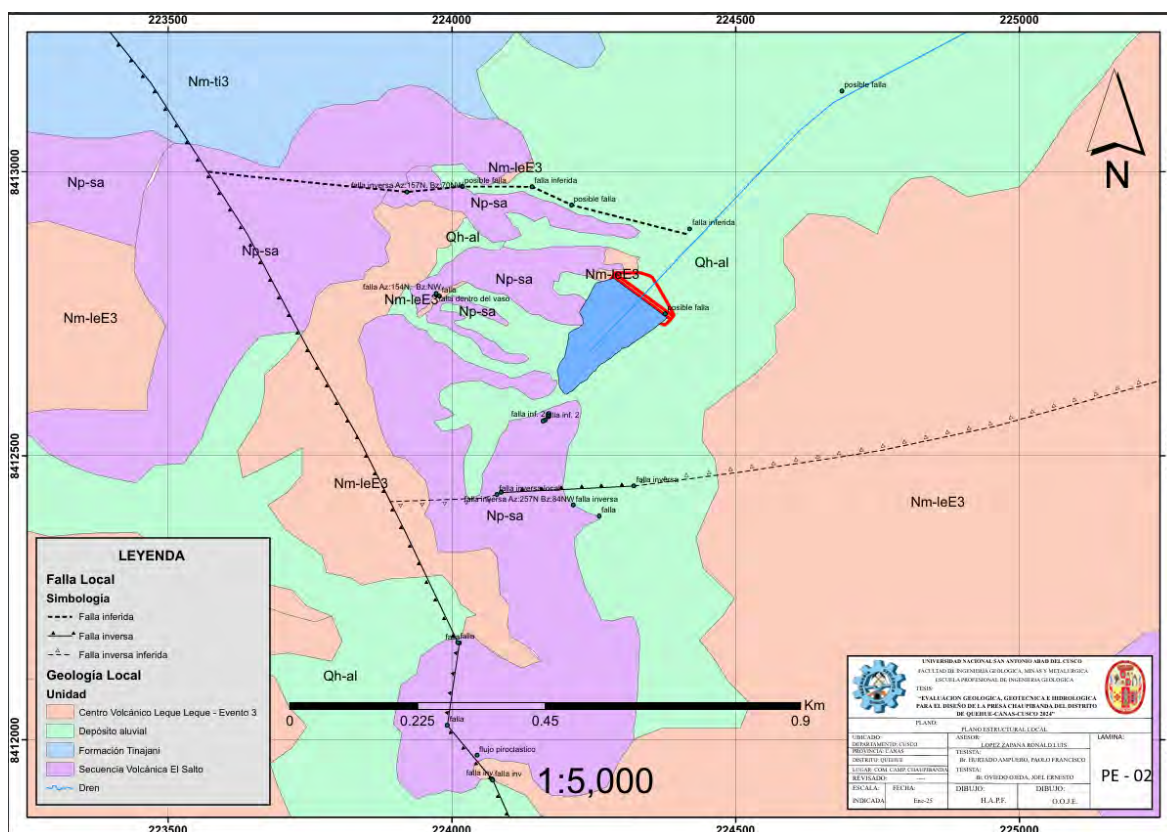
4.4. UNIDADES ESTRUCTURALES

La historia geológica del área de estudio en la zona ha cambiado debido a las fases tectónicas que han creado esfuerzos compresivos y distensivos.

El área de trabajo contiene estructuras de orígenes diversos que impactaron las distintas rocas del sitio. Se pueden observar fracturas y patrones de flujo que ayudan a distinguir dominios estructurales. Restringida por fracturas con dirección andina que han sido cubiertas de manera discordante por unidades litoestratigráficas más modernas. Los esfuerzos compresivos consecutivos de las fases Incaica y Peruana han dado lugar a estructuras monoclinales o pliegues anchos, simétricos y apretados.

En nuestra zona de estudio se identificó a unos 50 km. de distancia, NO una falla de tipo inversa. Por la distancia esta falla no implica ningún tipo de amenaza para la presa Chaupibanda.

Mapa 3: Mapa estructural



Fuente: Elaboración propia (2024), basada en trabajos de campo y cartografía geológica del INGEMMET.



CAPITULO V

HIDROLOGÍA

5.1. GENERALIDADES

Con frecuencia, el hombre presencia el ciclo del agua en la naturaleza sin comprenderlo. La formación de nubes y su inestabilidad, los cambios en el clima, la lluvia, las fluctuaciones en los niveles de ríos y la acumulación de agua en depósitos naturales o artificiales son asuntos que se han investigado durante años, lo que ha dado lugar a una rama de la física llamada Hidrología.

La ciencia que investiga la distribución, cuantificación y empleo de los recursos de agua presentes en el planeta es conocida como Hidrología, lo cual es su definición más sencilla. El agua dulce, un recurso esencial para el uso humano, está presente en la atmósfera, en la superficie de la tierra y bajo las capas del suelo.

Se están utilizando herramientas como software para analizar y desarrollar diversas variables hidrometeorológicas, con el fin de procesar y sistematizar los resultados necesarios en el análisis de consistencia, ajuste e homogeneidad de la información empleada con mayor rapidez y precisión.

Con respecto a la información que ya ha sido analizada y procesada, y utilizando diversas metodologías (distribuciones) para el estudio de las variables hidrometeorológicas entre otras, se debe determinar la disponibilidad de agua del proyecto, los caudales mensuales medios, máximos y mínimos, el gasto sólido, las propiedades geomorfológicas y los parámetros hidrometeorológicos más relevantes.

La tesis actual se basa en una presa de tierra mixta que está ubicada en la parte alta de la comunidad. Esta almacenará las aguas pluviales producidas entre diciembre y marzo, para luego recolectarlas y transportarlas a las zonas con riego durante los meses de mayo a noviembre, utilizando un sistema cerrado (aspersión) para realizar la distribución.

5.2. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

La evaluación hidrológica del proyecto nos permitirá un análisis de los aspectos hidrológicos de la cuenca de aporte Yuraccasa, con un objetivo final: De obtener la cuantía y distribución de recursos hídricos, que, confrontados con la demanda, de acuerdo al análisis de balance hídrico y regulación, permitan analizar la capacidad del vaso de la presa Chaupibanda con que se contarán para el almacenamiento de la oferta.



5.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA Y DEL RÍO PRINCIPAL DE LA FUENTE NATURAL DE AGUA

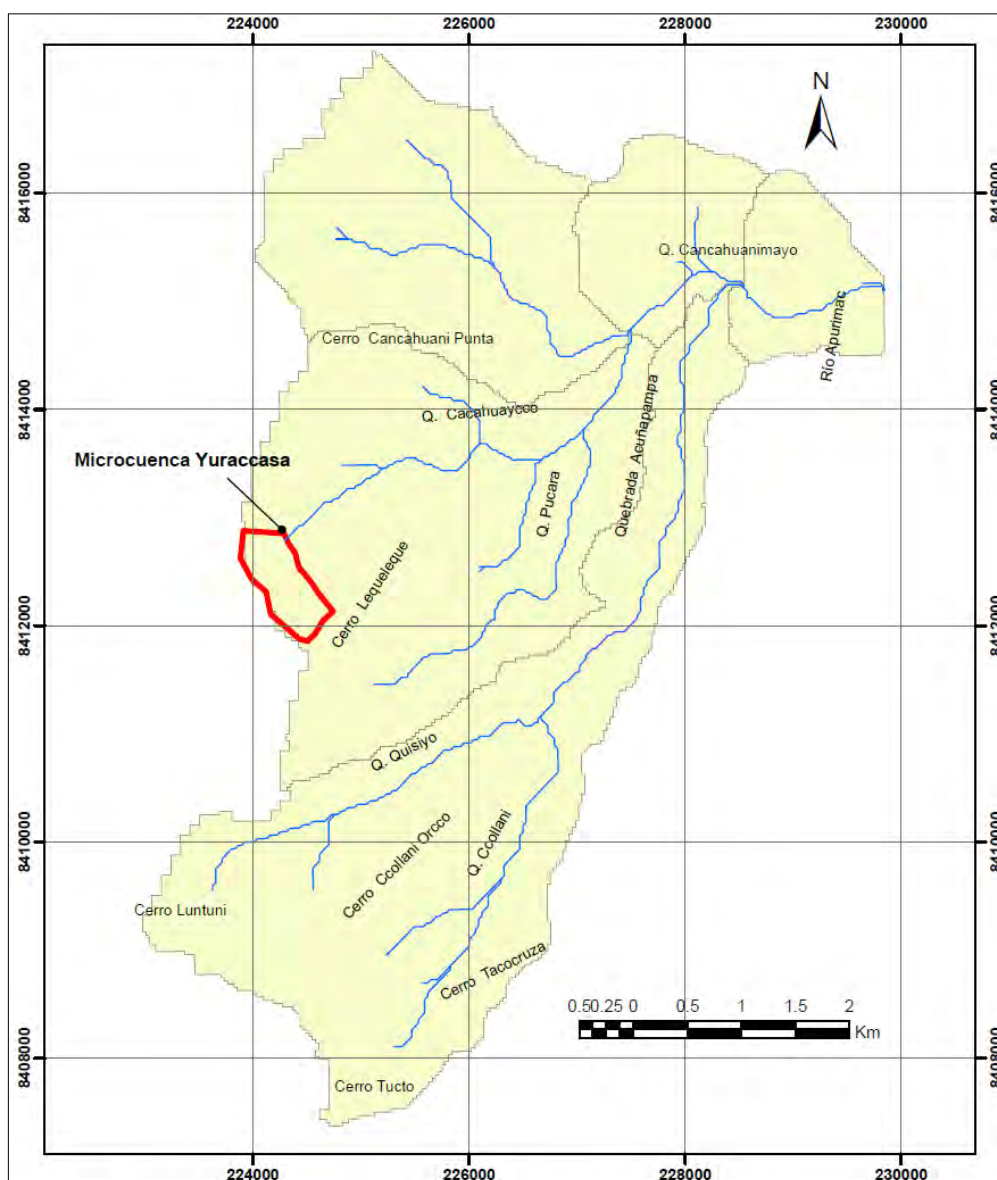
La cuenca hidrográfica es la unidad de integración fundamental para la administración de nuestro territorio en términos de planificación y gestión de los recursos naturales. Según los avances tecnológicos en investigaciones de cuencas, se han establecido tres vertientes hidrográficas para la región peruana en América del Sur: Vertiente del Titicaca (49,461.46 km²), vertiente del Amazonas (957,084.64 km²) y vertiente del Pacífico (278,669.50 km²). La microcuenca del riachuelo Yuraccasa, que alberga la captación y la presa y abarca el área recolectora de aguas superficiales del proyecto, se encuentra en la vertiente amazónica como parte de la red de microcuencas cabeceras del Alto medio Apurímac.

La microcuenca Yuraccasa, que se localiza en la parte sur media de Perú, forma parte de la cuenca del río Chaupibanda, que pertenece a la cuenca Alto medio Apurímac. En esta área es donde están situadas las zonas agrícolas para riego del proyecto; al mismo tiempo, dicha cuenca desemboca en la del río Apurímac. La microcuenca Yuraccasa presenta un área de 0,45 km² y tiene una forma rectangular con un estrechamiento cerca de la salida, donde se instalará la bocatoma y la estructura de represamiento. En términos geográficos, está ubicada dentro de la cuadrícula UTM zona 19 Norte entre los puntos 8412873.732 m y 8411857.73 m. Este se extiende de 223888.794 m a 224735.462 m en el eje este-oeste, de 14°20'32.89"S a 14°21'6.01"S en el eje norte-sur y geográficamente pertenece al distrito de Quehue, que está ubicado en la provincia de Canas, dentro de la región del Cusco.

La microcuenca Yuraccasa se origina en las zonas altas entre los cerros del mismo nombre, a una altitud de 4,258 metros sobre el nivel del mar. Su longitud es de 1.05 km desde su punto de origen hasta la zona cerrada, donde se encuentra el punto de control; presenta una pendiente media del 4.98%, conforme a la metodología de Taylor-Schwarz y con diferencias en altura de 66 m.

La red hídrica de la microcuenca Yuraccasa y la cuenca Chaupibanda se presenta en el siguiente mapa.

Imagen 9: Hidrografía de la MicroCuenca Chaupibanda.



Fuente: Elaboración propia

5.2.2. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA Y CODIFICACIÓN

El método que se utiliza en esta investigación es de Otto Pfafstetter (1989), y su aplicación nos posibilita la división y codificación de las unidades hidrográficas de manera jerárquica (Pfafstetter, 1989). El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) lo introdujo en 1997 como un sistema estándar internacional de codificación, haciendo el primer intento de delimitar y codificar las unidades hidrográficas a nivel global (Verdin & Verdin, 1999). Su utilización ha sido oficializada en Perú a través de la Resolución Suprema N° 033-2008, emitida por el Ministerio de Agricultura (Ministerio de Agricultura, 2008). Este método tiene un gran valor para la planificación por cuencas porque nos va a permitir la asignación



jerárquica de las unidades de drenaje, tomando como base la topología de la superficie del terreno (Pfafstetter, 1989).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) está llevando a cabo la delimitación y demarcación de las cuencas hidrográficas en todo el país, de acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 30° del Decreto Supremo N° 039-2008-AG. Este artículo establece que la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos es parte de la ANA y es responsable, a su vez, de sugerir la delimitación y demarcación territorial en toda la nación (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2010). El ANA, como organización rectora, ha estado empleando el MÉTODO PFAFSTETTER para la delimitación, codificación y clasificación de cuencas hidrográficas a lo largo de todo Perú (ANA, 2010). La Intendencia de Recursos Hídricos del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), que ahora se llama SERNANP, asumía previamente el deber de codificar cuencas.

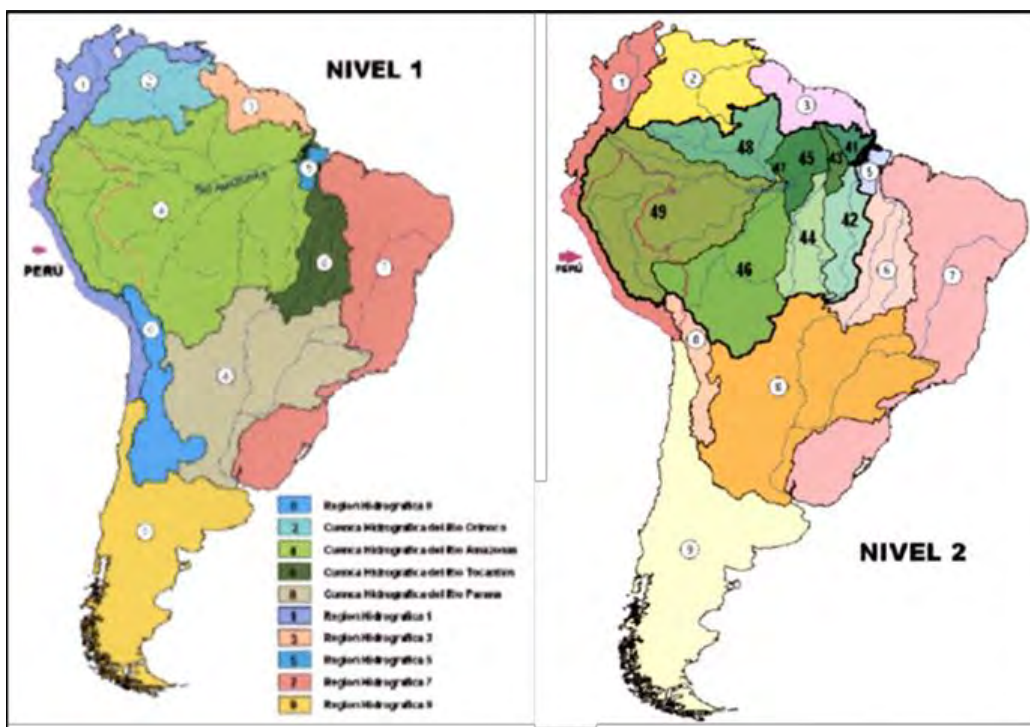
De este modo el análisis de la delimitación, jerarquización y codificación de las cuencas para la zona de estudio se inicia a partir de la cuenca del río Amazonas de nivel 1 y código 4, seguida de la intercuenca de la Región Hidrográfica 49 de nivel 2 y código 49, le sigue la intercuenca del río Ucayali de nivel 3 y código 499, continua con la unidad hidrográfica de nivel 4 y Código 4999, a su vez seguida de la unidad hidrográfica correspondiente a la cuenca Alto Apurímac de nivel 5 y código 49999, continua con la cuenca Alto medio Apurímac, código 499993 nivel 6, Alto medio bajo nivel 7 y Código 4999931; seguida de la microcuenca Chaupibanda de nivel 8 y código 499993110, finalmente la microcuenca del río Ccacayhuayco de nivel 9 código 4999931104; donde pertenece la microcuenca Yuraccasa, área tributaria para el embalse de la presa Chaupibanda de aprovechamiento Hídrico. El detalle de la demarcación hidrográfica desde el origen en la cuenca del río Amazonas de Nivel 1 hasta las cuencas de Nivel 09 se pueden ver en el cuadro siguiente y las siguientes figuras:

Tabla 4: Codificación Hidrográfica de la cuenca

NIVEL	CÓDIGO	UNIDAD HIDROGRÁFICA	NOMBRE
1	4	Cuenca	Rio Amazonas
2	49	Intercuenca	Región Hidrográfica 49
3	499	Cuenca	Rio Ucayali
4	4999	Intercuenca	Rio Apurímac
5	49999	Cuenca	Rio Alto Apurímac
6	499993	Cuenca	Alto medio Apurímac
7	4999931	Cuenca	Alto medio bajo Apurímac
8	499993110	Cuenca	Chaupibanda
9	4999931104	Microcuenca	Ccacahuaycco

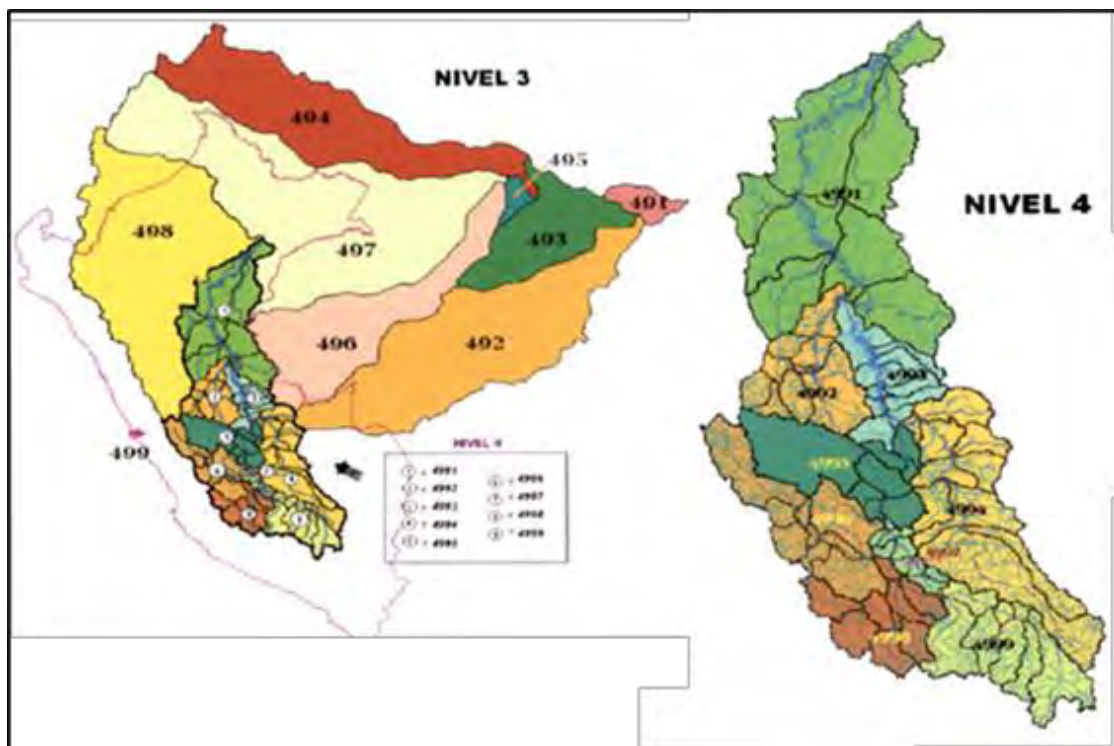
Fuente: Elaboración propia a partir de la delimitación y codificación de unidades hidrográficas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2010).

Figura 1: Cuenca Amazonas Nivel 1 Código 4, Región Hidrográfica 49 Nivel 2 Código 49



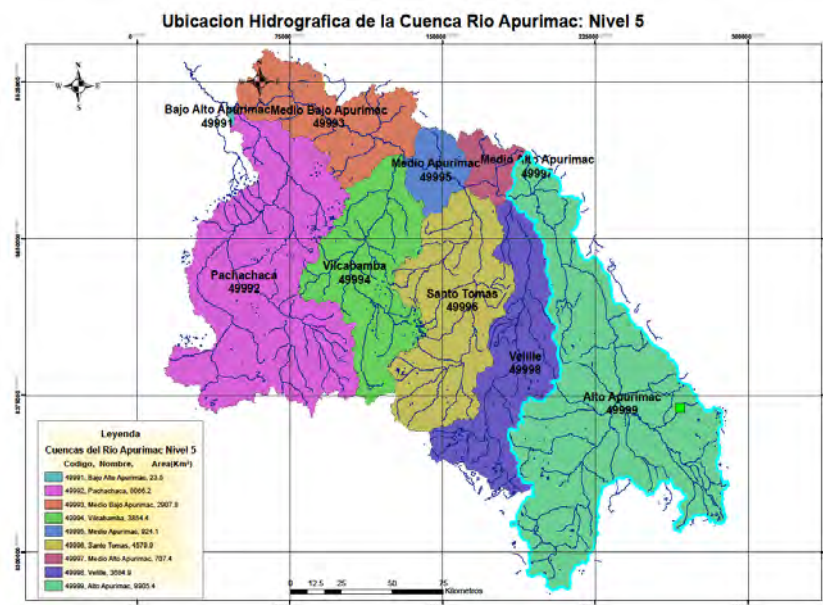
Fuente: Adaptado de Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2010).

Figura 2: Cuencas del río Ucayali Nivel 3 Código 499, Cuenca Hidrográfica del río Apurímac Nivel 4 Código 4999



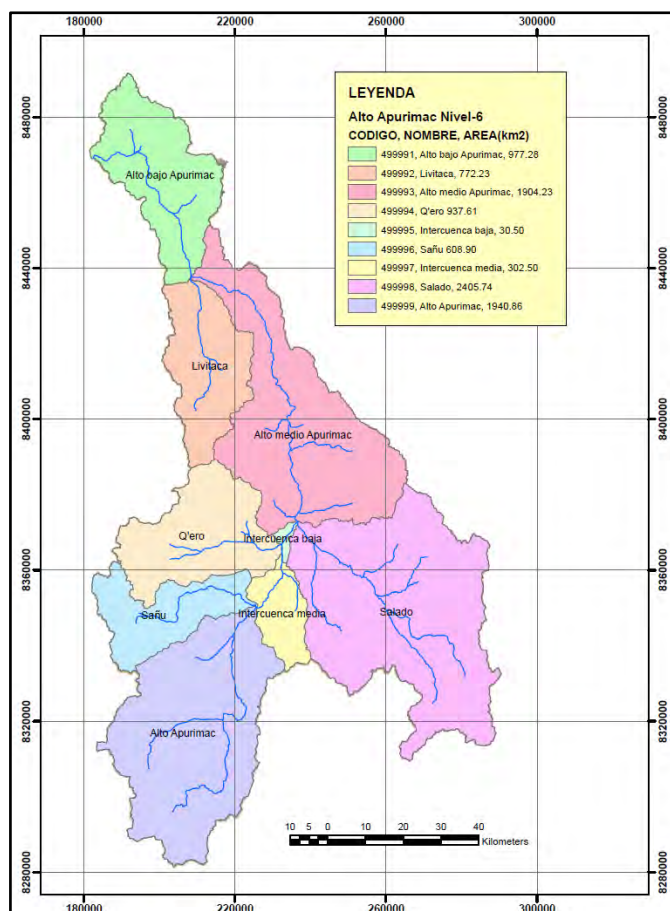
Fuente: Adaptado de Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2010).

Figura 3: Cuenca Río Apurímac Nivel 4 agrupa cuencas N5: 49991 a 49999



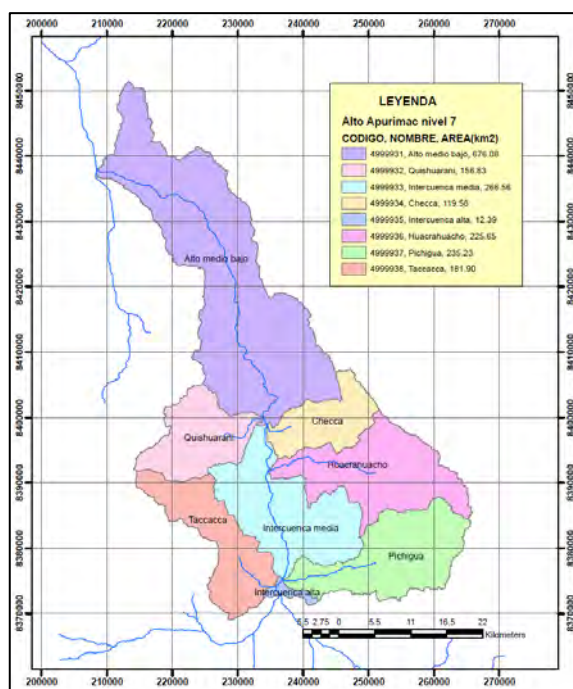
Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Cuenca Alto Apurímac Nivel 5 agrupa cuencas N6: 499991 a 499999



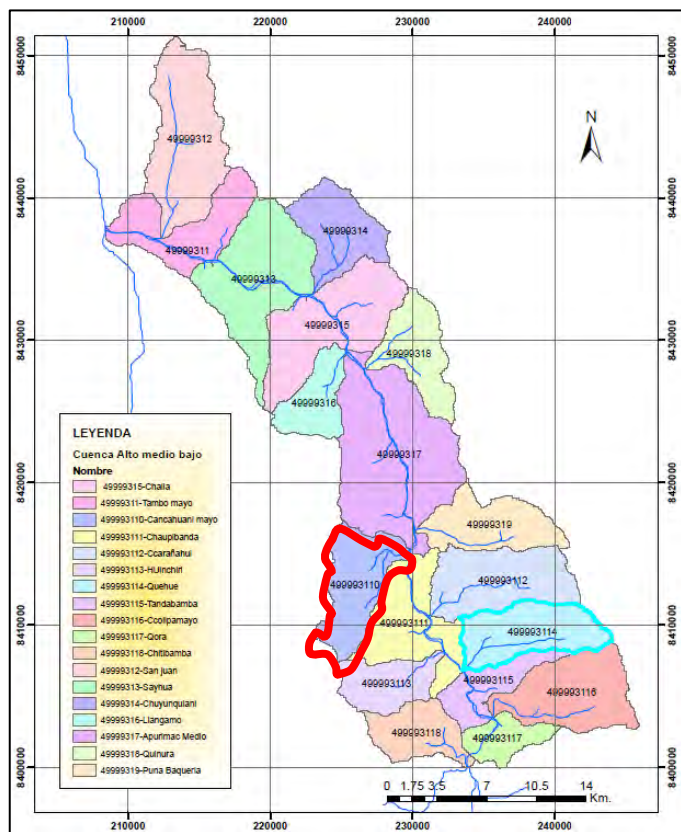
Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Cuenca Alto medio Apurímac Nivel 6, agrupa cuencas N7: 4999931 a 4999938



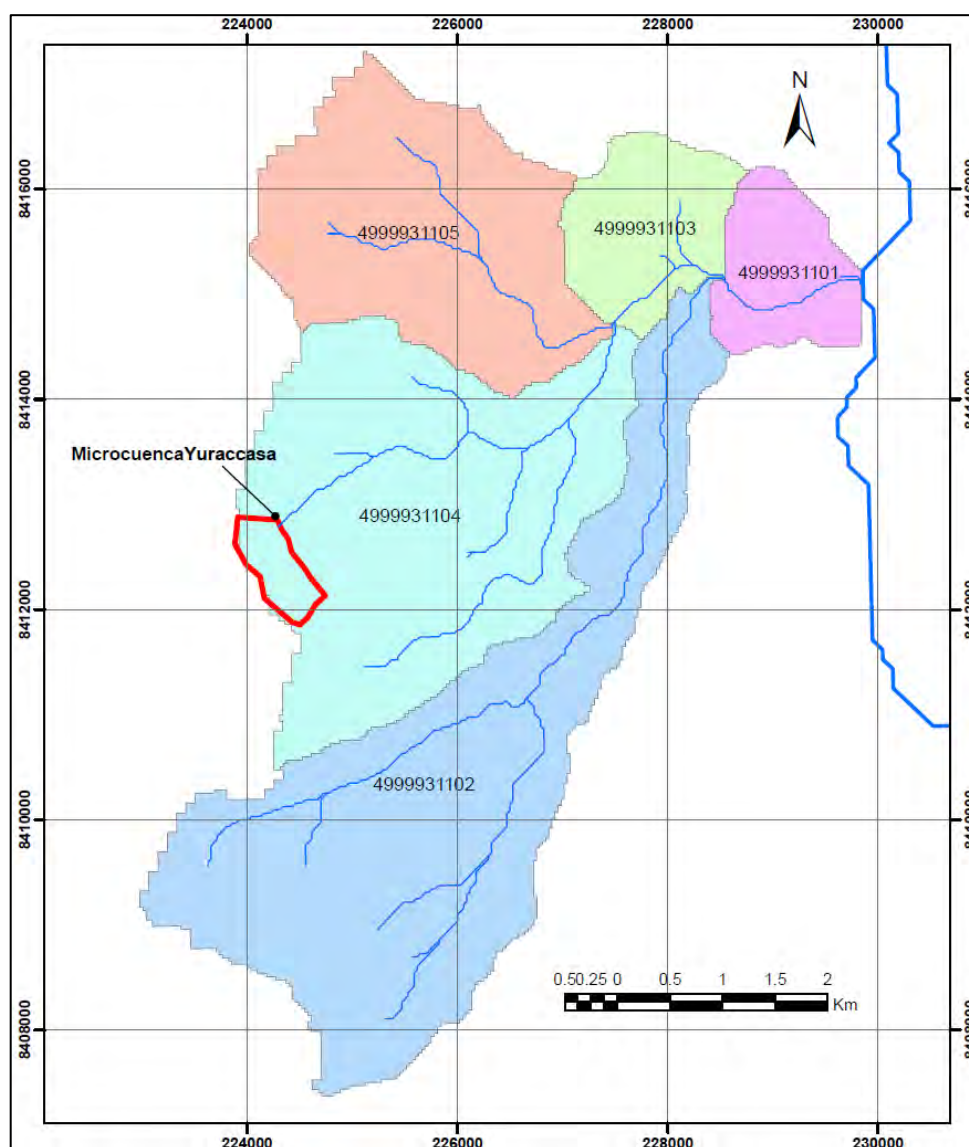
Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Cuenca Medio bajo Apurímac Nivel 7, agrupa cuencas N8: 49999311 a 499993118 donde pertenece la microcuenca Cancahuanimayo Nivel 8 Código 499993110



Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Cuenca Rio Ccacahuaycco Nivel 9 Código 4999931104



Fuente: Elaboración propia

5.2.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

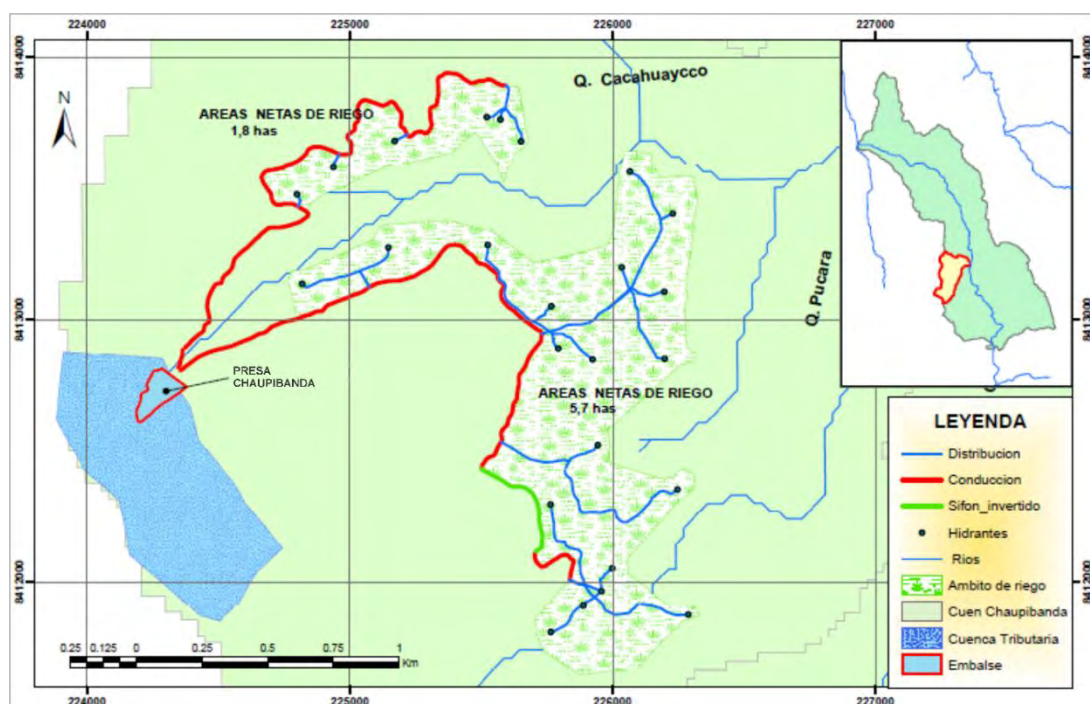
La localización geográfica de las cuencas donde se está llevando a cabo la investigación en términos de ficha técnica, como la microcuenca Chaupibanda Nivel 08 Código 499993110 (que alberga la zona agrícola del proyecto, es decir, los espacios bajo riego) y la microcuenca del quebrada Ccacahuaycco Nivel 09 Código 4999931104 (que contiene el sector de escurrimiento superficial para su recolección y posterior cosecha en la represa Chaupibanda), se encuentra dentro del alcance UTM: WGS 84, Zona 19 S, tal como se puede apreciar en la tabla que sigue a continuación. En ella se pueden observar los puntos extremos del Este y Norte, respectivamente. Consulte la figura de ubicación geográfica e imagen de abajo.

Tabla 5: Ubicación UTM

CUENCA	LUGAR	UTM WGS 84; ZONA 19S			
		NORTE		ESTE	
		DE	A	DE	A
Cuenca Chaupibanda Nivel 8 Código 499993110	Ámbito Agrícola	E	225300.182	224903.306	223818.512
		N	8417234.413	8407444.81	8412895.237
Cuenca Yuraccasa alto Nivel 09 4999931104	Cuenca tributario	E	224253.92	224486.754	223888.794
		N	8412873.732	8411857.73	8412609

Fuente: Elaboración propia

Imagen 10: Ubicación Geográfica de Ámbito Agrícola y Área Colectora cuenca Chaupibanda.



Fuente: Elaboración propia

5.2.2.2. PROPIEDADES FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA COLECTORA Y ZONA AGRÍCOLA.

En términos regionales, la zona de estudio se localiza en la unidad geomorfológica llamada "Cumbres Altas" de la cordillera central del Perú. Esta área está caracterizada por una topografía con pendientes acentuadas y presenta cerros y colinas altas situados entre los 4565 y 4573 metros sobre el nivel del mar.



La mayoría de esta superficie ha sido impactada por glaciaciones que han cubierto con material morrénico (en mínima proporción) y glaciofluvial, y hay zonas donde se presenta cubierta aluvial y eluvial con afloramientos expuestos del sustrato rocoso. Del mismo modo, se formaron áreas hidromórficas en regiones planas o deprimidas debido a la acumulación de aguas subterráneas y escorrentía superficial que proceden de acuíferos próximos.

Se detallan a continuación las geoformas más relevantes que se encuentran en la zona de estudio:

Terrazas. - Las terrazas de inundación y las extensas terrazas a los lados de los principales ríos son de relieve llano o ligeramente ondulado, estables y con inclinación solamente hacia la socavación ribereña e inundaciones.

Laderas. - Las laderas de las quebradas, colinas y cerros tienen pendientes suaves o moderadas a fuertes. Se puede ver que la erosión laminar es escasa en su mayor parte, aunque sí hay áreas que son propensas a deslizamientos, caídas y erosión por causa del sobrepastoreo y los cortes de la plataforma de carretera.

Colinas. - Las colinas de entre 3,700 y 3,900 metros sobre el nivel del mar tienen un perfil que varía entre ligeramente cóncavo y moderadamente convexo, con una superficie que pasa de ser plana a rugosa. Esto se debe a la manera en la que el suelo y/o las rocas reaccionan ante la meteorización en dirección al río Apurímac.

Cerros. - Formada por elevaciones que oscilan entre los 4,300 y 4,573 m.s.n.m., compuestas de rocas de la formación sedimentaria-conglomerados y recubiertas con un suelo eluvial superficial. En esta área predominan las exposiciones del sustrato rocoso. Esta geoforma es reconocible por su accidentada topografía, ya que la acción geodinámica de las quebradas en las áreas elevadas es moderadamente estable, con escasa erosión en los costados, y el material se deposita en los sectores más bajos.

Pampas. - Se encuentran principalmente entre las colinas de baja altitud y la geoforma conocida como terraza. Se distinguen por tener un relieve llanito o suave, algo ondulado, que hoy en día se emplean como espacios para pastorear y cultivar. Esta geoforma tiene en algunos lugares suelo hidromórfico, conocido localmente como bofedal. Además, están ubicados en el lugar más bajo, cerca del río Apurímac y las áreas altas o cabeceras de cuenca.

El tipo de drenaje en la zona es dendrítico subparalelo controlado por factores estructurales y litológicos.



➤ **Microcuenca Yuraccasa**

Su área es de 0.45 km², se localiza a una altura promedio de 4,174.36 metros sobre el nivel del mar y geográficamente está situada en los 14°20'49.00" Latitud Sur y los 71°33'22.20" Longitud Oeste.

Su cuenca está situada morfológicamente en la geoforma conocida como "Altas Cumbres", en la cordillera central de Perú, que se distingue por contar con colinas de inclinaciones marcadas y descensos hasta una altura media, además de picos acentuados. La zona de captación o derivación, a 4,098 metros sobre el nivel del mar, representa la elevación más baja. En tanto que la más alta se encuentra en el cerro Lequeleque, con una altitud de 4,258 metros sobre el nivel del mar. Dado que la cuenca es una microcuenca, no es posible calcular las pendientes a cada 500. Por ello, se utilizó el software Gis para determinar que la pendiente media de dicha cuenca es de 466.6 m/km.

El sistema de drenaje está formado por microquebradas pequeñas que, al unirse sus acuíferos, dan lugar al río Ccaccahuaycco; el curso principal que atraviesa la cuenca en dirección sureste tiene una longitud de 1.05 km.

Según la regionalización de datos pluviométricos de estaciones próximas, la microcuenca tiene una precipitación media anual de 806.2 mm y lluvias fuertes, en particular entre diciembre y marzo.

➤ **Microcuenca Chaupibanda**

Tiene un área de 33,39 km², y está conformado por 5 pequeñas microcuencas, siendo las principales: Cancahuani, Bajo y alto, Quisio y Ccaccahuaycco, la altitud varía desde 3561 a 4573 promedio de 4.067,00 m.s.n.m. y geográficamente se ubica en 14°20'36.14" Latitud Sur y 71°32'23.24" Longitud Oeste.

El río Quisio, acuña pampa y finalmente el cancahuani componen su sistema de drenaje principal. Su longitud desde su nacimiento hasta el punto en que se une al río Apurímac es de 10,51 km, con una pendiente media de 11,89 m/km.

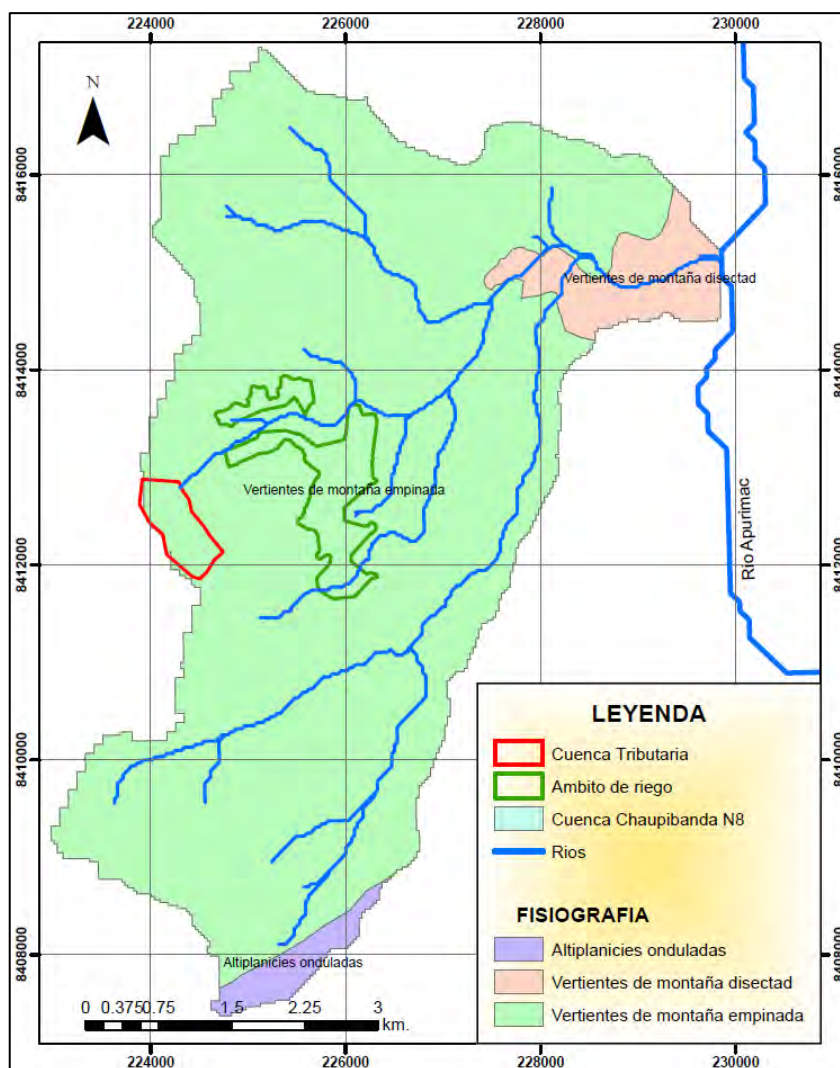
La tabla que se presenta a continuación refleja el porcentaje de incidencia de cada área fisiográfica.

Tabla 6: Fisiografía de la cuenca Chaupibanda

ÍTEM	FISIOGRAFÍA	Área (km2)	%
1	Altiplanicies onduladas	0.61	1.83
2	Vertientes de montaña disectado	1.68	5.04
3	Vertientes de montaña empinada	31.10	93.13

Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Fisiografía áreas de riego y captación de la cuenca Chaupibanda



Fuente: Elaboración propia

5.2.2.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CUENCA COLECTORA Y ÁMBITO AGRÍCOLA.

La característica geológica del área de estudio está estrechamente relacionada con la evolución de los Andes, que comienza en el Paleozoico y alcanza su forma final durante el Cenozoico, continuando hasta nuestros días. El área de estudio incluye las siguientes formaciones:

➤ **a) Grupo Tacaza (Tm-ta)**

Se encuentra en una superficie de 33,39 km² dentro de la cuenca de Chaupibanda. El conjunto está compuesto en su mayoría por areniscas, con un número menor de conglomerados; los sedimentos parecen ser de grano fino.

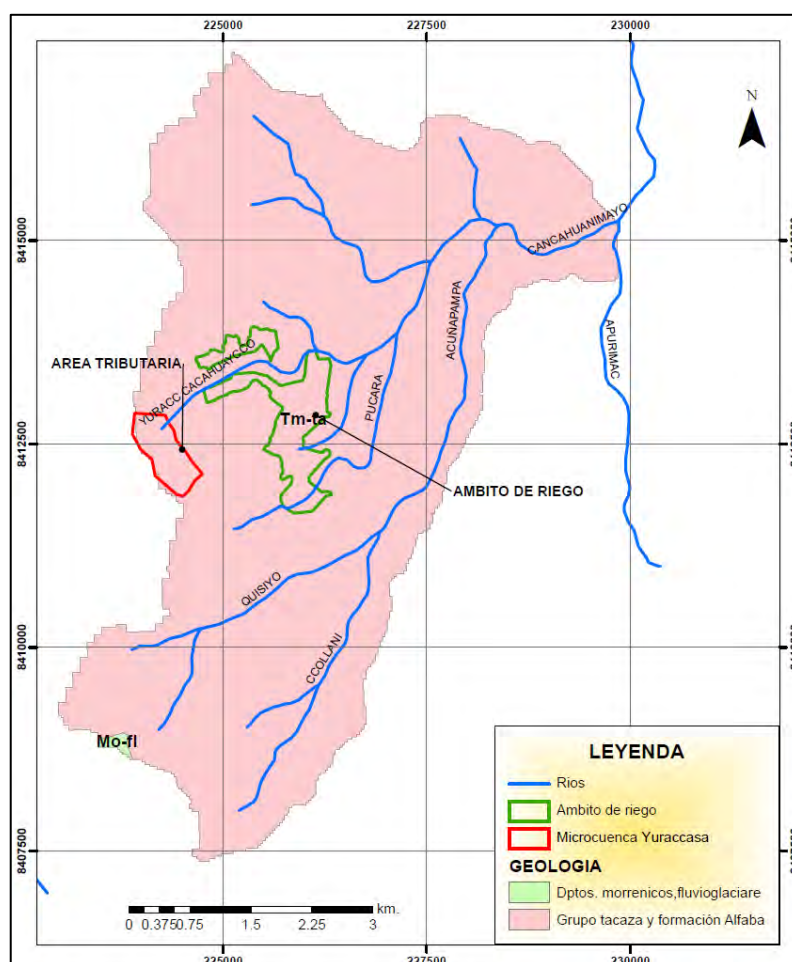
Por lo general, se compone de areniscas masivas interestratificadas (de 1 a 9 metros de grosor), con algunos lentes conglomerados, areniscas laminares mal clasificadas y bien estratificadas, así como areniscas limonititas que incluyen granos subangulares de cuarzo. La sucesión tiene, además, un mínimo de tres horizontes de ignimbritas que poseen varios metros de grosor cada uno. Estas son unidades consistentes y finas con granos grises pálidos a verde rosado, formadas por trizas de vidrio parcialmente devitrificado y algunos cristales (biotitas, cuarzo, feldespato o hornblendas). Horizontes de tufos: el grupo Tacaza, una formación geológica, se remonta a la era cenozoica del terciario medio.

Esta formación geológica abarca el 99.82% de la zona de la cuenca, desde las regiones bajas, que son las desembocaduras al río Apurímac, hasta las partes altas, que son los picos.

➤ b) Morrenas fluvio glaciares

Se encuentra únicamente en una zona pequeña al suroeste de la cuenca, que equivale a 0,062 km² o el 0,18% del área total de la cuenca Chaupibanda.

Figura 9: Geología Cuenca Chaupibanda y Microcuenca Yuraccasa



Fuente: Elaboración propia

5.3. EVAPORACIÓN

Los datos de las estaciones de Sicuani, Tintaya y Kayra se emplean como registros para la zona de estudio.

El promedio anual es de 643,80 mm. La cifra más alta es de 91,60 mm durante octubre en el Embalse Yuraccasa y la más baja es de 0,00 mm entre febrero y marzo.

5.3.1. FACTOR DE RELACIÓN ENTRE LA EVAPORACIÓN PROMEDIO Y LA DEL RESERVORIO

Para calcular la evaporación, hay muchos métodos disponibles, como las fórmulas empíricas y los nomogramas, entre otros. Para utilizarlos, es necesario contar con parámetros meteorológicos adicionales. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, en la zona del proyecto no se dispone de estos registros; esta ausencia de datos base consistentes hace que las fórmulas más complejas sean vulnerables. Los evaporímetros son el método más utilizado, cuyos registros se ven afectados por coeficientes de corrección, que dependen de las propiedades del instrumento.

El evaporímetro de Piché (de tipo tanque flotante) es el instrumento por medio del cual el SENAMHI obtiene las mediciones de evaporación. Las tasas de evaporación obtenidas con ese instrumento se consideran como máximas; al aplicar coeficientes de reducción a esas tasas, es posible deducir los valores más probables. Los datos de evaporación obtenidos con el instrumento Piché en la zona de estudio se han convertido a Tanque Clase A Pan (U.S. Weather Bureau) mediante el coeficiente de reducción $C_1=0.88$, que se ha empleado en numerosos estudios sobre hidrología. Además, para calcular la evaporación de los embalses propuestos, se utiliza un coeficiente anual de $C_2=0.70$, que es aconsejado por numerosos autores.

La relación (1) que se muestra a continuación es el resultado de la evaporación simulada para un reservorio natural, usando los registros de un instrumento Piché:

$$C_m = C_1 \times C_2$$
$$E_r = C_m \times E_m \quad (1)$$

Donde:

Símbolo	Descripción
E_r	Evaporación real en la laguna
C_m	Coefficiente de reducción de Piché
E_m	Evaporación media

Fuente: Elaboración propia a partir de Chow et al. (1994).

5.3.2. PERDIDA POR EVAPORACIÓN DE RESERVORIOS

Es sabido que las pérdidas de agua por evaporación aumentan si las superficies se inundan. La variación de evaporación se refiere a la diferencia entre la evapotranspiración actual (previa al represamiento) y la evaporación que proviene de la superficie líquida del reservorio.

La ecuación (2) que sigue permite expresar de manera más sencilla la evapotranspiración preexistente al embalse en la zona de estudio.:

$$E_i = P_i \times (1 - C_e) \quad (2)$$

Donde:

Símbolo	Descripción
E_i	Evapotranspiración (mm)
P_i	Precipitación (mm)
C_e	Coeficiente de escorrentía
i	Índice mensual

Fuente: Elaboración propia a partir de Chow et al. (1994).

Para evaluar la evaporación real de la laguna, se toma como base la siguiente relación lineal (3):

$$ER = C_m \times E_m \quad (3)$$

Donde:

Símbolo	Descripción
E_m	Evapotranspiración real desde el reservorio (mm)
C_m	Coeficiente de Piché (C1 × Tanque Clase A; C2 = 0,70)
E_m	Evaporación medida (mm)

Fuente: Elaboración propia a partir de Chow et al. (1994).

La ecuación (3) se obtiene al combinar las fórmulas (2) y (3), lo que permite calcular el crecimiento de las pérdidas debido a la evaporación como resultado del embalsamiento inicial en la laguna. La ecuación (3) es útil para determinar la Evaporación Neta.

$$EN_i = C_m \times E_{m_i} - (1 - C_i) \quad (4)$$

Símbolo	Descripción
EN_i	Evaporación neta mensual (mm)
P_i	Precipitación mensual (mm)
C_i	Coeficiente de escorrentía mensual
C_m	Coeficiente Piché (C1 = 0,62 × Tanque Clase A; C2 = 0,70)
E_{m_i}	Evaporación medida mensual (mm)

Fuente: Elaboración propia a partir de Chow et al. (1994).



Para el embalse en las lagunas, se calcula la evaporación real tomando en cuenta que los registros son realizados con un evaporímetro Piché, lo que afecta los valores medidos al multiplicarlos por un coeficiente de 0.616. Los hallazgos del análisis efectuado en relación con la fluctuación mensual. En octubre, la evaporación neta en términos de lámina llega a su máximo valor, 104.10 mm.

Tabla 6: Evaporación regionalizada para las balsas de la presa.

NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD msnm.	M E S E S												TOTAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
KAYRA	3219	58.497	51.72	58.128	63.027	77.874	84.071	90.263	94.487	87.305	89.281	82.009	69.144	905.8
TINTAYA	4005	146.23	129	127.73	123.1	129.3	133.2	140.9	151.05	165.17	193.2	175.03	151.43	1765.4
SICUANI	3564	81.543	70.793	84.567	94.7	112.05	120.14	130.41	134.65	126.95	134.43	113.74	99.215	1303.2
Promedio	3596.00	95.42	83.84	90.14	93.61	106.41	112.47	120.53	126.73	126.48	138.97	123.59	106.60	1324.78
EVAP. PRESA		158.49	139.45	139.70	135.88	142.18	146.45	155.38	165.93	181.34	212.64	190.04	165.26	1932.74

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. PRECIPITACIÓN

La precipitación, un parámetro muy relevante en el campo de la hidrología, tiene su origen parcial en las corrientes húmedas que ascienden a la atmósfera por medio de la evaporación. En esta última, las temperaturas predominantes son bajas, lo que causa que se produzca una precipitación debido al enfriamiento abrupto de estas corrientes.

Las lluvias en altitudes superiores a los 3,500 a 5,000 metros sobre el nivel del mar pueden ser sólidas o líquidas, siendo las precipitaciones generalmente sólidas a mayores alturas.

En la cuenca analizada, por encima de los 4,500 metros sobre el nivel del mar y según lo que han informado sus habitantes, las lluvias líquidas son prácticamente copiosas. Las precipitaciones sólidas suelen ocurrir entre enero y marzo.

Los meses de diciembre a marzo son la temporada húmeda con más lluvias, y abril y noviembre son los meses de transición; por su parte, los restantes meses del año corresponden a la época seca.

Dado que en la cuenca de interés hay pocos datos de lluvias, fue necesario utilizar información de estaciones situadas en la cuenca del río Apurímac y cuencas aledañas con condiciones hidrometeorológicas parecidas para calcular las precipitaciones de la zona en estudio. Como no existían estaciones que registraran información, se están tomando las estaciones de Yauri, Angostura, Paucartambo, Písaq, Sicuani y K'ayra como estaciones de referencia. Sin embargo, las dos primeras se consideran como estaciones índices debido a su mayor influencia por ser las más cercanas.



➤ Fuente de Información

La elección de las estaciones que miden este parámetro se ubica en la cuenca de los ríos Vilcanota y Apurímac. Las estaciones meteorológicas en general han documentado precipitaciones entre 1964 y 2018; sin embargo, muchas de ellas tienen datos incompletos debido a interrupciones durante varios años o porque dejaron de funcionar por razones desconocidas. Por lo tanto, se escoge la estación Kayra como base, ya que cuenta con los registros más completos.

➤ Revisión y Extensión de los Registros

La información pluviométrica fue examinada y analizada a través de programas informáticos, como el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC4), que realiza un tratamiento estadístico para completar los registros. Se han empleado herramientas de análisis de Microsoft Excel para llevar a cabo el examen de la consistencia informativa (pruebas F y T). Se han tomado en cuenta las influencias espaciales (distancias y altitud) para extender los registros a las áreas de interés del proyecto.

➤ Análisis Regional de la Precipitación

Para llevar a cabo este análisis, se tienen en cuenta estaciones índice, las cuales surgen de un proceso anterior de segmentación entre las estaciones estudiadas. Este proceso tiene en cuenta criterios de uniformidad en el espacio con respecto a la topografía, al suelo, a la vegetación y otros factores. Después se emplea el modelo de regionalización de las precipitaciones mensuales promedios mediante ecuaciones de influencia con factores establecidos a partir del peso que se le da a la influencia geográfica y altitudinal (influencia espacial). Este método es similar al criterio del procedimiento de polígonos de Thiessen.

En síntesis, incluye las fases siguientes:

- Cálculo de los coeficientes de influencia geográfica y altitudinal, tomando como base las estaciones índices seleccionadas: Sicuani, Yauri y Angostura.
- Producción de la precipitación efectiva (ampliación de los registros) en las microcuencas y zonas cultivadas. Se ha establecido la media de los módulos pluviométricos anuales a partir de los datos de precipitación producidos, además de las precipitaciones efectivas y las precipitaciones con 75% de persistencia.

Tabla 7: Resumen de precipitaciones

CAMPO DE INTERÉS	P	P 75%	P EFECTIVA
	PROMEDIO		
ÁREA DE LOS CULTIVOS	(mm)	(mm)	(mm)
	794.69	596.25	502.2
MICROCUEENCA YURACCASA	806.17	593.09	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos del SENAMHI.

La tendencia de las precipitaciones, de acuerdo a observaciones en campo, y afirmación de las poblaciones en el área, revelan que en el sector de la cuenca tributaria (altitud mayor a los 4.000 msnm) generalmente es de características sólidas (granizada y/o nevada) y van acompañadas de fenómenos eléctricos. En la zona del área de cultivos, las precipitaciones son generalmente en forma de lluvia suave.

A lo largo del año, el volumen de precipitación promedio mensual en las microcuencas muestra cambios significativos. Por lo general, estas fluctuaciones son estacionales y destacan el periodo de lluvias, que va de diciembre a marzo, seguido por un periodo intermedio durante los meses de abril y noviembre; después se desarrolla la época seca, que abarca desde mayo hasta octubre.

Para las áreas de interés, el intervalo de registros producidos de precipitación media anual y mensual abarca 55 años, desde (1964 hasta 2018).

➤ Distribución Estacional de las Precipitaciones

La precipitación media anual para el periodo indicado en la estación índice Angostura es de 808.0 mm. La precipitación, entre los meses de diciembre y marzo, es de aproximadamente 611.8 mm, lo cual equivale al 76% del total anual; el 24 % restante corresponde a la estación seca.

La estación índice Yauri tiene una precipitación media anual de 773.1 mm. La lluvia de diciembre a marzo es de aproximadamente 574.2 mm, lo que equivale al 74% del total; el período seco representa el 26%.

5.3.4. ESCORRENTÍA

Utilizando el modelo "Generación de Caudales Mensuales para la Sierra Peruana" y el método bien conocido en nuestro entorno de Precipitación - Esgurrimiento, se generaron las series sintéticas de los caudales promedios mensuales y anuales del periodo (1964-2018) para áreas relevantes.

➤ Información Existente

En el campo de la investigación, no existe ningún registro de información hidrométrica sobre sus ríos y manantiales, más allá de que son microcuencas sin un flujo significativo de agua.

➤ Metodología

La estimación teórica de los caudales medios mensuales se realizó mediante el uso del procedimiento matemático estocástico para la relación escurrimiento-precipitación, sirviéndose del modelo Markoviano de tipo I "Generación de Caudales en la Sierra Peruana", creado por la Misión Técnica Alemana en 1980 como parte de un acuerdo con el Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones.

Este método produce caudales para periodos prolongados, utilizando como base el Modelo Hidrológico que posibilita el cálculo de caudales mensuales para el año promedio y estableciendo un nivel de probabilidad preestablecido. La ecuación (5) es una combinación de un proceso Markoviano de primer orden y una variable de impulso asociada a la precipitación efectiva (Moss y Dawry).

Los valores del caudal actual Q_t se consideran como valor dependiente, mientras que los caudales anteriores Q_{t-1} y la precipitación efectiva (PE_t) se toman como independientes. Se lleva a cabo una regresión múltiple con estas variables para conseguir los parámetros estadísticos S , B_1 , B_2 , B_3 y r ; estos son los que dan lugar a la ecuación (5) posterior:

$$Q_t = B_1 + B_2 \times Q_{t-1} + B_3 \times PE_t + Z \times S \sqrt{1-r^2} \quad (5)$$

Donde:

Símbolo	Descripción
Q_t	Caudal del mes actual (m^3/s)
Q_{t-1}	Caudal del mes anterior (m^3/s)
PE_t	Precipitación efectiva (mm)
B_1, B_2 y B_3	Parámetros estadísticos
S	Desviación de los residuos
r	Coeficiente de correlación
Z	Número aleatorio con media igual a cero y desviación estándar igual a uno (0,1)

Fuente: Elaboración propia a partir de Chow et al. (1994).

➤ Producción de caudales (elaboración de la metodología)

La metodología que se describió previamente consiste en:

- Finalización de los registros de precipitación de las estaciones índice Paucartambo, Angostura, Yauri, K'ayra y Chitapampa Sicuani.

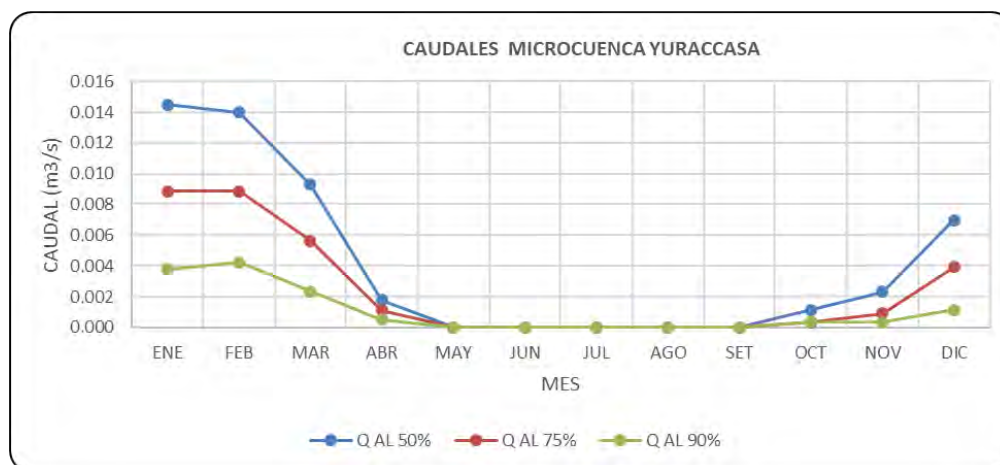
- Determinación de los factores de influencia geográfica y altitudinal de las estaciones índice en relación con las estaciones estudiadas, es decir, la microcuenca de la quebrada Yuraccasa y las zonas agrícolas.
- Producción de precipitaciones para las microcuencas en análisis y zonas de cultivo, mediante ecuaciones de influencia.
- Estimación de los parámetros hidrológicos y fisiográficos de las microcuencas en análisis
- Cálculo de los coeficientes de escorrentía y agotamiento, PE, entre otros, para la microcuenca en cuestión.
- Para la microcuenca en análisis, se generan los caudales mensuales del año promedio utilizando las ecuaciones de balance hídrico.
- Para las microcuencas, se calcula el coeficiente de la ecuación de extensión Macroviaria de primer orden usando ecuaciones de regresión triple.
- Cálculo mensual de la Precipitación Efectiva II (hidrológica) para las microcuencas.
- Finalmente se muestra los resultados generados en los cuadros siguientes al 50%, 75%, 90% de persistencia, obteniéndose una oferta de 0,0768 Hm³, Microcuencas Yuraccasa al 75% de persistencia.

Tabla 8: Resumen generación de caudales microcuenca Yuraccasa (m³/s)

PERCENTIL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
MEDIA	0.014	0.014	0.009	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.002	0.007	0.052
Q AL 50%	0.014	0.014	0.009	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.002	0.007	0.052
Q AL 75%	0.009	0.009	0.006	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001	0.004	0.040
Q AL 90%	0.004	0.004	0.002	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.001	0.030

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de generación de caudales de Thomas-Fiering (1962).

Gráfico 1: Caudales Generados para diferentes percentiles



Fuente: Elaboración propia



5.4. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA COLECTORA

Las características geomorfológicas de la cuenca caracterizan en profundidad el comportamiento de varios fenómenos naturales que suceden dentro de ella, como los fenómenos climáticos, ecológicos o hidrológicos.

En términos hidrológicos, interviene de forma significativa en la conducta y reacción de la relación entre escorrentía y lluvia, debido a los distintos fenómenos que se producen dentro de la cuenca.

El análisis y/o estudio de los parámetros fisiográficos clave de una cuenca resulta muy útil para la ingeniería hidrológica, ya que estos permiten realizar transferencias informativas entre diferentes lugares. Esto es especialmente valioso cuando hay escasez o ausencia total de información sobre registros hidrológicos en una región, siempre que se mantenga similitud geomorfológica y climática con otras cuencas.

La morfología y fisiografía de las cuencas son los factores que determinan en su mayoría estas características. Los parámetros de las cuencas, como la red de drenaje, la forma y el relieve, así como la geología, tipos de suelos y cobertura vegetal, junto con las prácticas agrícolas y otros aspectos físicos, permiten conocer y transferir información entre espacios que comparten el mismo régimen hidrológico. Los parámetros geomorfológicos más importantes de la microcuenca Yuraccasa se presentan en la tabla siguiente.



Tabla 9: Parámetros geomorfológicos primordiales de la microcuenca Yuraccasa.

PARAMETROS				UND	NOMENCLATURA	CUENCA
Superficie total de la cuenca				Km ²	At	0.45
Perímetro				Km.	P	2.91
UBICACIÓN	Latitud			°	Lat.	14°20'49.00"
	Longitud			°	Long.	71°33'22.20"
	Zona de Proyeccion UTM			s/U	Zona	19
	X			m	Coord. X	224,296.40
	Y			m	Coord. Y	8,412,378.60
Altura del centoride				m.s.n.m.	Alt.	4,174.36
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	FACTOR DE FORMA	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)	s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.221
			Longitud de la Cuenca	Km.	LB	1.045
			Ancho Medio de la Cuenca	Km.	$AM = At / LB$	0.431
			Factor de Forma	s/U	$Kf = AM / LB$	0.412
	RECTANGULO EQUIVALENTE		Lado Mayor	Km.	$Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1+(1-4/\pi*Kc^2))$	1.004
			Lado Menor	Km.	$Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1-(1-4/\pi*Kc^2))$	0.448
SISTEMA DE DRENAJE	GRADO DE RAMIFICACIÓN		longitud	Km.	Orden 1	0.69
			longitud	Km.	Orden 2	0.24
			longitud	Km.	Orden 3	0.00
			longitud	Km.	Orden 4	0.00
			LONGITUD TOTAL	Km.		0.921
	NÚMEROS DE RIOS PARA LOS DIFERENTES GRADOS DE RAMIFICACIÓN			s/U	Orden 1	4
				s/U	Orden 2	2
				s/U	Orden 3	0
				s/U	Orden 4	0
	CANTIDAD TOTAL		s/U		6	
	Longitud del río principal			Km.	Lr	1.05
	Densidad de drenaje			Km./Km ² .	$Dd = Lt / At$	2.045
	Relación de Bifurcación	Nivel 1	s/U	$Rb = N^{\circ}R1 / N^{\circ}R2$	2.000	
		Promedio	s/U	$Rb = N^{\circ}Rn / (N^{\circ}Rn+1)$	2.000	
	Extensión media de la escorrentia superficial			Km.	$Es = At / 4Lt$	0.122
Frecuencia de los ríos			r/Km ²	$Fr = N^{\circ}Rios / At$	13.322	
Desnivel total de la cuenca				Km.	Ht	0.16
Altura máxima cuenca				m.s.n.m.	Hcu	4258
Altura minima cuenca				m.s.n.m.		4098
Altura máxima río				m.s.n.m.	Hmáx	4150
Altura mínima río				m.s.n.m.	Hmín	4098
Desnivel total del río				m.	Htm	52
Altura media de la cuenca				m.s.n.m.	Hm	4178
Altitud mas frecuente				m.s.n.m.		4131
Altitud de frecuencia media(1/2)				m.s.n.m.		4174
Pendiente cuenca (Analisis GIS)				%		46.66
Pendiente cuenca (Met. Rectangulo Equivalente)				%	$Ip = 100 * Ht / B$	15.93
Pendiente cuenca (Met. Alvord)				%	$Ip = 100 (D^*Lc) At$	0.00
Pendiente cuenca (Escogido)				%		46.66
Pendiente general del cauce principal				%	$\Delta h / L$	4.98
Pendiente media del cauce principal (Met. Taylor Sch.)				%		0.050
Longitud total de curvas de nivel (Equidistancia D = 500 m.)				Km.	Lc	0.00
Tiempo de Concentracion Kirpich				min.	$0.01947(L^{\wedge}3/S^{\wedge}0.385)$	13.06
Tiempo de Concentracion Hathaway				min.	$0.606((nL)^{\wedge}0.467)/(S^{\wedge}0.243)$	8.31
Tiempo de Concentracion Giandotti				min.	$(4^*A^{\wedge}0.5+1.5L)/(25.3(S^*L)^{\wedge}0.5)$	44.22
Tiempo de concentracion Temez				min.		33.00
Tiempo de concentracion Bransby Williams				min.		19.20

Fuente: Elaboración propia

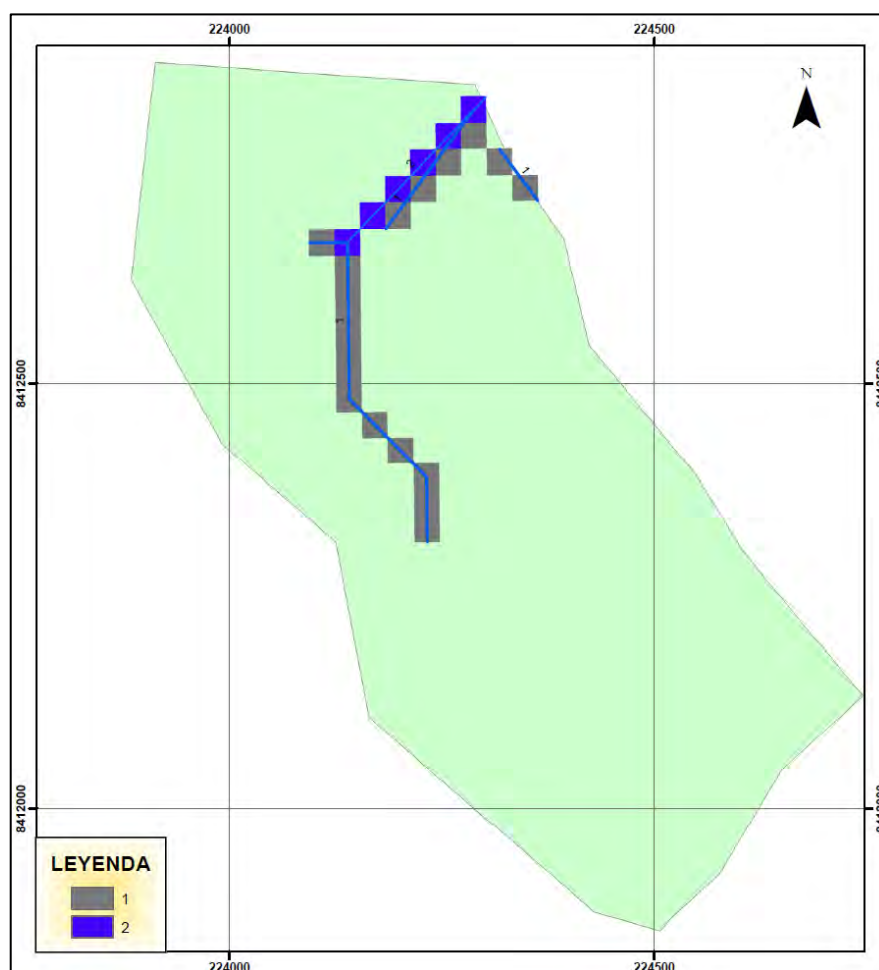
5.4.1. SISTEMAS DE DRENAJE CUENCA

5.4.1.1. NÚMERO DE ORDEN DEL CANAL PRINCIPAL

Uno de los parámetros para establecer la secuencia de los ríos en una cuenca es el que se define por medio del modelo STRAHLER. Este modelo establece que los ríos de primer orden son aquellos que no cuentan con afluentes. Cuando dos ríos de primer orden se juntan, crean un río de segundo orden; esto continúa con los ríos de tercer orden, y así sucesivamente.

De acuerdo con el criterio de STRAHLER, la quebrada Yuraccasa es considerada un río de segundo orden, lo cual implica que está formada por dos ríos de primer orden. La magnitud del drenaje en la cuenca se puede estimar a partir de la medida del orden que se le asigna al río Yuraccasa (2º orden), que va desde el punto de control ubicado en el área donde se sitúa la presa homónima hasta sus fuentes, situadas cerca de las montañas altas con el mismo nombre.

Figura 10: Orden de Red Hídrica



Fuente: Elaboración propia



5.4.1.2. DENSIDAD DE DRENAJE

Se define como la relación entre el total de longitud a través de todos los cauces fluviales de la cuenca en proyección horizontal y el área total de dicha cuenca. La cuenca con una densidad de drenaje de 2,045 se clasifica como de buen drenaje, lo que sugiere que está asociada a zonas con alta resistencia a la erosión.

También se le distingue por evacuar sus aguas rápidamente, tener pendientes medias a bajas, contar con vegetación que consiste mayoritariamente en gramíneas presentes en altiplanicies, poseer suelos diversos y otras propiedades.

5.4.1.3. TIPO DE RED DRENAJERA

La red de drenaje que tiene la cuenca es circular, y los tributarios tienden a unirse con las corrientes principales en ángulos agudos, lo cual está en concordancia con la forma de la cuenca. Este tipo de red se debe a las características geomorfológicas y a una serie de factores, como la dinámica geomorfológica, el control estructural, la composición y dureza de las rocas subyacentes, los movimientos tectónicos recientes, los morfoalineamientos y la longitud e intensidad de la pendiente.

5.4.1.4. LONGITUD DEL FLUJO EN LA SUPERFICIE

Para esta cuenca, se ha establecido que es de 0.305, y se calcula por medio de la longitud media del flujo de drenaje en relación a la pendiente y la longitud total de las curvas de nivel cada 500 metros.

5.4.1.5. RELACIONES DE SUPERFICIE

Para la cuenca que se está analizando, se ha determinado un $n = 0$. Este valor no se encuentra dentro del rango establecido por HACK, que es entre 0.60 y 0.70; esto indica que la cuenca no es madura, ya que predominan las áreas pequeñas y los ríos de longitud corta.

Este análisis no es aplicable a microcuencas, en las que las áreas son extremadamente pequeñas y las longitudes de los ríos son inexistentes.

5.4.1.6. ÁREA, PERÍMETRO Y CONFIGURACIÓN DE LA CUENCA

a) Superficie de drenaje (km²)

La microcuenca Yuraccasa ocupa 0.45 km² de superficie y se encuentra entre las cotas 4258 msnm. a 4098 metros sobre el nivel del mar. Con una diferencia de altura de 160 m.



b) Longitud del perímetro de la cuenca (en kilómetros).

Entiende la longitud completa de la línea de cumbres o parte aguas que restringe el área de drenaje, logrando una extensión de 2,91 km para la cuenca.

c) Coeficiente de Gravelius

Es la relación entre el perímetro de una cuenca y el de un círculo que abarque un área equivalente a la de dicha cuenca hidrográfica. La razón por la que se utiliza la relación entre el área equivalente y el área de un círculo es porque una cuenca circular, debido a su simetría, tiene más posibilidades de generar avenidas más grandes.

El índice de Gravelius o coeficiente de compacidad para la microcuenca Yuraccasa es $K = 1.221$, que es mayor a 1. Esto confirma que la cuenca tiene una forma casi circular y tiende a tener crecidas intensas.

d) Factores de Forma

Es la relación entre el área de un cuadrado que tiene una longitud L y el área de la cuenca A , donde L es la longitud del río principal de dicha cuenca. Asimismo, se sabe que las cuencas no tienen la misma forma; en otras palabras, cuando el área crece, su relación A/L^2 se reduce, lo que señala una propensión a alargarse en cuencas de mayor tamaño. También se sabe que la forma de la cuenca tiene un impacto en los hidrogramas de caudales máximos. Horton propuso un índice de la forma de una cuenca, el cual es un factor adimensional llamado F_f .

El factor de forma que se ha hallado para la cuenca Yuraccasa es $F_f = 0.412$, valor que comparado con el de 0.785 es menor y sugiere que la cuenca tiene menos exposición a las inundaciones. Una cuenca con un factor de forma bajo tiene menos probabilidad de inundarse que una de igual tamaño con un factor de forma más alto. Asimismo, existe menor probabilidad de lluvias intensas en toda la cuenca.

e) Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica proporciona información sobre cómo se distribuye la masa dentro de la cuenca, desde su parte superior hasta la inferior. Por lo general, la curva tiene forma sigmoidal, es convexa en la parte inferior y cóncava hacia arriba en la parte superior; tanto su grado de sinuosidad como su pendiente en el punto de inflexión pueden variar significativamente.

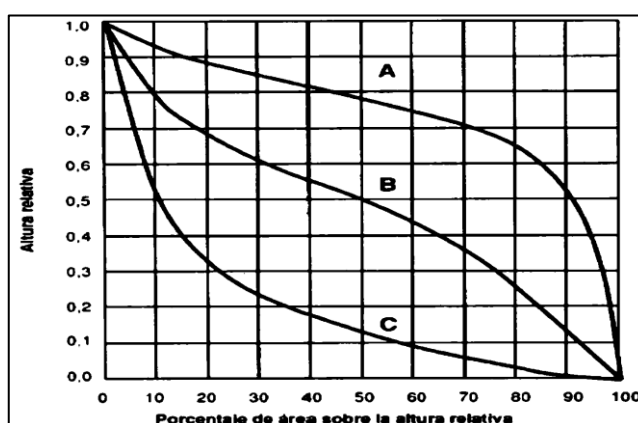
Scheidegger (1987) refuta este tipo de clasificación, argumentando que el levantamiento tectónico es un proceso incesante y que la historia de la cuenca muestra una inclinación a equilibrar las fuerzas opuestas de construcción tectónica y degradación debido a erosión u otros procesos. Cuando un paisaje tiene una naturaleza permanente, estos dos procesos

opuestos se encuentran en equilibrio dinámico. Scheidegger, por lo tanto, relaciona las distintas configuraciones de la curva hipsométrica con los niveles de actividad de los procesos mencionados anteriormente. Por lo tanto, la curva A representa una actividad intensiva, la curva B una actividad moderada y la curva C una actividad baja. No necesariamente tiene que haber una relación entre el nivel de actividad y la edad de la cuenca (Scheidegger, 1987).

- Curva A: fase de juventud
- Curva B: fase de madurez
- Curva C: fase de vejez

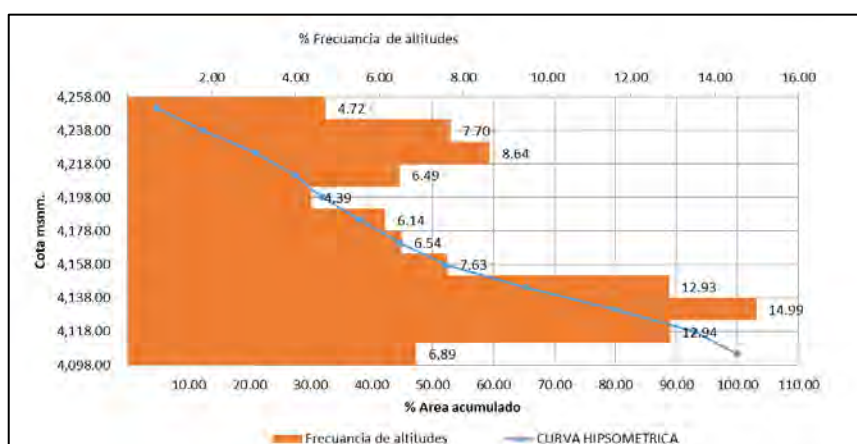
En conclusión, tendríamos una cuenca de tipo C con tendencia a la fase de vejez, como se ve en gráfica, el mismo que es corroborado en campo, la microcuenca Yuraccasa, presenta una estabilidad física en la parte superior, media y punto de captación.

Gráfico 2: Tendencias de las curvas hipsométricas.



Fuente: Elaboración propia a partir de Strahler (1952) y Scheidegger (1987).

Gráfico 3: Curva hipsométrica microcuenca Yuraccasa.



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo digital de elevación (DEM) y procesamiento SIG.

f) Rectángulo Equivalente

El concepto de RECTÁNGULO EQUIVALENTE fue introducido por Roche con el fin de facilitar la comparación entre cuencas hidrográficas, en términos de cómo sus características afectan el escurrimiento. Roche asume que el escurrimiento de una cuenca determinada es casi igual, en circunstancias climáticas iguales, que el de un rectángulo con la misma área, coeficiente de compacidad y reparto hipsométrico idéntico. Esto se da bajo la condición adicional de que la distribución del suelo, vegetación y densidad de drenaje se mantienen constantes entre las distintas áreas ubicadas entre curvas de nivel.

El rectángulo equivalente que Roche planteó en 1963, contrasta las propiedades morfológicas de la cuenca con la circulación superficial, presuponiendo que la circulación en una cuenca sería equiparable a aquella que tendría lugar en un rectángulo de superficie igual a la de la cuenca, siempre y cuando los otros factores fueran iguales. Así, la cuenca, que se ha transformado en un rectángulo y cuyas curvas de nivel son paralelas al lado más corto del rectángulo, tendría la salida de la cuenca ubicada en uno de estos lados.

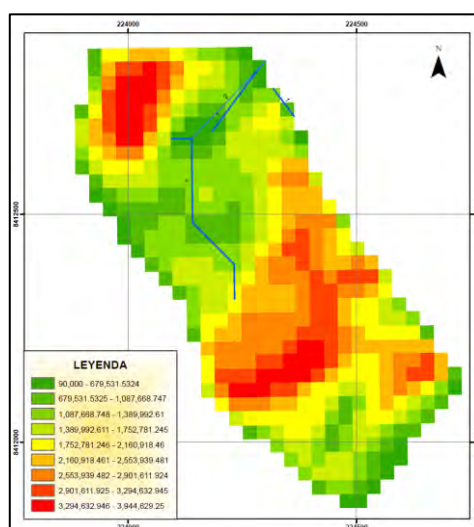
Los valores de $L = 3.605$ y $B = 2.553$ para la microcuenca Yuraccasa aparecen en la tabla 9.

5.4.1.7. PARÁMETRO DE RELIEVE DE LA CUENCA

a) Inclinación del terreno

Es la pendiente ponderada para el conjunto de la cuenca. Se calcula dividiendo el producto de la longitud de las curvas de nivel presentes en la cuenca por la distancia equidistante entre ellas y el área total de dicha cuenca. El mapa de pendientes es el resultado del análisis para la microcuenca Yuraccasa.

Figura 11: Mapa de pendientes Microcuenca Yuraccasa



Fuente: Elaboración propia



El análisis de la pendiente de la cuenca se llevó a cabo con el uso del software Gis en el ordenador, según lo indicado en la figura N° 14, obteniendo un resultado del 46,66%. Esto se debe a que no es posible utilizar el método de Alvord debido a la escasa variación de alturas.

b) Pendiente del Río

La inclinación del curso principal se determina dividiendo la diferencia de altura entre los puntos definidos por las cotas que delimitan el nacimiento y la desembocadura del río, entre la longitud de dicho curso (Taylor & Schwarz, 1952). Se ha determinado una pendiente $I_m = 4,98 \%$ para la quebrada Yuraccasa como curso principal, utilizando el método de Taylor-Schwarz.

c) Altitud promedio de la Cuenca

Este parámetro tiene gran relevancia porque nos proporciona una medida de la velocidad media de la escorrentía, así como de su capacidad erosiva y arrastradora. La altura promedio de la cuenca es particularmente relevante en regiones montañosas, ya que permite obtener una aproximación a la climatología del área, tomando como referencia un patrón climático general. La curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas también pueden ser utilizados para calcular este parámetro. La altura media (H_m) de la microcuenca Yuraccasa es de 4178 msnm, según se estima.

d) Media de la altitud del sector de riego

Para calcular la altura media de la zona de cultivo, se utilizó el mismo método que para determinar la altura media de la cuenca. La altitud promedio de la zona de cultivos (H_{mc}) es $H_{mc} = 4,088$ msnm.

5.4.1.8. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El periodo de concentración de la cuenca colectora determina el tiempo que una gota de agua en escurrimiento superficial tarda desde que se encuentra en el punto más alto de la cuenca hasta que llega al punto de captación, también conocido como punto de concentración. Se utilizó el método de Kirpich, que se estimó en 0,22 horas, es decir, 13,06 minutos. Se puede deducir una velocidad media de 2.5 m/s.

No obstante, se ha llevado a cabo el cálculo por diversos métodos, los cuales se describen en la tabla a continuación.

Tabla 10: Tiempos de concentración diferentes métodos

MÉTODOS	tc(min)
Tiempo de Concentración Kirpich	13,06
Tiempo de Concentración Hathaway	8,31
Tiempo de Concentración Giandotti	44,22
Tiempo de concentración Temez	33,00
Tiempo de concentración Bransby Williams	19,20

Fuente: Elaboración propia a partir de las ecuaciones de Kirpich (1940), Hathaway (1985), Giandotti (1934), Téméz (1978) y Bransby-Williams (1922).

5.5. CENSO DE LAS INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS Y FUENTES DE AGUA EN LA ÁREA DE ESTUDIO

5.5.1. CATÁLOGO DE LAS FUENTES HÍDRICAS

No existe en la microcuenca ninguna fuente de agua, ni manantes, debido a que no hay una fuente significativa o permanente.

Durante la visita de campo en septiembre y octubre, la microcuenca estaba seca y no presentaba ninguna fuente permanente. En la parte inferior había algunas posas con agua, de las cuales se extrajo una muestra para el análisis fisicoquímico. Se puede apreciar el estado del área en la fotografía N° 1.

La comunidad de Chaupibanda utiliza únicamente algunos manantiales en las zonas bajas. Debido a esta situación, se propone una pequeña presa para la recolección de agua como solución alternativa, que es la única opción para los habitantes del área. Esto crearía una fuente de agua a través de la cosecha del agua pluvial que ocurre en el área de estudio entre diciembre y marzo.

Foto 7: Vaso Chaupibanda



Fuente: Elaboración propia



5.5.2. INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EXISTENTE

En la microcuenca Yuraccasa no se tiene ninguna infraestructura hidráulica.

5.6. CALIDAD DE AGUAS

A pesar de ser un elemento crucial, la calidad del agua no es suficiente para determinar si se puede usar el agua para riego. Lo más ideal y razonable es hallar el equilibrio entre la salinidad del suelo y la del agua, lo cual permitirá cultivar una o más especies que se adapten a esta relación de manera sostenible desde el punto de vista económico. Una de las normas más utilizadas para calificar el agua para riego se basa en la publicación del boletín número 29 de la FAO, titulado "Calidad de Agua para la Agricultura", y es proporcionada por la Universidad Riverside. En esta publicación, se emplea el parámetro denominado razón de absorción de sodio (RAS) como indicador de la calidad del agua y su posterior ajuste con el carbonato residual de sodio (RSC). Este ajuste tiene lugar debido a las modificaciones que pueden ocurrir en la solución del suelo a causa de ciertas combinaciones salinas presentes en el agua. Finalmente, este concepto es conocido como RAS ajustado. Así, con el fin de asegurar que la calidad del agua del río Ccacahuaycco sea adecuada para el riego y hasta para el consumo humano y pecuario, se ha llevado a cabo una evaluación de la calidad del agua a través de este procedimiento. Para ello, se ha realizado un muestreo de las aguas, siguiendo un método sistemático, y se han enviado al laboratorio para su análisis fisicoquímico. Esto es lo que se puede ver en el siguiente cuadro de resultados del laboratorio químico.

Tabla 11: Análisis Químico de agua, microcuenca Yuraccasa

ITEM	PARÁMETRO	UND	RESULTADO
1	CaCO ₃	meq/L	2.4
2	Ca	meq/L	2.2
3	Magnesio	meq/L	0.2
4	Sodio	meq/L	0.21
5	Potasio	meq/L	0.02
6	Cloro	meq/L	0.23
7	Sulfato	meq/L	0.83
8	C.E	m mhos/cm	0.25
9	Trióxido de carbono	meq/L	1.34
10	Anión bicarbonato	meq/L	1.34
11	PH	----	7.0
12	RAS	----	0.25
13	CLASE	----	C ₁ S ₁

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis químico de agua de laboratorio.

5.7. JUZGAMIENTO DE AGUAS CON FINES DE RIEGO

5.7.1. RAZÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO (RAS)

Este parámetro básicamente evalúa de tres parámetros químicos como son: Contenido de Aniones, Cationes y aspectos de pH, conductividad eléctrica (CE), además del tipo de arcilla que contiene, para el posterior cálculo del RAS ajustado con los que se puede evaluar la salinidad, permeabilidad, la toxicidad iónica específica, Sodio, Cloro, Boro, y los efectos diversos. Su cálculo se realiza con la siguiente relación y resultados en subsiguiente cuadro:

$$RAS = \frac{[Na^+]}{(1/2([Ca^{++}] + [Mg^{++}]))^{1/2}}$$

RAS= 0.25

5.7.2. RAZÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO (RAS) AJUSTADO

Para llevar a cabo esta alteración, se han interpolado los resultados obtenidos de la correlación entre la concentración molar de los elementos e iones del carbonato de sodio residual. Así, se ha establecido la relación (pHc) y el ajuste posterior (RAS ajustado). Por medio de las siguientes conexiones.

$$pHc = p(Ca + Mg + Na) + p(Ca + Mg) + p(CO_3 + HCO_3)$$

$$RAS(aj) = RAS \{1 + (8.4 - pHc)\}$$

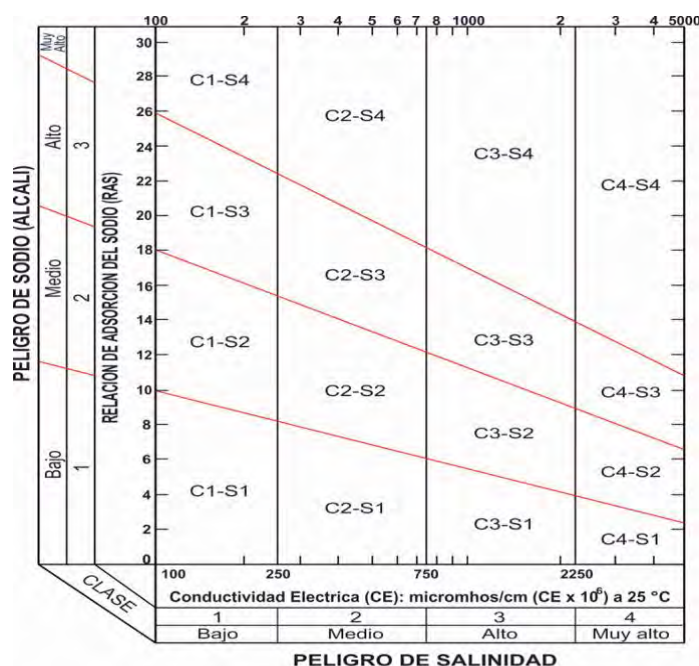
$$pHc=0.26$$

$$RAS(aj)= 0.66$$

5.7.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL AGUA

La escala de la norma de Riverside y US Salinity Laboratory muestra que el agua analizada es tipo C₁S₁; debido a su escasa salinidad, es adecuada para riego en cualquier circunstancia. Los problemas pueden surgir únicamente en terrenos con una permeabilidad muy baja. Es adecuada para el riego en la mayoría de los casos debido a su bajo contenido de sodio. No obstante, pueden surgir complicaciones con las cosechas muy vulnerables al sodio.

Gráfico 4: Clasificación del agua de riego (U.S. Salinity Laboratory).



Fuente: Adaptado de U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).

5.8. ANÁLISIS Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y METEOROLÓGICA

5.8.1. PRECIPITACIÓN PLUVIAL

Los datos de precipitación empleados en este estudio se obtuvieron del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la organización responsable de la supervisión y recopilación de información. Los datos de precipitación provienen de las estaciones de PISAQ, PAUCARTAMBO, ANGOSTURA, YAURI, SICUANI, KAYRA y CHITAPAMPA. En total son siete estaciones que tienen el siguiente periodo de registros:

- 01.- K'ayra CO-607 (de 1964 a 2018)
- 02.- PLU de Yauri (de 1964 a 1978, de 1987 a 1988, y de 1991 a 2018)
- 03.- CO-754, situada en Angostura (1964-1989, 1992-2000)
- 04.- CO-759 de Sicuani (1964-1983, 1986-2018)
- 05.- CP de Písaq (1964-2018)
- 06.- CP de Paucartambo (de 1964 a 1967, de 1972 a 1976, de 1978 a 1982, de 1987 a 1994 y de 1998 a 2006)
- 07.- CO en Chitapampa (1964-1983, 1996-1997)

El anexo 1 contiene las tablas de precipitación histórica y por estación, donde se puede apreciar la información histórica de lluvia de las siete estaciones mencionadas previamente.

Como consecuencia de la ausencia y/o escasez de registros en ciertos años y meses de las estaciones, se efectuó un análisis gráfico, un análisis estadístico y un proceso para completar y extender los registros pluviométricos, según el siguiente orden:

5.8.1.1. ANÁLISIS A TRAVÉS DE GRÁFICOS

Se lleva a cabo a través del análisis visual de la información pluviométrica disponible, en función de su distribución temporal, y combinando estos datos con los criterios recogidos en el campo. Para identificar las anomalías presentes en los registros de cada estación, graficamos en coordenadas cartesianas: el valor de la información pluviométrica se muestra en el eje vertical y el tiempo cronológico (en nuestro caso, los registros mensuales) se ubica en el horizontal. Este gráfico que resulta se llama histograma.

Además, se ha realizado un análisis de histogramas sobre las precipitaciones completas, utilizando las mismas medidas analíticas.

5.8.1.2. ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS

La evaluación y cuantificación de las anomalías detectadas en forma de saltos se lleva a cabo usando un análisis estadístico y/o un proceso inferencial para las medias y desviación estándar de ambos periodos que fueron separados en la fase previa, mediante la prueba T y F, respectivamente. Se ha logrado determinar el período del posible salto y la corrección de datos mediante los gráficos y el análisis de doble masa. Esto significa que, en un intervalo de datos, se conservarán los registros originales, mientras que en otro periodo se realizarán modificaciones según el criterio técnico sobre cuál será el periodo que mantenga los datos originales. Después, se examinan los dos primeros parámetros de las dos etapas para verificar estadísticamente si sus valores se encuentran dentro del rango permitido para un nivel de significancia determinado, conforme a la hipótesis propuesta.

Para realizar y detectar los errores en la información pluviométrica que se desea examinar, se sigue el siguiente procedimiento:

a) Consistencia en la Media

Se examina si los valores medios de las precipitaciones son estadísticamente indistinguibles, lo que significa demostrar que ambos provienen de la misma población, a través del análisis con la prueba estadística "T" de Student.



b) Estabilidad en la desviación estándar

La prueba "F" de Fischer (Prueba F) se utiliza para el análisis de la consistencia en la desviación estándar.

En situaciones en las que los parámetros de la media y la desviación estándar sean estadísticamente iguales, no sea necesario corregir la información debido a que es consistente con un 95% de probabilidad, incluso si se observan quiebres en el análisis de doble masa.

En el estudio de las estaciones que registran la precipitación, se ha descubierto que las estaciones de Yauri tienen algunos pequeños quiebres. Sin embargo, estos no son significativos porque, al aplicar estadísticamente las pruebas "T" de Student y "F" de Fischer a dichas estaciones, se ha constatado que su media y desviación estándar son estadísticamente iguales. Además, las otras estaciones empleadas en el proyecto superan las pruebas estadísticas mencionadas, con la excepción de las estaciones de Písaq (1988-2000), Sicuani (1979-1983) y Paucartambo (1975-1983), que han sido sometidas a corrección.

5.8.1.3. COMPLETACIÓN Y EXTENSIÓN

El software HEC-4, desarrollado por el Instituto de Recursos Hídricos del Centro de Ingeniería Hidrológica, del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, se ha empleado para completar y ampliar la información pluviométrica de las estaciones previamente analizadas a través del análisis de su calidad y consistencia.

5.8.1.4. PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Cuando se ha llevado a cabo el procedimiento completo de análisis estadístico (saltos y tendencias), la extensión y la terminación de los registros pluviométricos, estos han sido revisados nuevamente a través del análisis de consistencia mencionado anteriormente. Al mismo tiempo, han sido evaluados en términos de calidad de la información procesada y completada mediante las pruebas de Smirnov Kolmogorov y Chi-Cuadrado; esto también permitirá determinar si los registros pluviométricos siguen una distribución normal.

La coherencia de la información que incluye el análisis de doble masa, así como el análisis de saltos y tendencias, y las pruebas de bondad.

5.8.1.5. ANÁLISIS REGIONAL DE LAS PRECIPITACIONES

La técnica determinística (regresión lineal) entre dos variables (precipitación y altitud) nos posibilitará estimar los valores de $P=f(A)$ con un nivel de aproximación determinado. El estudio de la precipitación en función de la altitud nos lleva a producir precipitaciones en

áreas o lugares específicos con una altitud determinada. En la tabla y el gráfico siguientes, se pueden observar las estaciones empleadas para el análisis regional. En ellos, se presentan las constantes y el coeficiente de correlación (r) que se obtuvo. Una dependencia muy buena entre la precipitación y la altitud se refleja en el coeficiente de correlación $r = 0.996$.

Tabla 12: Regionalización de la precipitación con la altitud

ITEM	NOMBRE DE LA ESTACION	ALTITUD m.s.n.m	PRECIPITACION mm	PRECIPITACION AJUSTADA mm
1	YAURI	3,940	773.1	774.8
2	KAYRA	3,219	674.7	669.1
3	PISAC	2,950	622.9	625.2
4	SICUANI	3,564	710.0	721.6
5	ANGOSTURA	4,155	808.0	803.6
6	PAUCARTAMBO	2,830	605.1	604.5
7	CHITAPAMPA	3,298	686.6	681.5
8	CUENCA CHAUIBANDA	4174.36		806.2
9	AREAS DE CULTIVO	4087.5		794.7
PRECIPITACION AJUSTADA MEDIANTE LA ECUACION LINEAL SIMPLE (LUTZ SCHOLZ)				
$a = -233437.069485546$		$b = 211.613587502196$		$r = 0.9966$

Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos del SENAMHI y el método de regionalización de precipitación de Lutz Scholz.

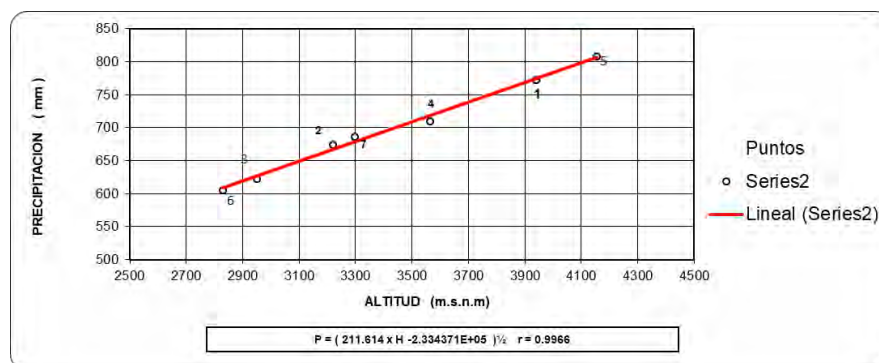
Dónde:

Símbolo	Descripción
P	Precipitación media (mm)
H	Altitud (m s. n. m.)
r	Coeficiente de correlación

Fuente: Elaboración propia a partir del método de regionalización de Lutz Scholz.

Igualmente, tengo que señalar que para el análisis regional de la precipitación se han utilizado siete estaciones elegidas (K'ayra, Chitapampa, Sicuani, Pisac, Paucartambo, Yauri y Angostura).

Gráfico 5: Regionalización de Precipitación en función de la altitud



Fuente: Elaboración propia



Con la ecuación de regionalización, se ha calculado la precipitación regionalizada para la microcuenca Yuraccasa y para el área media de la región agrícola.

5.8.1.6. PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN UN PERÍODO DE 24 HORAS

El estudio se ha basado en los datos de PMax24 horas de las estaciones YAURI, KAYRA, PÍSAQ, SICUANI y ANGOSTURA, administradas por el SENAMHI. Los años 1964 a 2018 son el periodo de tiempo que abarca la recopilación de datos de las estaciones elegidas.

Se han modificado los registros de PMax24 horas de las estaciones elegidas, tomando en cuenta la diferencia en altitud con respecto a la altura media de la cuenca, que es 4.174,36 metros sobre el nivel del mar (centroide). Los datos obtenidos se emplearán para examinar las máximas avenidas.

Para la realización de datos faltantes sobre las precipitaciones máximas en 24 horas, se ha utilizado como estación base la de Kayra, que tiene información completa, a diferencia de las demás estaciones de la región. Además, se ha usado el factor de corrección sugerido por la Organización Mundial de Meteorología (OMM), que es 1.13 y permite obtener datos más precisos según las evaluaciones estadísticas comprobadas.



Tabla 13: Precipitaciones máximas en 24 horas Regionalizada

Año	PRECIPITACIONES COMPLETADAS					P. REGIONALIZADA
	YURI	KAYRA	PÍSAQ	SICUANI	ANGOSTURA	CUENCA
1964	24.86	44.56	28.25	37.29	25.43	26.2
1965	25.43	35.48	27.12	27.12	32.88	32.0
1966	36.16	42.94	16.95	35.6	33.45	33.7
1967	26.78	47.57	28.25	33.67	30.74	30.8
1968	26.56	27.8	28.93	49.38	37.18	36.3
1969	58.83	28.36	37.97	22.71	33.79	35.6
1970	21.47	50.62	45.77	35.03	39.1	37.8
1971	20.11	40.79	37.74	35.93	45.77	43.0
1972	26.10	41.36	27.23	27.91	42.94	40.7
1973	33.67	32.09	40	30.28	31.3	31.6
1974	24.86	25.76	28.48	36.73	49.38	46.0
1975	21.02	28.25	20.96	28.7	63.85	57.4
1976	16.50	22.6	24.41	25.54	49.72	45.0
1977	18.08	38.31	27.23	28.02	58.99	53.4
1978	34.02	30.74	23.05	48.36	40.91	40.0
1979	42.82	44.07	24.41	32.43	25.09	27.3
1980	36.45	43.17	30.06	42.04	43.73	42.8
1981	40.62	45.43	54.14	40.12	42.83	42.8
1982	31.99	33.45	29.83	26.89	35.03	34.4
1983	36.39	24.18	30.35	52.21	43.17	42.3
1984	53.30	41.25	27.75	50.67	59.55	57.8
1985	21.44	35.26	29.83	40.5	37.18	35.8
1986	128.47	31.08	14.35	24.52	40.57	47.1
1987	29.38	47.57	29.04	36.54	27.57	28.5
1988	62.94	39.78	31.53	25.88	63.62	61.2
1989	41.49	47.35	50.85	39.1	30.06	32.1
1990	32.56	29.95	27.12	27.01	37.4	36.3
1991	44.70	42.49	16.95	33	54.69	52.2
1992	51.45	25.54	26.56	136.32	39.32	43.1
1993	44.07	54.81	23.05	34.35	36.16	37.0
1994	40.45	44.75	32.09	27.69	40.45	40.0
1995	39.89	39.1	23.17	30.51	54.92	51.9
1996	37.29	35.37	35.6	45.88	55.37	52.7
1997	42.04	53.11	24.41	45.77	35.48	36.6
1998	48.25	40.57	27.57	32.54	46.22	45.5
1999	45.65	21.81	31.3	28.02	44.07	43.0
2000	35.14	28.82	41.36	29.15	35.48	35.2
2001	34.80	35.03	29.61	40.68	55.71	52.5
2002	68.22	30.17	31.08	39.1	42.38	44.1
2003	36.73	44.18	32.54	34.35	35.6	35.8
2004	56.84	34.8	28.48	38.53	41.46	42.3
2005	40.23	31.41	25.99	50.17	36.39	36.9
2006	49.04	58.31	33.9	33.67	42.38	42.9
2007	41.81	37.18	31.75	32.54	29.72	31.1
2008	31.19	31.53	43.73	35.37	38.76	37.9
2009	51.98	31.41	43.28	22.6	33	34.4
2010	58.87	46.56	44.3	27.91	37.52	39.4
2011	46.90	33.67	37.97	38.53	35.82	36.9
2012	53.56	53.11	33.11	35.71	36.16	38.0
2013	30.74	30.74	41.36	29.15	34.47	34.0
2014	54.92	40.23	23.73	26.33	35.6	36.9
2015	40.12	43.28	30.28	32.21	62.26	58.4
2016	49.61	27.35	28.25	38.65	23.9	26.8
2017	33.56	28.14	30.51	45.31	46.57	44.7
2018	34.92	38.31	30.06	40.12	40.42	39.7
N° Datos	55	55	55	55	55	55
Media	40.3	37.5	31.0	36.8	40.9	40.5
Desv. Estandar	17.06	8.72	7.98	15.59	9.84	8.34
Coef. Variacion	42.36	23.27	25.75	42.36	24.04	20.59
Prec. Max.	128.5	58.3	54.1	136.3	63.9	61.2
Prec. Min.	16.5	21.8	14.4	22.6	23.9	26.2

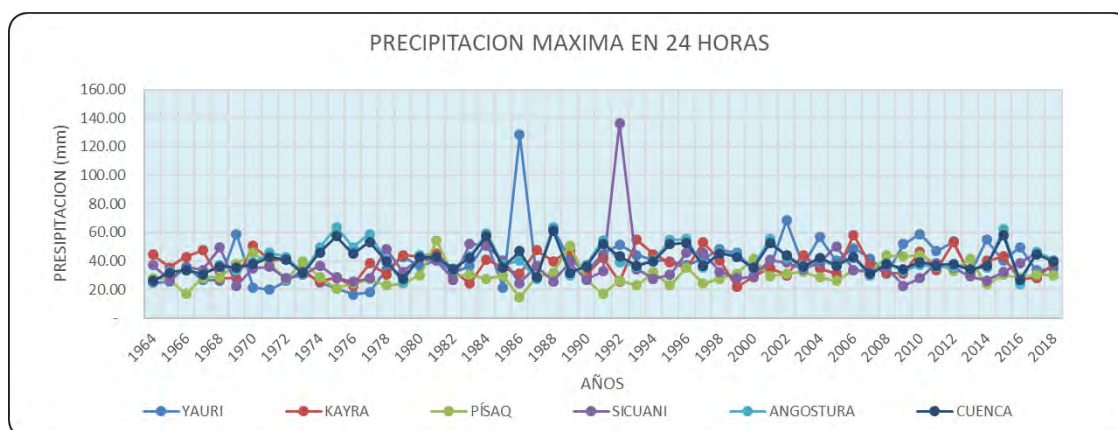
Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Determinación factores de Influencia para las precipitaciones máximas en 24 horas

Descripción	Altitud	Precipitación Histórica	Dif Altitud	%	1/%	FI Altitud
YAURI	3940	40.28	234.4	0.08	13.01	0.09
KAYRA	3219	37.48	955.4	0.31	3.19	0.02
PISAQ	2950	30.97	1224.4	0.40	2.49	0.02
SICUANI	3,564	36.81	610.4	0.20	5.00	0.03
ANGOSTURA	4150	40.94	24.4	0.01	125.17	0.84
Cuenca de Estudio	4,174.36	186.48	3048.7861	1.00	148.86	1.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6: Histograma de precipitaciones máximas en 24 horas



Fuente: Elaboración propia

5.8.1.7. PRECIPITACIÓN EFECTIVA AL 75% DE PERSISTENCIA (PE75)

En el proyecto se ha calculado la precipitación efectiva con un 75% de persistencia (PE75) usando el software CROPWAT 8, de la FAO. Las tablas 15 y 16 muestran las variaciones en los resultados. El promedio anual de las precipitaciones con una persistencia del 75% es de 593,1 mm. La cifra más alta es 133,8 mm en enero y la más baja, 0,00 mm en junio. A continuación se presenta el cuadro con la variación a lo largo del año.

Tabla 15: Precipitaciones al 75% Microcuenca Yuraccasa(mm).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
Media	173.0	159.7	135.1	50.8	11.0	5.3	6.2	13.2	19.4	44.6	66.5	121.4	806.2
Prec. 75%	133.8	127.8	107.9	36.7	5.2	0.0	0.0	1.9	10.5	27.7	45.3	96.3	593.1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos y análisis estadístico de precipitación.

Tabla 16: Precipitaciones al 75% Áreas de Cultivo(mm)

ANEXO CHALLAJE													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
Media	169.6	155.9	131.1	51.4	11.1	5.2	6.0	12.4	19.8	45.2	66.8	120.1	794.7
Prec. al 75%	133.8	126.3	106.6	37.5	5.3	(0.7)	0.2	2.8	11.2	30.1	46.2	97.0	596.2

Fuente: Elaboración propia a partir de datos meteorológicos y análisis estadístico de precipitación.

A continuación, se muestra la PE para el sector de riego, determinado mediante el SOFTWARE CROPWAT 8, FAO.

Tabla 17: Precipitación efectiva de 75% de persistencia (mm).

MES	Prec. (75%)	Prec. efec
	mm.	mm.
Enero	133.8	105.2
Febrero	126.3	100.8
Marzo	106.6	88.4
Abril	37.5	35.3
Mayo	5.3	5.3
Junio	0	0
Julio	0.2	0.2
Agosto	2.8	2.8
Septiembre	11.2	11
Octubre	30.1	28.7
Noviembre	46.2	42.8
Diciembre	97	81.9
Total	597	502.2

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de Lutz Scholz (1980).

5.9. OFERTA HÍDRICA

Se ha establecido que el agua superficial del proyecto proviene de las lluvias que se producen entre diciembre y marzo en la microcuenca tributaria Yuraccasa. Esta agua se almacenará en la presa Chaupibanda y, posteriormente, será dirigida a las zonas de riego conforme al diseño hidráulico del proyecto.

Gráfico 7: Análisis de la oferta Hídrica



Fuente: Elaboración propia

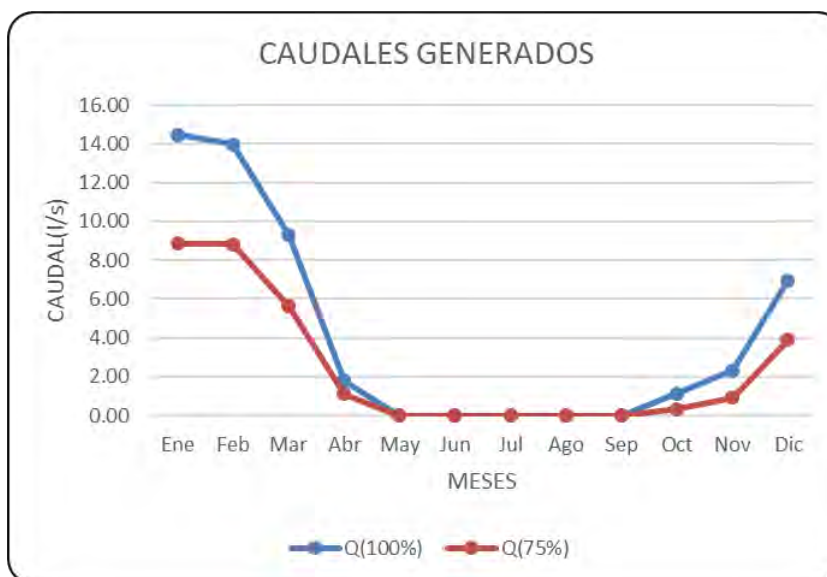
Tabla 18: Oferta Hídrica microcuenca Yuraccasa

Mes	OFERTA HÍDRICA			
	Q	Volumen	Q(75%)	Volumen (75%)
	l/s	m3	l/s	m3
Ene	14.47	38755.275	8.85	23,702.43
Feb	13.97	33785.456	8.84	21,394.50
Mar	9.30	24900.867	5.64	15,119.13
Abr	1.79	4634.733	1.10	2,863.90
May	0.00	0.000	0.00	0.00
Jun	0.00	0.000	0.00	0.00
Jul	0.00	0.000	0.00	0.00
Ago	0.00	0.000	0.00	0.00
Sep	0.00	0.000	0.00	0.00
Oct	1.16	3097.907	0.35	929.84
Nov	2.31	5992.374	0.92	2,378.95
Dic	6.98	18694.021	3.91	10,475.68
TOTAL		129,860.63		76,864.42

Fuente: Elaboración propia

Oferta hídrica al 75% de persistencia, convertido en volúmenes medias mensuales

Gráfico 8: Caudal Generados para 100% y 75% de persistencia



Fuente: Elaboración propia

5.10. ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS

5.10.1. CAUDALES MÁXIMOS

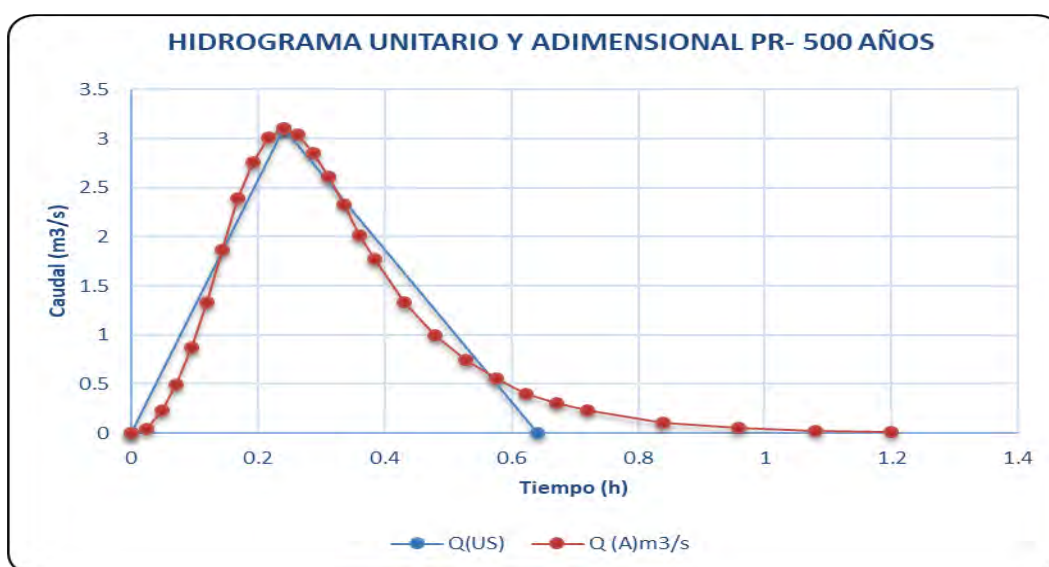
Para la determinación de los caudales máximos con el objetivo de diseñar el vertedor de la Presa Chaupibanda, se utilizó el método SCS, siguiendo lo que estipulan los estudios básicos de hidrología. Para calcular las precipitaciones máximas en 24 horas, estas fueron regionalizadas al punto de la presa y se incluyó un cuadro a continuación donde se muestra

este procedimiento. Este fue modificado por el factor corrector por altitud y además se le aplicó un factor adicional recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (1.13).

Las estaciones que se utilizan para la regionalización son Sicuani, Kayra, Yauri, Angsotura y Písaq. Estas han sido completadas conforme a la estación base, que en este caso es Kayra, ya que cuenta con más del 98 % de los datos registrados.

Se utilizó la distribución de Gumbel para estudiar las precipitaciones máximas, ya que esta tiene una gran semejanza con los datos observados. Posteriormente, se calcularon los caudales de diseño para distintos periodos de retorno, como se ilustra en el Gráfico 9, utilizando la metodología del Hidrógrafa Unitario y el método de SCS.

Gráfico 9: Hidrograma para 500 años de Periodo de retorno



Fuente: Elaboración propia

Los caudales máximos calculados corresponden a la duración del proyecto, el intervalo de retorno de las avenidas máximas y el factor de riesgo, que en este caso es del 10%, según la fórmula siguiente.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Donde:

Símbolo	Descripción
R	Riesgo de falla
T	Periodo de retorno
n	Vida útil del proyecto

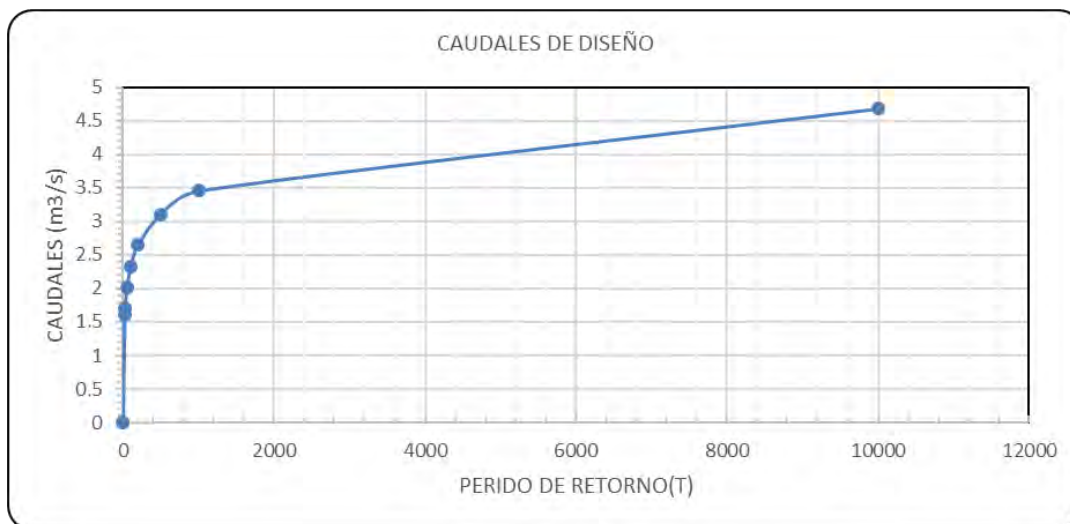
Fuente: Elaboración propia a partir de Chow et al. (1994).

Tabla 19: Caudales máximos de diseño

ITEM	VIDA ESPER. DEL PROY. y/o VIDA ÚTIL (AÑOS)	TIEMP. DE RETOR. (T) (AÑOS)	RIESGO DE FALLA (%)	PROBABIL. (P) ($P = 1 / T$) (%)	CAUDAL DE DIS. (m ³ /s)
1	0	0	0%	0	0
2	2	20	10%	0.05000	1.61
3	3	25	10%	0.04000	1.71
4	5	50	10%	0.02000	2.01
5	10	100	10%	0.01000	2.33
7	20	200	10%	0.00500	2.66
8	50	500	10%	0.00200	3.10
9	100	1000	10%	0.00100	3.46
10	1000	10000	10%	0.00010	4.68

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10: Caudales máximos Punto de captación



Fuente: Elaboración propia

5.10.2. CAUDALES MÍNIMOS

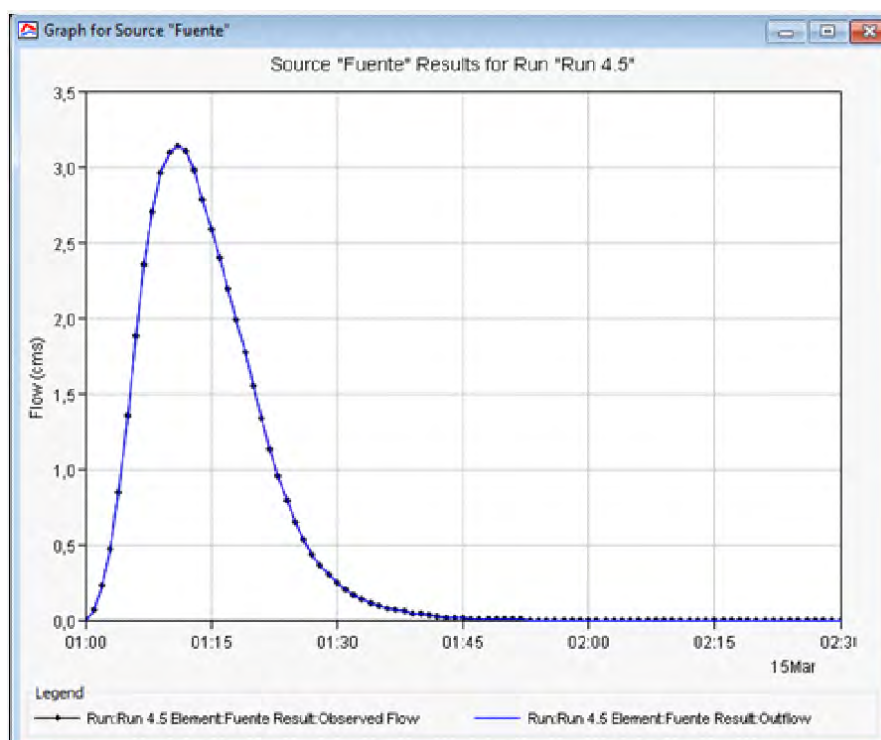
En la zona de captación, donde se emplaza la Presa Chaupibanda, punto de cerrada, no se observa ningún caudal base que pueda considerarse como mínimo, salvo pozas de agua de escorrentía, el vaso es seco, no se observa ni manantes.

5.10.3. TRÁNSITO DE AVENIDAS

5.10.3.1. HIDROGRAMA DE ENTRADA

A partir del Hietograma de diseño de ha generado el hidrograma de entra mediante el HEC-HMS, método SCS, siendo similar al HU obtenido mediante de forma manual con hoja de cálculo.

Gráfico 11: Hidrograma de entrada Microcuenca Yuraccasa



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Generación Hidrograma de entrada Microcuenca Yuraccasa

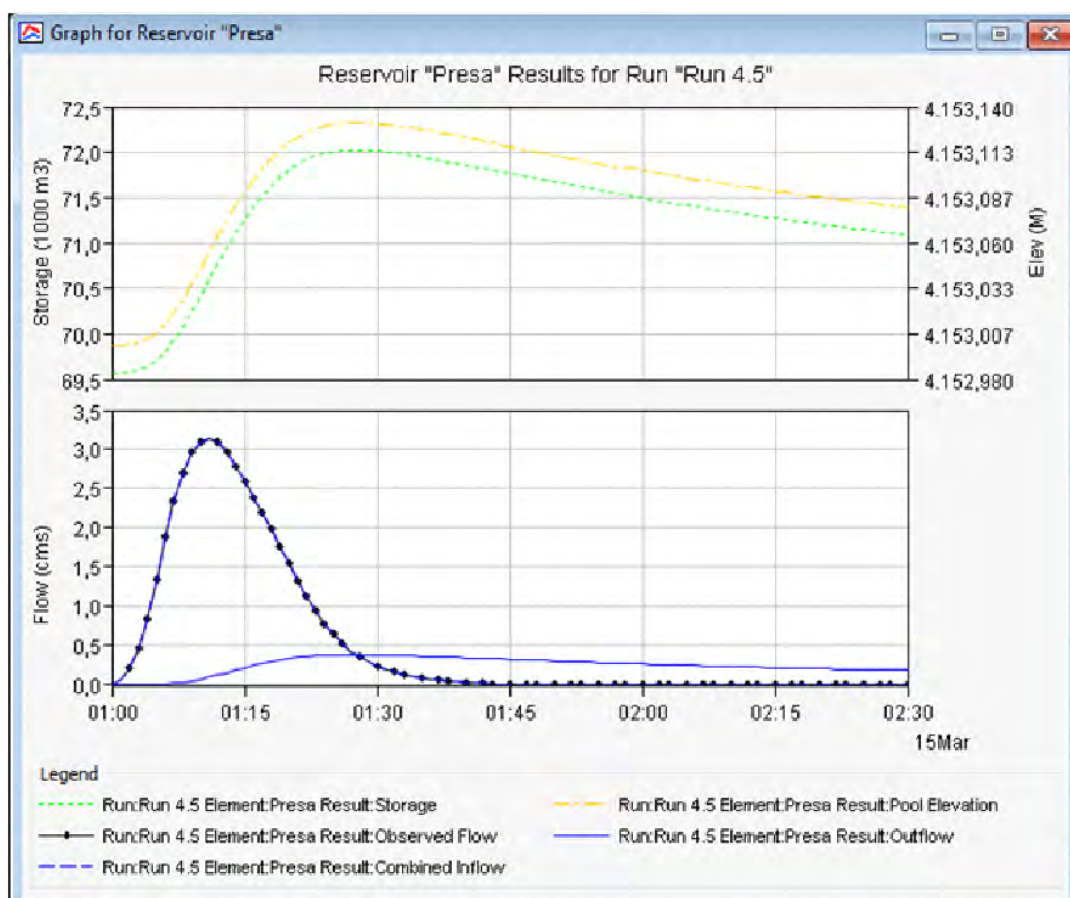
Time	Discharge (m3/s)	Obs Flow (m3/s)
01:00	-	-
01:01	0.063	0.063
01:02	0.225	0.225
01:03	0.473	0.473
01:04	0.843	0.843
01:05	1.352	1.352
01:06	1.883	1.883
01:07	2.349	2.349
01:08	2.705	2.705
01:09	2.961	2.961
01:10	3.097	3.097
01:11	3.136	3.136
01:12	3.103	3.103
01:13	2.979	2.979
01:14	2.779	2.779
01:15	2.585	2.585
01:16	2.395	2.395
01:17	2.195	2.195
01:18	1.988	1.988
01:19	1.770	1.770
01:20	1.546	1.546
01:21	1.331	1.331
01:22	1.132	1.132
01:23	0.950	0.950
01:24	0.788	0.788
01:25	0.647	0.647
01:26	0.530	0.530
01:27	0.437	0.437
01:28	0.361	0.361
01:29	0.299	0.299
01:30	0.247	0.247
01:31	0.204	0.204

Time	Discharge (m ³ /s)	Obs Flow (m ³ /s)
01:32	0.168	0.168
01:33	0.139	0.139
01:34	0.115	0.115
01:35	0.095	0.095
01:36	0.079	0.079
01:37	0.065	0.065
01:38	0.054	0.054
01:39	0.044	0.044
01:40	0.036	0.036
01:41	0.028	0.028
01:42	0.021	0.021
01:43	0.016	0.016
01:44	0.013	0.013
01:45	0.010	0.010
01:46	0.007	0.007
01:47	0.006	0.006
01:48	0.004	0.004
01:49	0.003	0.003
01:50	0.002	0.002
01:51	0.001	0.001
01:52	0.001	0.001

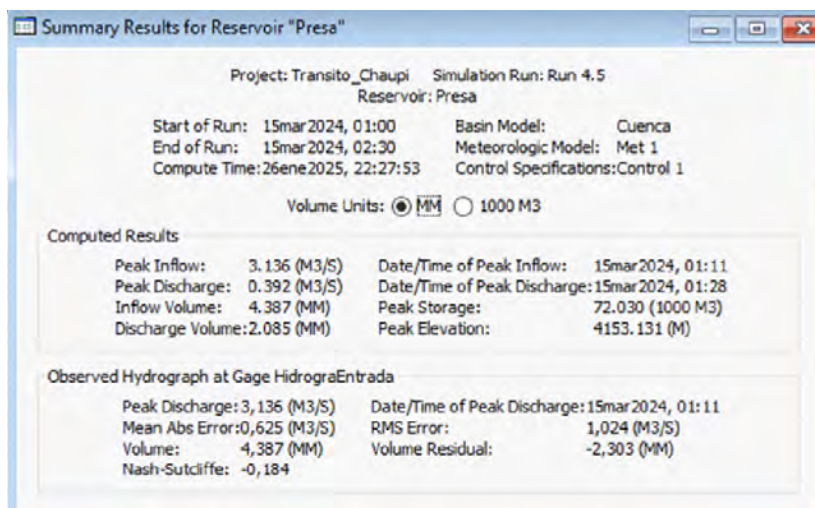
Fuente: Elaboración propia

5.10.3.2. TRÁNSITO DE AVENIDA MÁXIMA

Gráfico 12: Transito de avenida máxima



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Generación del tránsito de Avenida Máxima

Time	Inflow	Storage	Elevación	Outflow	Obs Flow
	m3/s	(1000 m3)	msnm	m3/s	m3/s
01:00:00	0.00	69.57	4153.00	0.00	0.00
01:01:00	0.06	69.57	4153.00	0.00	0.06
01:02:00	0.23	69.58	4153.00	0.00	0.23
01:03:00	0.47	69.60	4153.00	0.00	0.47
01:04:00	0.84	69.64	4153.00	0.00	0.84
01:05:00	1.35	69.70	4153.01	0.01	1.35
01:06:00	1.88	69.80	4153.01	0.01	1.88
01:07:00	2.35	69.93	4153.02	0.02	2.35
01:08:00	2.71	70.08	4153.03	0.04	2.71
01:09:00	2.96	70.24	4153.04	0.06	2.96
01:10:00	3.10	70.42	4153.05	0.08	3.10
01:11:00	3.14	70.60	4153.06	0.11	3.14
01:12:00	3.10	70.78	4153.07	0.14	3.10
01:13:00	2.98	70.96	4153.07	0.17	2.98
01:14:00	2.78	71.12	4153.08	0.20	2.78
01:15:00	2.59	71.27	4153.09	0.23	2.59
01:16:00	2.40	71.40	4153.10	0.25	2.40
01:17:00	2.20	71.52	4153.10	0.28	2.20
01:18:00	1.99	71.63	4153.11	0.30	1.99
01:19:00	1.77	71.73	4153.12	0.32	1.77
01:20:00	1.55	71.81	4153.12	0.34	1.55
01:21:00	1.33	71.87	4153.12	0.35	1.33
01:22:00	1.13	71.92	4153.13	0.37	1.13
01:23:00	0.95	71.96	4153.13	0.38	0.95
01:24:00	0.79	71.99	4153.13	0.38	0.79
01:25:00	0.65	72.01	4153.13	0.39	0.65



Time	Inflow	Storage	Elevación	Outflow	Obs Flow
	m3/s	(1000 m3)	msnm	m3/s	m3/s
01:26:00	0.53	72.02	4153.13	0.39	0.53
01:27:00	0.44	72.03	4153.13	0.39	0.44
01:28:00	0.36	72.03	4153.13	0.39	0.36
01:29:00	0.30	72.03	4153.13	0.39	0.30
01:30:00	0.25	72.02	4153.13	0.39	0.25
01:31:00	0.20	72.01	4153.13	0.39	0.20
01:32:00	0.17	72.00	4153.13	0.38	0.17
01:33:00	0.14	71.98	4153.13	0.38	0.14
01:34:00	0.12	71.97	4153.13	0.38	0.12
01:35:00	0.10	71.95	4153.13	0.37	0.10
01:36:00	0.08	71.94	4153.13	0.37	0.08
01:37:00	0.07	71.92	4153.13	0.37	0.07
01:38:00	0.05	71.90	4153.12	0.36	0.05
01:39:00	0.04	71.88	4153.12	0.36	0.04
01:40:00	0.04	71.86	4153.12	0.35	0.04
01:41:00	0.03	71.84	4153.12	0.35	0.03
01:42:00	0.02	71.82	4153.12	0.34	0.02
01:43:00	0.02	71.80	4153.12	0.34	0.02
01:44:00	0.01	71.79	4153.12	0.34	0.01
01:45:00	0.01	71.77	4153.12	0.33	0.01
01:46:00	0.01	71.75	4153.12	0.33	0.01
01:47:00	0.01	71.73	4153.12	0.32	0.01
01:48:00	0.00	71.71	4153.11	0.32	0.00
01:49:00	0.00	71.69	4153.11	0.31	0.00
01:50:00	0.00	71.67	4153.11	0.31	0.00
01:51:00	0.00	71.65	4153.11	0.31	0.00
01:52:00	0.00	71.64	4153.11	0.30	0.00
01:53:00	0.00	71.62	4153.11	0.30	0.00
01:54:00	0.00	71.60	4153.11	0.29	0.00
01:55:00	0.00	71.58	4153.11	0.29	0.00
01:56:00	0.00	71.56	4153.11	0.29	0.00
01:57:00	0.00	71.55	4153.11	0.28	0.00
01:58:00	0.00	71.53	4153.10	0.28	0.00
01:59:00	0.00	71.51	4153.10	0.28	0.00
02:00:00	0.00	71.50	4153.10	0.27	0.00
02:01:00	0.00	71.48	4153.10	0.27	0.00
02:02:00	0.00	71.47	4153.10	0.27	0.00
02:03:00	0.00	71.45	4153.10	0.26	0.00
02:04:00	0.00	71.43	4153.10	0.26	0.00
02:05:00	0.00	71.42	4153.10	0.26	0.00
02:06:00	0.00	71.40	4153.10	0.25	0.00
02:07:00	0.00	71.39	4153.10	0.25	0.00
02:08:00	0.00	71.37	4153.10	0.25	0.00



Time	Inflow	Storage	Elevación	Outflow	Obs Flow
	m3/s	(1000 m3)	msnm	m3/s	m3/s
02:09:00	0.00	71.36	4153.10	0.24	0.00
02:10:00	0.00	71.34	4153.09	0.24	0.00
02:11:00	0.00	71.33	4153.09	0.24	0.00
02:12:00	0.00	71.32	4153.09	0.23	0.00
02:13:00	0.00	71.30	4153.09	0.23	0.00
02:14:00	0.00	71.29	4153.09	0.23	0.00
02:15:00	0.00	71.27	4153.09	0.23	0.00
02:16:00	0.00	71.26	4153.09	0.22	0.00
02:17:00	0.00	71.25	4153.09	0.22	0.00
02:18:00	0.00	71.23	4153.09	0.22	0.00
02:19:00	0.00	71.22	4153.09	0.22	0.00
02:20:00	0.00	71.21	4153.09	0.21	0.00
02:21:00	0.00	71.20	4153.09	0.21	0.00
02:22:00	0.00	71.18	4153.09	0.21	0.00
02:23:00	0.00	71.17	4153.09	0.21	0.00
02:24:00	0.00	71.16	4153.09	0.20	0.00
02:25:00	0.00	71.15	4153.08	0.20	0.00
02:26:00	0.00	71.13	4153.08	0.20	0.00
02:27:00	0.00	71.12	4153.08	0.20	0.00
02:28:00	0.00	71.11	4153.08	0.19	0.00
02:29:00	0.00	71.10	4153.08	0.19	0.00
02:30:00	0.00	71.09	4153.08	0.19	0.00

Fuente: Elaboración propia

5.11. BALANCE HÍDRICO

5.11.1. BALANCE HÍDRICO DINÁMICO PARA LA SIMULACIÓN DE OPERACIÓN DE LA PRESA CHAUIBANDA.

Como se mencionó el balance hídrico para este proyecto está ligado a la regulación de ofertas mediante una presa de tierra Mixta, ubicados en las cabeceras de las áreas de riego, por lo que es necesario realizar un balance dinámico de operación de la Presa, que simule el funcionamiento de tal manera que el balance hídrico muestre un escenario positivo de la disponibilidad y uso del recurso hídrico durante el ciclo hidrológico anual y futuro. Para lo cual se ha previsto todas las variables de entrada y salida en términos de volúmenes de agua involucradas en el proceso.

a) Descripción del Balance Hídrico Dinámico.

La operación de la presa depende de la demanda o de la implementación de las cédulas de cultivo. A medida que los usuarios se organicen, será posible optimizar el

funcionamiento de la presa. En el siguiente cuadro, se ha simulado dicha operación en función de la demanda calculada.

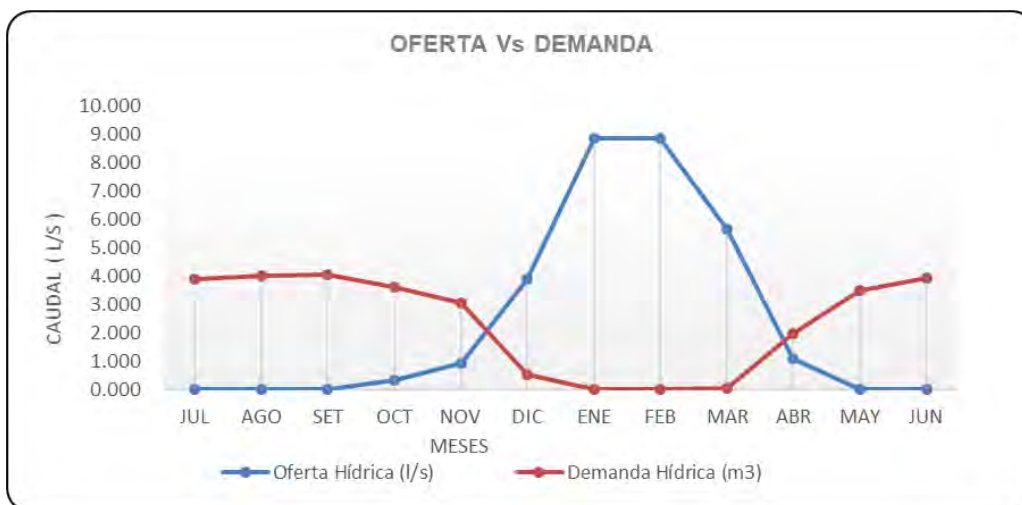
El balance hídrico del proyecto se presenta a continuación, de acuerdo con la demanda estimada para 24 horas y una eficacia de aplicación del 65%.

Tabla 22: Balance hídrico Oferta & Demanda en (l/s).

Meses	Oferta Hídrica (l/s)		Demanda Hídrica (m3)				Superávit y/o Déficit l/s
	Presa Regulada l/s	Total	Evaporación Presa (l/s)	Pecuaría (l/s)	Aspersión Challaje (l/s)	Total (l/s)	
JUL	0.000	0.000	0.622	0.031	3.26	3.91	-3.91
AGO	0.000	0.000	0.640	0.031	3.34	4.01	-4.01
SET	0.000	0.000	0.697	0.031	3.33	4.05	-4.05
OCT	0.347	0.347	0.703	0.031	2.89	3.63	-3.28
NOV	0.918	0.918	0.538	0.031	2.48	3.05	-2.13
DIC	3.911	3.911	0.201	0.031	0.29	0.52	3.39
ENE	8.849	8.849	0.000	0.000	0.00	0.00	8.85
FEB	8.844	8.844	0.000	0.000	0.00	0.00	8.84
MAR	5.645	5.645	0.050	0.000	0.00	0.05	5.60
ABR	1.105	1.105	0.368	0.031	1.59	1.99	-0.88
MAY	0.000	0.000	0.546	0.031	2.92	3.50	-3.50
JUN	0.000	0.000	0.607	0.031	3.28	3.92	-3.92
Total MMC	0.0769	0.077	0.013		0.062		0.0013
	Oferta Hídrica (MMC)	Evaporación (MMC)	TOTAL (MMC)				
	0.077	0.013	0.064				

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de balance hídrico de Chow et al. (1994).

Gráfico 13: Equilibrio de la Demanda & Oferta



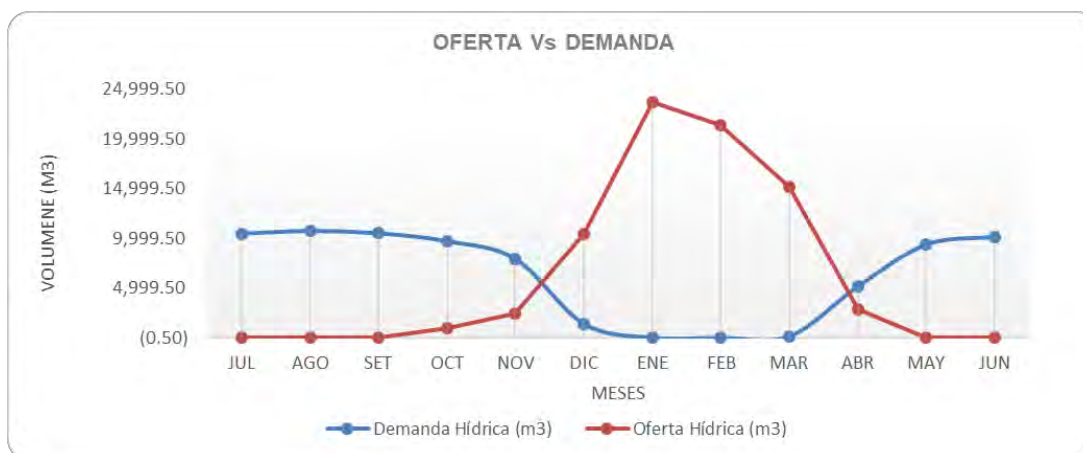
Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Balance en términos de Volúmenes(m³)

Meses	Oferta Hídrica (m3)			Demanda Hídrica (m3)					Superávit y/o Déficit (m3)
	Presa regulada m3	Total (m3)	Caudal (m3/s)	Volumen Evap.(m3)	Pecuaría (m3)	Aspersión Challaje (m3)	Total (m3)	Caudal (m3/s)	
JUL	0	-	-	1,665	83.70	8,728.29	10,477.33	0.004	(10,477.33)
AGO	0	-	-	1,714	83.70	8,943.80	10,741.17	0.004	(10,741.17)
SET	0	-	-	1,806	81.00	8,618.79	10,506.08	0.004	(10,506.08)
OCT	930	929.84	0.0003	1,882	83.70	7,745.58	9,711.25	0.004	(8,781.41)
NOV	2,379	2,378.95	0.0009	1,394	81.00	6,430.38	7,905.50	0.003	(5,526.55)
DIC	10,476	10,475.68	0.0039	538	83.70	769.17	1,391.02	0.001	9,084.67
ENE	23,702	23,702.43	0.0088	0	-	-	-	-	23,702.43
FEB	21,394	21,394.50	0.0088	0	-	-	-	-	21,394.50
MAR	15,119	15,119.13	0.0056	133	-	-	132.72	0.000	14,986.41
ABR	2,864	2,863.90	0.0011	954	81.00	4,120.80	5,155.55	0.002	(2,291.65)
MAY	0	-	-	1,462	83.70	7,826.15	9,371.65	0.003	(9,371.65)
JUN	0	-	-	1,574	81.00	8,506.07	10,160.60	0.004	(10,160.60)
Σ	76,864	76,864.42		13,121	742.50	61,689.04	75,552.86		1,311.56

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14: Balance en términos de Volúmenes(m³)



Fuente: Elaboración propia

b) Creación de la operación de la presa

La operación de la presa está programada desde el 15 de abril al 15 de noviembre, con operación de 24 horas diarias, o de acuerdo como defina la implementación de las cédulas de cultivo.

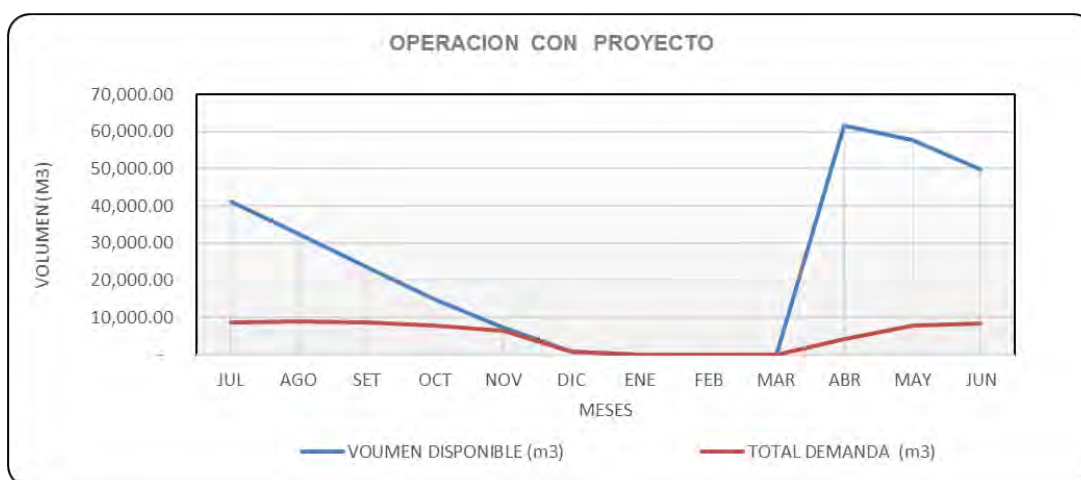
Para la presente tesis se propone la operación por turnos durante las 24 horas, siendo un sistema continuo, facilitando la operación, con cierres una vez concluida las jornadas de riego de acuerdo a la frecuencia estimada, que es más fácil para el campesino que los cierres diarios.

Tabla 24: Distribución de Volúmenes

Meses	VOLUMEN DISPONIBLE EN LA PRESA (m3)	ANEXO CHALLAJE (m3)	TOTAL DEMANDA (m3)	TOTAL (m3/s)	TOTAL (l/s)
JUL	41,236.02	8,728.29	8,728.29	0.003	3.26
AGO	32,507.72	8,943.80	8,943.80	0.003	3.34
SET	23,563.92	8,618.79	8,618.79	0.003	3.33
OCT	14,945.13	7,745.58	7,745.58	0.003	2.89
NOV	7,199.56	6,430.38	6,430.38	0.002	2.48
DIC	769.17	769.17	769.17	0.000	0.29
ENE	0.00	-	-	-	-
FEB	0.00	-	-	-	-
MAR	0.00	-	-	-	-
ABR	61,689.04	4,120.80	4,120.80	0.002	1.59
MAY	57,568.24	7,826.15	7,826.15	0.003	2.92
JUN	49,742.09	8,506.07	8,506.07	0.003	3.28
Σ	61,689.04	61,689.04	61,689.04		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 15: Tendencia de Operación del proyecto



Fuente: Elaboración propia

5.12. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN TÉRMINOS DE APROVECHAMIENTO E INGENIERÍA

El Plan de Aprovechamiento Hídrico actual explica cómo se va a transportar el agua hacia las parcelas agrícolas. Se expone la infraestructura u obras civiles y el esquema hidráulico, que comprende tanto el plan de distribución como el de operación del agua, como los recursos disponibles para cumplir esta difícil tarea.

La presente tesis contará con una presa de tierra Mixta de acuerdo a las características que se describe líneas abajo, que almacenan en total de 0,075Hm3 para irrigar 7,5 has para 25 usuarios o familias del anexo de Challaje.



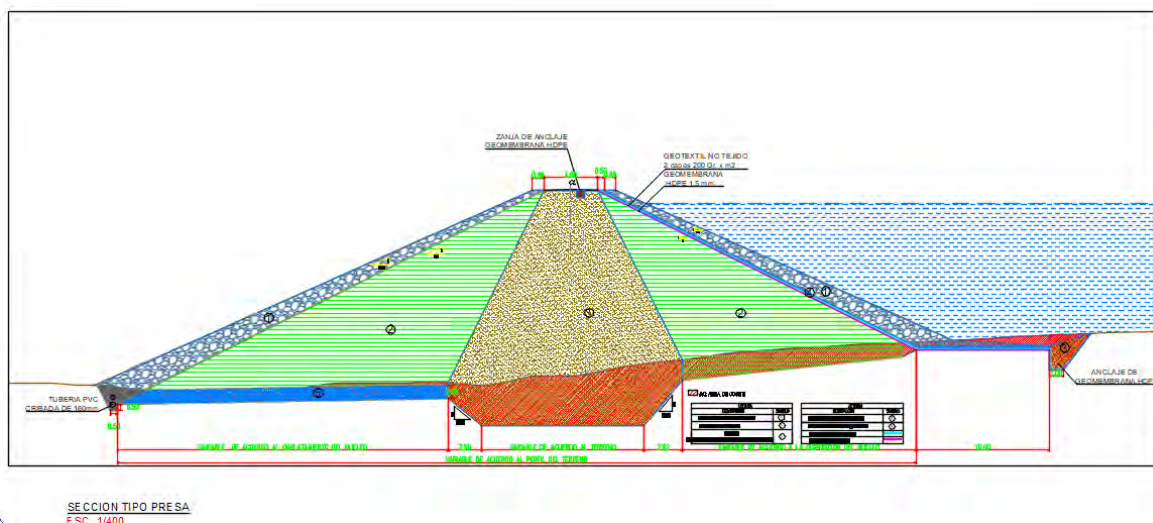
5.12.1. INFRAESTRUCTURA – OBRAS CIVILES

5.12.1.1. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El sistema de almacenamiento está constituido por una presa de tierra uniforme que posee las siguientes propiedades:

Bordo Libre	: 1,00 m
Longitud de corona	: 127.113 m
Ancho de la corona	: 6 m
Talud aguas (arriba – abajo)	: 1 verti. 2,25 horiz.
Cota de la corona	: 4154.00msnm
Cota de fundación (terreno desbrozado)	: 4,140.08 msnm
Altura de la presa	: 14.92 m
Ancho (base mayor)	: 69,45 m
Longitud delantera (geomembrana)	: 10.00 m
Altura de relleno (terraplén)	: 14.92m
Cota – embalse (NAMO)	: 4153.00msnm
Cota – embalse (NAME)	: 4153.50msnm
Volumen (embalse)	: 75.552,86 m ³
Caudal descarga para uso normal	: 21 l/s(MD) y 12 l/s(MI)
Material - cuerpo de presa	: GC, SM, SC GC
Impermeabilización aguas arriba (Tratamiento)	: Geomembrana con delantal
Talud aguas arriba (Protección)	: pedraplén + Enrocado
Talud aguas abajo (Tratamiento)	: Enrocado (piedra)
Corona (Tratamiento)	: Imprimado (asfalto).
Aliviadero (Capacidad)	: 1,55 m ³ /s
Descarga operación (Tubería)	: 01 Tuberías PVC 315mm.
Tipo de tubería a utilizar	: PVC NTP-ISO 1452
Válvulas de control y desagüe de tipo mariposa	: 01 unidades de 12 pulg.

Gráfico 16: Sección Tipo de Presa Chaupibanda (Anexo Hidrológico)



Fuente: Elaboración propia

Las fases constructivas y la calidad o condiciones de los elementos conformantes se describen en la siguiente tabla:

Tabla 25: Fases constructivas y la calidad de los elementos conformante

Fase Constructiva	Descripción / Control de Calidad
Desvío del río y excavación	Desvío mediante canal/túnel temporal; excavación y desbroce hasta alcanzar la roca o suelo firme de cimentación.
Tratamiento de la cimentación	Inyecciones de consolidación o impermeabilización (grouting), excavación de la trinchera de cortina (cut-off).
Construcción del dique en capas	Colocación y compresión de materiales en estratos de entre 20 y 30 centímetros. Control: 95 de densidad de campo. Prototipo Proctor modificado y humedad ideal.
Instalación de filtros y drenes	Colocación estricta de filtros de arena/grava cumpliendo los criterios de retención y permeabilidad de Terzaghi.
Colocación de protecciones	Instalación del Rip-Rap en el talud amontante y drenes de pie aguas abajo.
Obras complementarias	Construcción del aliviadero de demasías, toma de agua y purga de fondo en concreto armado

Fuente: Elaboración propia

5.12.1.2. SISTEMA DE CAPTACIÓN

La captación se sitúa en la misma poza de descarga de la represa, cuyas coordenadas son las siguientes:

Tabla 26: Coordenadas UTM punto de captación

ITEM	ESTE	NORTE	DESCRIPCIÓN
1	224361.133	8412808.84	PUNTO DE CAPTACIÓN

Fuente: Elaboración propia

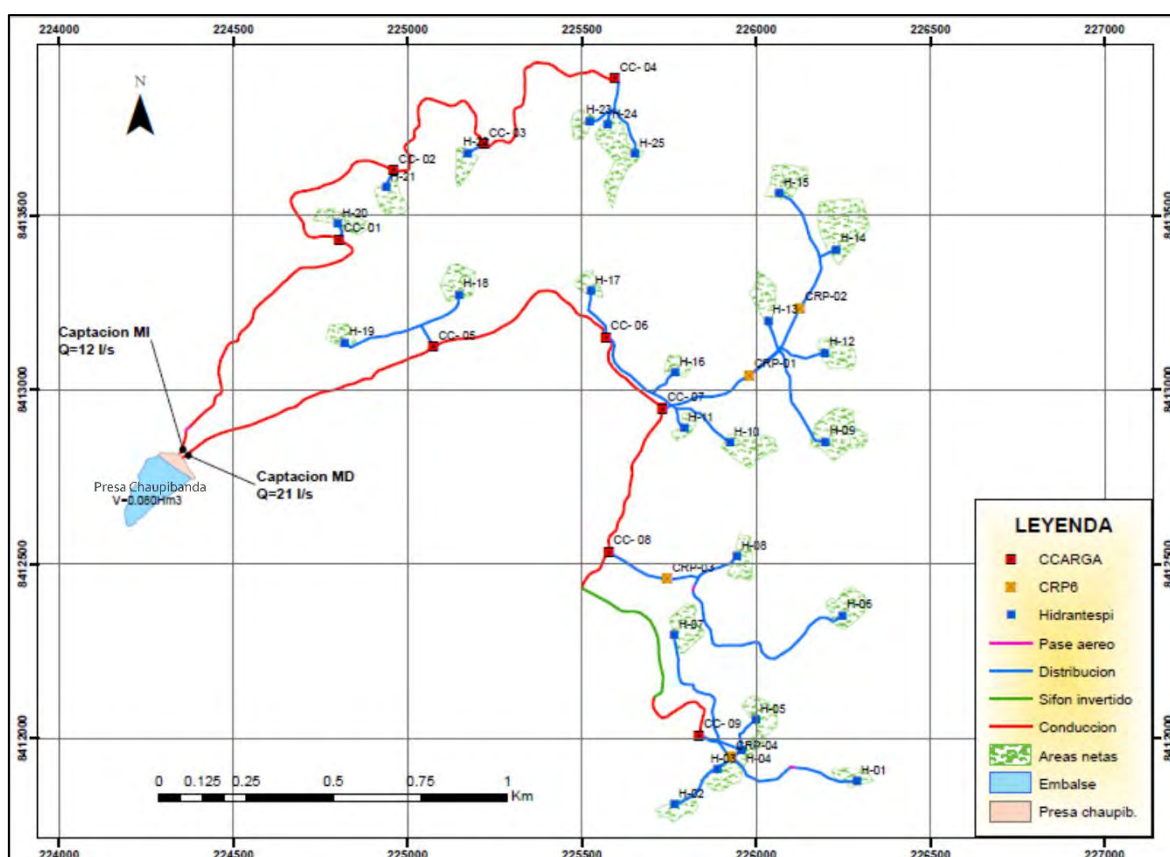
5.12.1.3. SISTEMA DE CONDUCCIÓN

La línea de conducción cuenta con un sifón invertido de 460.25m al final y una tubería de PVC ISO 1452 con un diámetro de 4" que abarca 5,16 km.

5.12.1.4. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La línea de distribución está conformada por 09 cámaras de carga y una línea de distribución de 5,88 km, compuesta por tuberías de PVC ISO 1452 con un diámetro que varía entre $\Phi 54$ mm y $\Phi 160$ mm.

5.12.2. PLANTEAMIENTO TÉCNICO DEL PLAN DE DISTRIBUCIÓN Y PLANTEAMIENTO HIDRÁULICO



Ver Anexos

Cuadros de generación de caudales método Lutz-Scholz, gráficos, diagramas

5.13. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

El diseño final de la presa Chaupibanda se realizó a partir de los resultados del análisis geotécnico y de los cálculos obtenidos (sección máxima de la presa).



Asumiendo la cimentación firme, se encuentra a 3m de acuerdo a las recomendaciones del estudio de geotecnia, en los procesos de excavación de calicatas en campo, se tiene el siguiente diseño.

1.- DATOS

Cota del terreno	:	4,140.08m.s.n.m
Fundación	:	3.00m Alcance de suelo de fundación
NAMO	:	4,153.00m.s.n.m
NAME	:	4153. 5m.s.n.m
Línea de excavación máxima	:	4,137.08m.s.n.m
Fetch(km)	:	0.220km

5.13.1. BORDE LIBRE

5.13.1.1. ALTURA DE LA OLA POR VIENTO

De acuerdo con STEVENSON:

$$H_0 = 0.76 + 0.34(F)\frac{1}{2} - 0.26(F)\frac{1}{4} \dots (m)$$

Donde: F: es la distancia de Fetch en kilómetros

$$F = 0.22km$$

$$H_0 = 0.76 + 0.34(1.52)\frac{1}{2} - 0.26(1.52)\frac{1}{4}$$

$$H_1 = 0.74m$$

Según IRIBARREN:

$$a = 1,2\sqrt[4]{F} (m)$$

$$a = 0.82m ; H_2 = 0.82m$$

Fórmula de ANDRIANOV:

$$h_B = 0.0208W^{5/4}F^{1/3}$$

$$h_3(h_B) = 0.61m ; h_B = 0.72m$$

5.13.1.2. ALTURA DE LA OLA POR SISMO

Altura de las olas debido a los terremotos:

$$h_s = 0.50m$$



5.13.1.3. ALTURA ASENTAMIENTO PRESA

$$\Delta h = 0.0672\text{m}$$

Asumiendo asentamiento de la presa conservadoramente:

$$\Delta h = 0.30\text{m}$$

5.13.1.4. ALTURA DE SEGURIDAD PRESA

Altura de seguridad de la presa:

$$\gamma = 0.30$$

$$B_L = h_B + h_S + \Delta_h + \gamma$$

Donde:

Símbolo	Descripción
HB	Altura de la cresta de olas del viento (m)
Hs	Altura de oleaje por efecto de los sismos (m)
Δh	Asentamiento de la presa (m)
γ	Altura de seguridad de la presa (m)

Fuente: Elaboración propia a partir de criterios de diseño de presas (Novak et al., 2007).

$$BL = 1.82 \text{ m}$$

Asumimos: 2m

De acuerdo con el Bureau de Reclamación de los Estados Unidos en 1987, para represas pequeñas podemos usar también la siguiente tabla de borde libre.

Tabla 27: Altura de seguridad presa

Fetch(km)	Borde Libre	
	Normal(m)	Mínimo(m)
<1.6	1.20	0.90
1.60	1.50	1.20
4.00	1.80	1.50
8.00	2.40	1.80
16.00	3.00	2.10

Fuente: Adaptado de U.S. Bureau of Reclamation (1987).

5.13.2. GEOMETRÍA DEL DIQUE

5.13.2.1. NIVEL DE LA CORONA DEL DIQUE:

Es el nivel en la cortina donde se encuentra el coronamiento de la presa, que nunca debe ser superado por el agua.

$$\text{Nivel Corona} = \text{NAMO} + \text{BL}$$

$$\text{Nivel Corona} = 4,155.00 \text{ msnm}$$

ALTURA DEL DIQUE: (H)

$$H = \text{cota (corona)} - \text{cota (Terreno)}$$

$$H = 4,155.00 - 4,140.08 = 14.92 \text{ m}$$

$$H = 14.92 \text{ m}$$

5.13.2.2. ANCHO DE LA CORONA

a) (de acuerdo con USBR)

z: Altura de la presa en pies, medida desde el punto más bajo del cauce.

$$Ac = Z/5 + 10 \dots (\text{pies})$$

$$Ac = 19.79 \text{ pies}$$

$$Ac = 6.03 \text{ metros}$$

$$Ac = 19.19 \text{ pies} = 5.85 \text{ metros} \geq 13 \text{ pies} \dots \text{No satisface}$$

b) (Segun Norma Japoneza)

$$A_C = 3.6 \times \sqrt[3]{H} - 3$$

$$Ac = 5.86$$

c) Según ICOLD

$$Ac = 4.97 \text{ m}$$

d) Según Bureau of Reclamation

$$A_C = \frac{H}{5} + 3 \dots \text{Bureau of reclamation}$$

$$Ac = 5.984 \quad \text{Ancho de corona Asumido: 6.0}$$

5.13.2.3. TALUDES SUGERIDOS

Los taludes se definen de acuerdo con el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos, ya que el proceso de oleaje es intermitente y ocurre a alturas de impacto variables.

a) Taludes sugeridos para presas de tierra homogéneas que se asienten sobre bases firmes.

Pendientes de taludes para embalses homogéneos

Tabla 28: Pendientes de taludes para presas Homogéneas

Altura (m)	Talud	
	Aguas (Arriba)	Aguas (Abajo)
5	2.00H:1V	1.50H:1V
5 a 10	2.50H:1V	2.00H:1V
12 a 15	2.75H:1V	2.50H:1V
20 a 30	3.00H:1V	2.50H:1V

Fuente: Adaptado de U.S. Bureau of Reclamation (1987).



Dado que la altura de la presa es de 14.92 m, llegamos a la conclusión de que:

Talud Aguas Arriba:

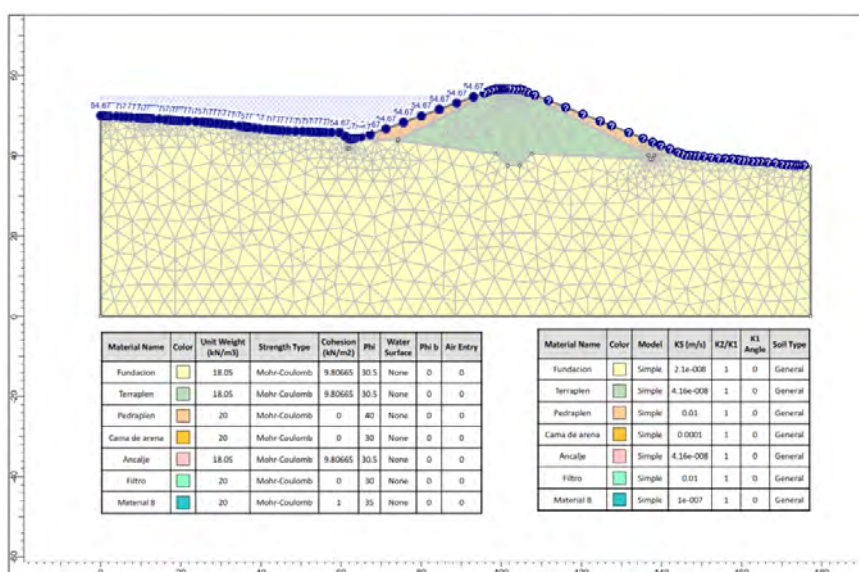
Horizontal	Vertical
2.75	1

Talud Aguas Abajo:

Horizontal	Vertical
2.5	1

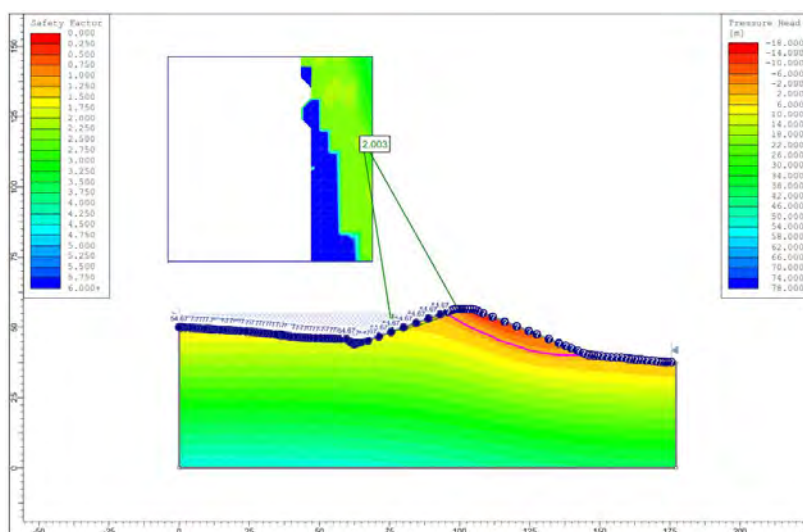
5.13.3. ESTABILIDAD DE TALUDES CON ASISTENCIA DEL SOFTWARE SLIDE

a) Modelo



Fuente: Elaboración propia

b) Talud Aguas arriba

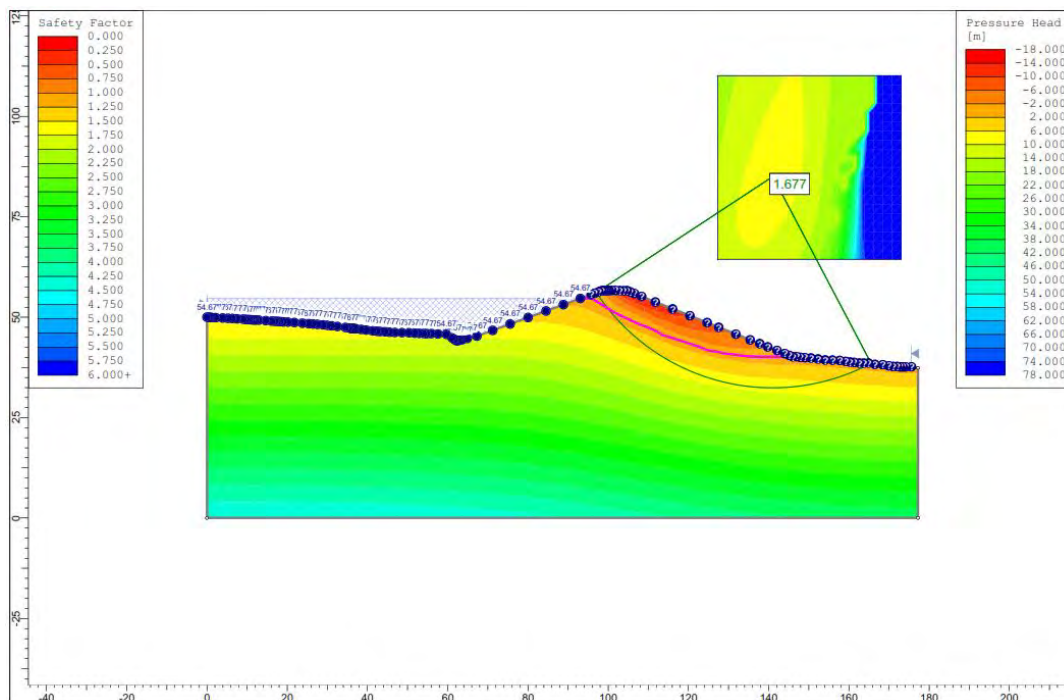


Fuente: Elaboración propia



c) Talud aguas abajo

Gráfico 17: Estabilidad estática aguas abajo



Fuente: Elaboración propia

d) Resumen

Para el modelamiento pseudo estático se ha empleado aceleraciones de 0,20 s horizontal y de 0,10s para el caso vertical

Tabla 29: Factores de seguridad mínimos según US Corps of Engineers

Condición	Talud Aguas Arriba	Talud Aguas Abajo
I) Al final de la construcción	1.3	1.3
Para presas de más de 15 m.	1.4	1.4
II) Estado de infiltración constante.	--	1.5
III) Desembalse rápido.	1.5	--
IV) Sismo sólo condiciones I y II.	1.0	1.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Análisis Estático y Seudoestático Presa Llena

ANÁLISIS PRESA LLENA									
N° ANALISIS	TALUD	PRESA		FACTOR DE SEGURIDAD(F)					
		A. corona	H. Altura	Morgenstern-Price		Spencer		Bishop	
		(m)	(m)	Estática	Seudo estático	Estática	Seudo estático	Estática	Seudo estático
1	TALUD ARRIBA	6	14.92	2.011	1.015	2.012	1.015	2.003	1.001
2	TALUD ABAJO	6	14.92	1.683	1.051	1.682	1.050	1.677	1.030

Fuente: Elaboración propia



La presa de Chaupibanda, según los parámetros de diseño que el estudio de mecánica de suelos ha determinado, es estable, tal y como se puede concluir de la tabla anterior.

Se resumen a continuación las propiedades fundamentales de la presa Chaupibanda.

Bordo Libre	: 2,00 m
Longitud de corona	: 127.113 m
Ancho de la corona	: 6 m
Aguas arriba (Talud)	: 1 vert. 2 horiz.
Aguas abajo (Talud)	: 1 vert. 2,75 horiz.
Cota de la corona	: 4155.00msnm
Terreno desbrozado (Cota de fundación)	: 4,140.08 msnm
Presa (Altura total)	: 14.92 m
Base mayor (Ancho)	: 69,45 m
Geomembrana (Longitud del delantal)	: 10.00 m
NAMO (Cota de embalse)	: 4153.00msnm
NAME (Cota de embalse)	: 4153.13msnm
Embalse (Volumen)	: 69,567m ³
Descarga normal para uso (Caudal)	: 21 l/s
Cuerpo de la presa (Material)	: GC, SM, SC GC
Impermeabilización aguas arriba (Tratamiento)	: Geomembrana (delantal)
Talud aguas arriba (Protección)	: Enrocado + pedraplén
Talud aguas abajo (Tratamiento)	: Enrocado (piedra)
Tratamiento de la corona	: Imprimado con asfalto RC-250.
Aliviadero (Capacidad)	: 0,392 m ³ /s
Descarga operación (Tubería)	: 01 Tuberías Acero Shedule 40 de 160mm.
Tipo de tubería a utilizar	: TUBO ACERO SCH-40 S/C A- 53 /A-106/API 5L GR-B X 6 MT. 6"

Válvulas de control y desagüe de tipo mariposa: 6 pulg.

La Geología en este tipo de estudio no es un estudio aislado, es la base de la seguridad estructural del proyecto se aplica como:

Modelado estructural-geológico: Determinamos el lugar preciso del eje de la presa en donde las laderas sean estables y cerradas.

Evaluación de permeabilidad in situ: La cuantificación del nivel de filtración bajo el vaso y el dique realizamos a través de los ensayos Lefranc (en suelo) o Lugeon (en roca).



Mapeo de peligros geológicos: Establecemos si las laderas del vaso de almacenamiento tienden a sufrir deslizamientos que disminuyan la capacidad del embalse o causen olas por impacto.

Los datos que ofrecemos para el diseño de la mencionada obra son resultado de nuestro trabajo como memoristas/tesistas, así como del trabajo de campo (cartografiado geológico detallado, levantamiento de estaciones geomecánicas, muestreo de rocas y suelos), los ensayos efectuados en el campo, el análisis de los ensayos de laboratorio y la elaboración de información hidrológica mediante software especializado. Todo lo anterior es una aportación directa y novedosa del equipo de investigación para la presa Chaupibanda.

5.14. OBRA DE TOMA

Las obras de toma son un componente integral de la colección de obras hidráulicas que suelen construirse. Su diseño y explotación adecuados son fundamentales para lograr el objetivo final de la obra de toma: es decir, utilizar el agua embalsada con los parámetros y garantías necesarios.

La función primordial de una obra de toma es posibilitar y controlar la extracción del agua que se acumula en la presa, cuando sea necesario y en la cantidad requerida.

Las obras de toma deben ser capaces de proporcionar agua para riego, la cual depende de las necesidades específicas de las zonas de riego. En el caso de una presa reguladora, es posible liberar gradualmente las contribuciones; para ello se necesita un medidor del caudal que garantice el funcionamiento eficaz de la presa.

5.15. TUBERÍA DE OPERACIÓN

Para el diseño de la tubería de operación se tiene el siguiente proceso de diseño.

a) Datos

Q	0.021	m ³ /s	
f	1.2		
Q	0.0252	m ³ /s	Caudal de diseño
L	79.12	m	Longitud de toma
n	0.012		Coefficiente de rugosidad de la tubería
%	100	%	Carga que se puede disipar
Ccap.	4,142.72	msnm	
NAMO	4,153.00	msnm	
H	10.28	m	Carga de diseño

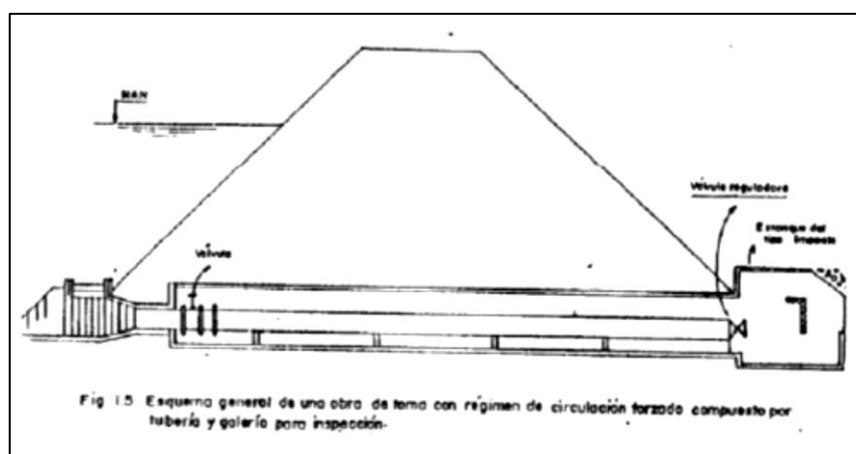
b) Rugosidad Manning

Tabla 31: Coeficiente Manning Para tuberías

Tipo de tubo	n
Tubería de acero soldado	0,012
Tubería de polietileno PE	0,009
Tubería de PVC	0,009
Tubería de Uralita	0,011
Tubería de hierro dúctil	0,015
Tubería de hierro fundido	0,014
Tubería de duelas de madera creosotadas	0,012
Tubería de hormigón colado in situ (encofrado metálico)	0,014

Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Tipo de Toma de fondo



Fuente: Elaboración propia

c) Dimensionamiento Inicial

$$R = \sqrt[4]{\frac{Q^2}{158H_T} \left(0,077 + \frac{n^2 L}{R^{4/3}} \right)}$$

R= 0.03 m

D=4R

D 0.11 m

D(calculado) 110 mm

D (comercial asumido) 160 mm

d) Cálculo de Perdidas y Ajuste de D

Pérdidas en una sección recta

$$h_f = \frac{n^2 L}{R^{4/3}} V^2$$

V=Q/A



V 1.25 m/s

hf 2.161 m

Luego H remanente= 8.12 m

Perdidas en la Válvula

$$h_z = K_z \frac{V_z^2}{2g}$$

Tabla 32: Coeficientes de pérdida en los controles

TIPO DE CONTROL	K _z
Compuerta sin contracción lateral ni de fondo	0,5 a 1,2
Compuerta donde las guías son las causantes de las pérdidas	0,10
Compuerta totalmente abierta	0,19
Válvula de compuerta abierta un 75%	1,15
Válvula de compuerta abierta un 50%	5,60
Válvula de compuerta abierta un 25%	24,00
Válvula de mariposa completamente abierta	0,15
Válvula cónica o de chorro hueco	1,40

Fuente: Elaboración propia

Kg 24 Coeficiente de pérdida en controles

dval 160 mm Diámetro de válvula asumido

Vg 1.25 m/s

hg 1.92 m ok!

Del resultado se aprecia que: 1.92 < 8.12

Dado que no se puede usar una válvula de 160 mm, se intenta con una de 160 mm.

H remanente: 6.20 m

Perdida de salida

$$h_v = K_v \frac{V^2}{2g}$$

Kv= 1

hv= 0.08 m

H-remanente: 6.12 m

Perdidas en la contracción

$$h_c = K_c \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

Kc= 0.1 a 0.5



$h_c = 0.02$

H-remanente: 6.10m

Perdida en la rejilla

$$h_t = K_t \frac{V_t^2}{2g}$$

$V_r = 1 \text{ m/s}$

$s = 0.03$

$b_1 = 0.1 \text{ m/s}$

$\alpha = 90^\circ$

$\beta = 2.42$

$$V_t = \frac{V_r}{1 + \frac{s}{b_1}}$$

$V_t = 0.77$

$K_t = 0.486$

$H_t = 0.015$

H-remanente: 6.09 Verificar

Se establece TUBO ACERO SCH-40 S/C A-53/A-106/API 5L GR-B X 6 MT. 6" (160 milímetros).

5.16. ALIVIADERO

Los progresos tecnológicos han promovido la edificación de grandes presas, embalses y canales. Con el tiempo, esto ha requerido la provisión de instalaciones apropiadas que posibiliten una disipada segura de la energía del agua. Una manera de lograr esta disipación es mediante los amortiguadores rápidos con un 40 % de ahogamiento.

5.16.1. CALCULO HIDRÁULICO CON HCANALES

a) Tramo 0+000 a 0+045

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:	Vertedro de Presa	Proyecto:	Chaupibanda
Tramo:	km. 0+000-0+045	Revestimiento:	$f'c=175\text{kg/cm}^2$

Datos:

Caudal (Q):	0.392	m ³ /s
Ancho de solera (b):	1.2	m
Talud (Z):	0	
Rugosidad (n):	0.016	
Pendiente (S):	0.013	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	0.1742	m	Perímetro (p):	1.5484	m
Área hidráulica (A):	0.2090	m ²	Radio hidráulico (R):	0.1350	m
Espejo de agua (T):	1.2000	m	Velocidad (v):	1.8753	m/s
Número de Froude (F):	1.4346		Energía específica (E):	0.3534	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Fuente: Elaboración propia

b) Tramo 0+000 a 0+100

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:	Canal Vertedor de Presa	Proyecto:	Chaupibanda
Tramo:	km. 0+000-0+100	Revestimiento:	$f'c=175\text{kg/cm}^2$

Datos:

Caudal (Q):	0.392	m ³ /s
Ancho de solera (b):	0.6	m
Talud (Z):	0	
Rugosidad (n):	0.016	
Pendiente (S):	0.2167	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	0.1169	m	Perímetro (p):	0.8339	m
Área hidráulica (A):	0.0702	m ²	Radio hidráulico (R):	0.0841	m
Espejo de agua (T):	0.6000	m	Velocidad (v):	5.5867	m/s
Número de Froude (F):	5.2160		Energía específica (E):	1.7077	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Fuente: Elaboración propia

c) Estimación de resalto en la poza de descarga rápida (vertedor preso)

Calculo del Resalto Hidráulico Sección Rectangular

Lugar: **Quehue-Chaupibanda** Proyecto: **Presa Yuraccasa**

Tramo: **Poza de descarga rapida**

Datos:

Caudal (Q): **0.392** m³/s

Ancho de solea (b): **1.5** m

Tirante (y): **0.12** m

tirante supercrítico

Resultados:

Tirante conjugado (y): **0.2859** m

Altura del resalto: **0.1659** m

Pérdida de energía en el resalto: **0.0333** m

Número de Froude conjugado (F): **0.5459**

Longitud del resalto (L): **0.83** m

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

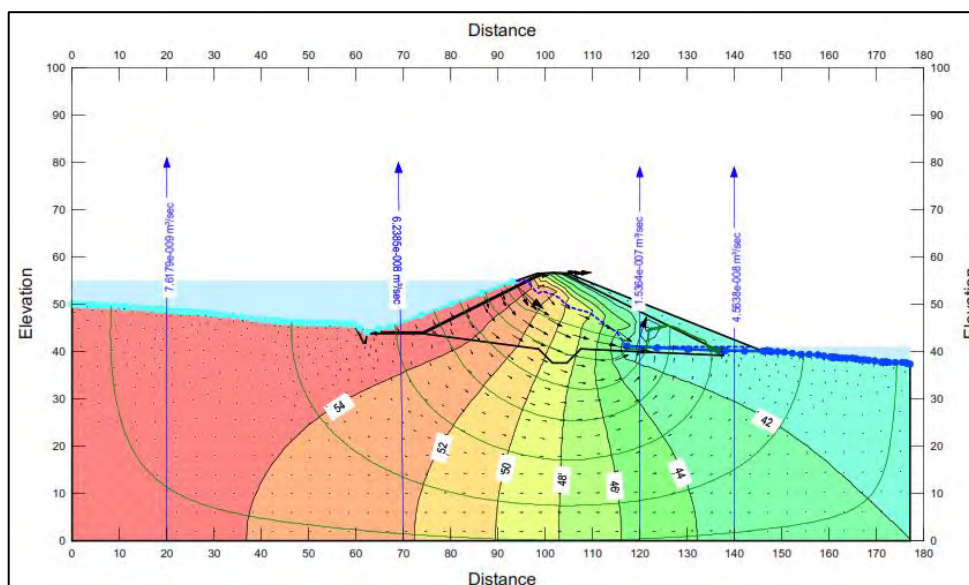
Fuente: Elaboración propia

5.17. MODELACIÓN RED DE FLUJO

5.17.1. Red de flujo presa Chaupibanda

La red de flujo es modelada en función a los parámetros geotécnicos obtenidos en campo, por la consultora Grupo Allpa, el resultado ver la siguiente figura.

Figura 13: Red de flujo Presa Chaupibanda



Fuente: Elaboración propia

Se estima una caudal unitario de $4,5638 \times 10^{-8}$ m³/s, siendo esta dentro de los parámetros aceptables para filtraciones en presa de tierra.

CAPITULO VI

GEODINÁMICA

6.1. GENERALIDADES

La exploración geofísica se llevó a cabo a través de la exploración del terreno por medio de ensayos de refracción sísmica, que permitieron calcular el grosor de los estratos mediante la interpretación de las velocidades de ondas "P". Además, se hicieron pruebas con ondas superficiales en arreglos multicanal (MASW) para conseguir un perfil de velocidades de ondas S y así determinar tanto la resistividad del terreno como su estratigrafía.

Además, se llevó a cabo un sondaje eléctrico vertical, que posibilita la obtención de los registros sobre la resistividad eléctrica en las capas que conforman el subsuelo. Se puede deducir indirectamente la geometría de los materiales subterráneos en función de los valores adquiridos de las variadas resistividades.

6.2. GEODINÁMICA INTERNA

6.2.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La región de estudio se halla en la comunidad campesina de Chaupibanda, en el distrito de Quehue, provincia de Canas, del departamento del Cusco.

El sector de trabajo se encuentra delimitado por las coordenadas UTM WGS 84(19 L):

Cuadro 1: Coordenadas proyectadas del zona de trabajo. (UTM)

COORD.	EST. (m)	NOR. (m)
N - W	224263	8412865
S - W	224263	8412719
N - E	224407	8412865
S - E	224407	8412719

Fuente: Elaboración propia

La región de trabajo está situada a una altitud media que oscila entre los 4570 y los 4580 msnm y se ha explorado con líneas de refracción sísmica y MASW distribuidas adecuadamente en función de la localización de las estructuras proyectadas.

6.2.2. SISMOLOGÍA DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Conforme a la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo-Resistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, la zona de estudio está en la zona dos; por consiguiente, el factor de zona "Z" para dicha área es 0.25g.

Imagen 11: Situación de la región de análisis en las áreas sísmicas peruanas.



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2018).

Tabla 33: Factores sísmicos del suelo según RNE E.030

Suelo	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Zona 4	0.80	1.00	1.05	1.10
Zona 3	0.80	1.00	1.15	1.20
Zona 2	0.80	1.00	1.20	1.40
Zona 1	0.80	1.00	1.60	2.00
T _P	0.3	0.4	0.6	1.0
T _L	3.0	2.5	2.0	1.6

* Se establece el tipo de perfil del suelo con base en las características de este en los primeros 30 metros hacia abajo. En relación a la profundidad de cimentación.

Fuente: Elaboración propia a partir del Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (MVCS, 2018).

De acuerdo con la geología, los ensayos de campo y de laboratorio, así como los registros de campo, el perfil de suelo que probablemente sea mayoritario en la zona situada a 30 metros por debajo de la profundidad de cimentación es "S1".

Debido a la presencia de un estrato de suelo gravoso en el terreno que se estudia, no se dispone de ensayos de compresión no confinada o penetración.

Los parámetros del sitio dependen de la zona sísmica y del tipo de perfil del suelo, y son:

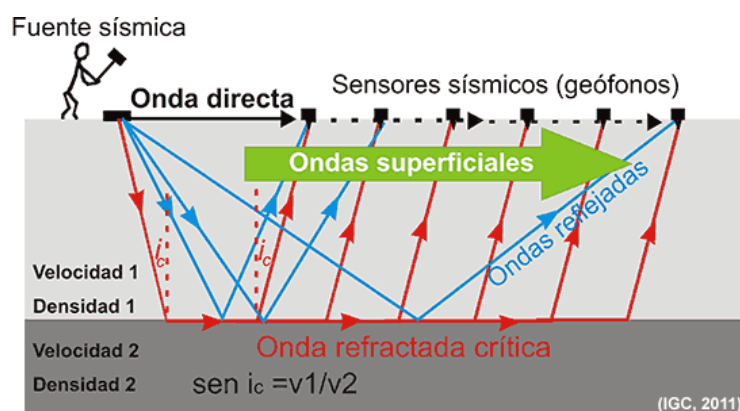
- El factor del suelo: $S=1.00$
- El periodo mínimo es $TP = 0.4$ segundos.
- El máximo periodo $TL= 2.5$ s

6.2.3. FUNDAMENTOS DE LOS ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW

6.2.3.1. FUNDAMENTO DEL ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA

La prospección sísmica se basa en la creación de ondas sísmicas (ondas P) a través de la repetida acción de golpear un plato metálico (llamado fuente) con una comba. Esto produce frentes de onda que se desplazan a distintas velocidades en el medio geológico, debido a las propiedades de la masa y/o del medio, desde la fuente de energía (el lugar donde se aplica el golpe es la fuente) hasta los sensores (geófonos). En esas interfaces, la energía se disgrega, lo que hace que una parte de ella siga su camino hacia el interior de la tierra y otra parte avance por la interfaz entre los estratos sísmicos para volver a salir a la superficie. Es en este último caso cuando es captada por instrumentos detectores (geófonos).

Figura 14: Esquema de la refracción sísmica y cómo las ondas llegan al geófono

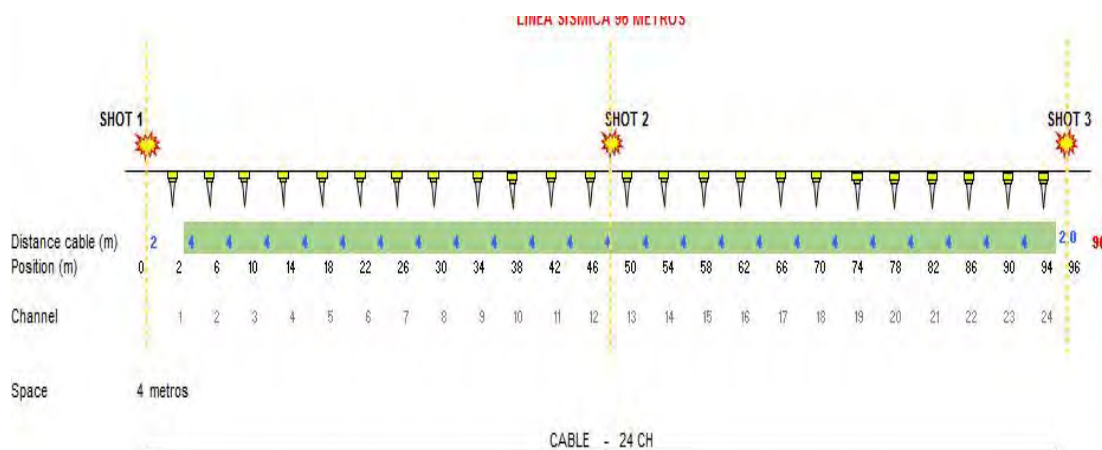


Fuente: Adaptado de IGC (2011).

El ensayo de refracción sísmica se fundamenta en que la velocidad de transmisión dentro del medio se eleva cuanto más profundo es el lugar, debido a que el suelo se compacta y su composición cambia.

Las ondas producidas por los impactos o golpes llegan a los geófonos tras un lapso de tiempo "t" y están sujetas a la distancia "d" al martillo, así como a la elasticidad y densidad del medio.

Figura 15: Tendido sísmico típico y ubicación de los puntos de impacto ("shot points")

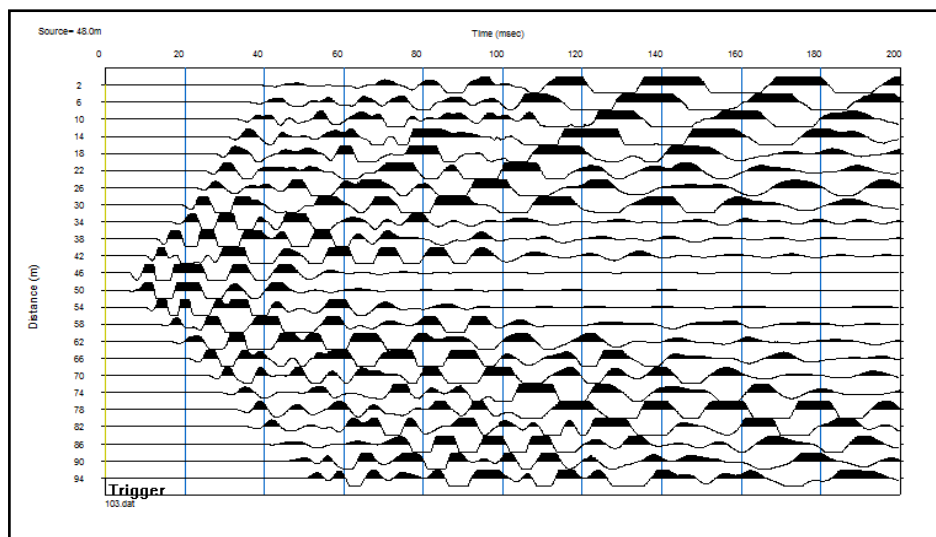


Fuente: Elaboración propia (2024), basada en la metodología de refracción sísmica.

Las ondas que llegan generan vibraciones que son captadas por los geófonos, las cuales el sismógrafo amplifica y muestra en la pantalla de una computadora portátil. El esquema revela un patrón sísmico típico y cómo se distribuyen los impactos a lo largo de la línea geofísica.

Las ondas generadas son de tipo "P" y "S", que son las más utilizadas en la investigación geotécnica. Se generan, por lo general, mediante un martillo y/o una comba; también pueden producirse con explosivos o un martillo semi-hidráulico.

Figura 16: Imagen de la llegada de las ondas; el impacto se lleva a cabo en el centro de la línea.

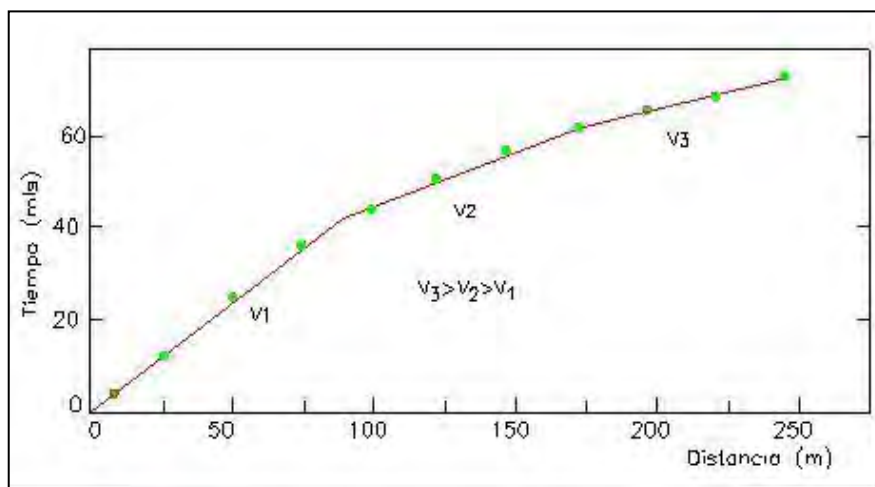


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ensayo de refracción sísmica.

Los datos se componen de las distancias y los tiempos de viaje, donde el tiempo de viaje es el período que transcurre entre el tiempo cero y la reacción del detector a la alteración. La información de tiempo-distancia (dromocrónica) se procesa para conseguir una

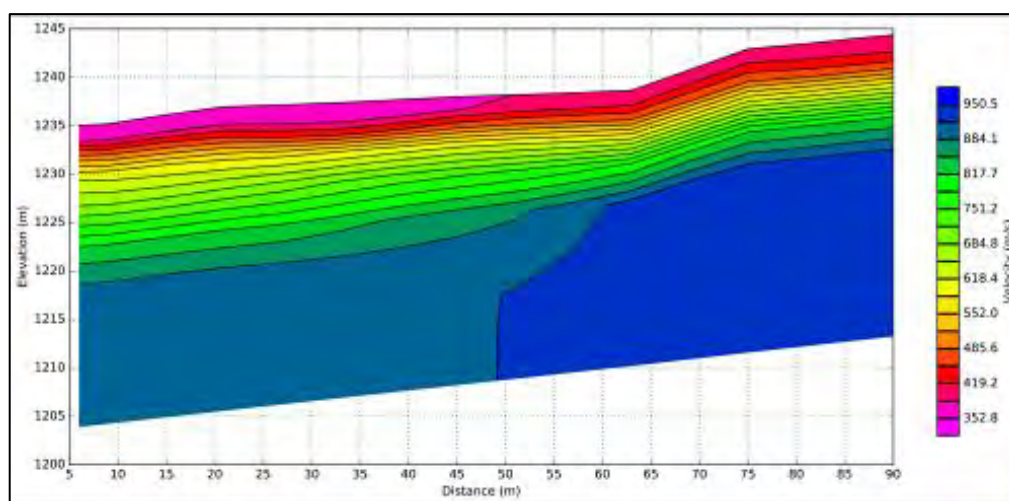
interpretación que muestre las velocidades de propagación de las ondas y la estructura de los estratos del subsuelo, como se observa en el siguiente gráfico.

Figura 17: Gráfico de tiempo y distancia, conocido como dromocrónica.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ensayo de refracción sísmica.

Figura 18: Perfil invertido de refracción sísmica 2D - ondas P



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del ensayo de refracción sísmica y procesamiento mediante inversión sísmica 2D.

6.2.3.2. FUNDAMENTO DEL ENSAYO MASW

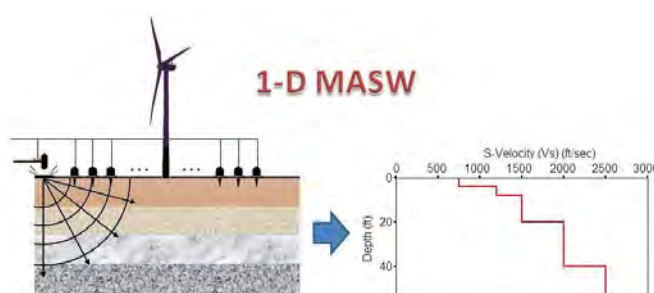
El estudio MASW (análisis de múltiples canales de ondas superficiales) posibilita la estimación del perfil de velocidad de las ondas de corte en el lugar bajo análisis, a través del registro y análisis subsiguiente de las ondas superficiales producidas por una fuente activa. De acuerdo con el International Building Code (IBC, 2019), este método tiene varios beneficios logísticos y técnicos que han hecho que se convierta en uno de los más usados para definir la clasificación sísmica del suelo. Es una técnica altamente efectiva, ya que

combina un costo operativo bajo en comparación con otras técnicas sísmicas, una alta precisión y un escaso tiempo de consumo por ensayo. Utiliza equipos que son similares a los de la refracción sísmica y tiene un procedimiento similar.

El examen de varios canales de ondas superficiales es uno de los métodos sísmicos que analizan la elasticidad del suelo con el propósito de ingeniería geotécnica; fue presentado por primera vez en Geofísica en 1999. En primer lugar, el ensayo MASW cuantifica las ondas sísmicas superficiales producidas por diversos tipos de fuentes sísmicas (como un martillo); en segundo lugar, estudia la rapidez con que se propagan las ondas superficiales; y por último, estima el cambio en la velocidad de las ondas de corte (V_s) bajo el área analizada usando un modelo patrón de velocidad de propagación de estas ondas.

La constante elástica se puede calcular con la velocidad de las ondas de corte (V_s), que tiene una relación directa con el módulo de Young. V_s es un indicador directo de la rigidez del suelo en la mayoría de las situaciones, por lo que se emplea con frecuencia para calcular la capacidad de soporte de carga. V_s puede ser definido a través de los modelos unidimensional, bidimensional y tridimensional tras un procedimiento relativamente sencillo.

Figura 19: Modelo unidimensional de las ondas de corte (MASW 1D)



Fuente: Adaptado de Park et al. (1999).

Estas técnicas se usan con bastante frecuencia en la exploración geotécnica para la cimentación de puentes, presas de tierra, presas de relaves, pads de lixiviación y estructuras con cimentación profunda (edificaciones con varios sótanos), obteniéndose buenas correlaciones con los perfiles estratigráficos del suelo en los casos donde se han realizados perforaciones diamantinas, así como con los resultados de los ensayos SPT, por lo que tiene una buena confiabilidad y constituye una alternativa muy económica para la evaluación de los parámetros elásticos del suelo de fundación.

6.2.3.3. MÉTODO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL

El método empleado es el de Sondajes Eléctricos Verticales (SEV), que consiste en la implementación de dispositivos que posibilitan conseguir datos sobre la sucesión de

horizontes geoelectricos presentes entre la superficie y una profundidad máxima de estudio, determinada por la geometría de un sistema tetraelectrónico conectado al suelo.

Así, se obtienen curvas o diagramas de cada SEV que, al ser interpretados, permiten determinar la distribución vertical de las resistividades y los espesores reales de las capas u horizontes en el punto donde se realizó la sonda. Esta información geoelectrica posibilita la correlación entre las propiedades litológicas presentes y la humedad en el subsuelo.

Se ha considerado en esta investigación que el material del subsuelo es más o menos uniforme y horizontal hacia abajo hasta la máxima profundidad de estudio, y que las lecturas instrumentales se ven afectadas únicamente por alteraciones en la calidad litológica y/o del fluido intersticial.

En el sondeo eléctrico vertical (SEV), se inserta corriente continua en el terreno a través de un par de electrodos conocidos como A y B, también llamados de emisión o de corriente. La respuesta, es decir, la diferencia de potencial generada por el campo eléctrico, se mide utilizando otro par de electrodos denominados M y N, o bien electrodo receptor o electrodo de potencial. Se puede determinar la resistividad del medio mediante:

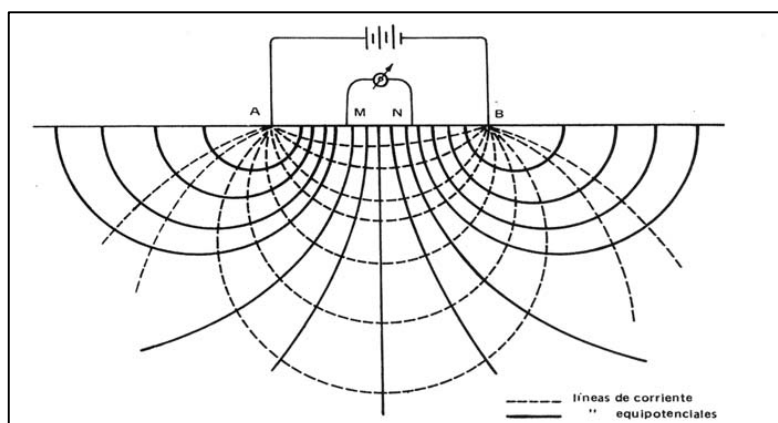
$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

Dónde:

Símbolo	Descripción
ρ	Resistividad del medio ($\Omega \cdot m$)
ΔV	Diferencia de potencial (mV), medida en los electrodos M y N
I	Intensidad de corriente (mA), medida en los electrodos A y B
K	Constante geométrica que depende del arreglo tetraelectrónico

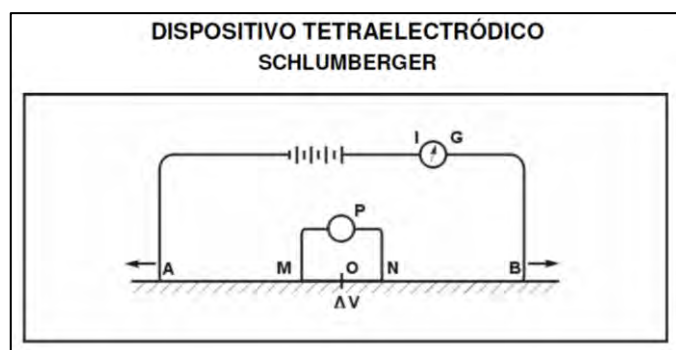
Fuente: Elaboración propia a partir de Kearey et al. (2002).

Figura 20: Sistema de obtención de datos



Fuente: Adaptado de Telford et al. (1990).

Figura 21: Método Schlumberger



Fuente: Adaptado de Telford et al. (1990).

6.2.4. PROCEDIMIENTO Y EQUIPOS DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

En el trabajo que se presenta, teniendo en cuenta la topografía y las áreas definidas, se llevaron a cabo 172.5 m de refracción sísmica repartidos en dos líneas con distancias entre geófonos de 3.5 y 4 m. Esto posibilitó examinar una profundidad de 25 a 30 m por debajo del nivel del terreno. Además, se realizaron 02 sondeos MASW con una profundidad de investigación de 30 metros y 03 sondeos eléctricos verticales.

6.2.4.1. PROCEDIMIENTO DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW

En cada ensayo de Sondajes MASW y refracción sísmica, se establece primero el eje de la línea sísmica; después, se instalan los geófonos y los cables para conectarlos al aparato que recoge datos. El espacio entre geófonos se determina en función de la profundidad de exploración necesaria y del área libre que existe en el lugar donde se trabaja. Por lo regular, la profundidad de investigación es entre un tercio y un cuarto de la longitud de la línea geofísica en superficie. El equipo está constituido por 24 geófonos, que están separados entre sí hasta un máximo de 5 m. Esto significa que tienen una longitud total máxima de 120 m. Esto es posible si la topografía lo permite y si la fuente de impacto genera una señal suficientemente fuerte.

Una comba de 20 lb se utilizó como fuente de energía para los ensayos MASW y las líneas de refracción sísmica. Se obtuvieron registros de ondas con la nitidez apropiada para las longitudes de línea realizadas gracias al uso de estos implementos.

6.2.4.2. PROCEDIMIENTO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL

Se empleó la configuración electródica de Schlumberger Simétrico, ya que es la más apropiada para este tipo de estudio, pues permite ubicar los electrodos a cada lado de la estación. La topografía plana del sector que se evalúa facilitó que los electrodos se

desplazaran rápidamente, lo cual posibilitó la homogeneidad de las condiciones operativas. En este contexto, se ha buscado un centro de despliegue y una dirección que posibiliten mantener cierto grado de horizontalidad.

Las separaciones entre las líneas de corriente AB/2 fueron:

5, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 100, 120, 150 y 200 metros.

Las separaciones de MN de 20, 10 y 5 metros.

Para el estudio actual se empleó un programa de computadora que facilita la verificación de los datos de campo y el control de calidad correspondiente (IPI2WIN). Para la inversión geofísica de la información geoelectrónica, por su parte, se utilizó el software RES1D, producido por GEOTOMO. Aunque existen varios métodos para interpretar Sondajes Eléctricos Verticales (SEV), estos fueron los elegidos.

6.2.4.3. EQUIPO DE REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW

Para la adquisición de los sismogramas se ha utilizado un sismógrafo modelo Geometrics GEODE, de última generación. Este dispositivo tiene 24 canales para registrar las ondas que llegan y una resolución de 24 bits. Además del aparato en sí, el sistema incluye 24 geófonos, cables sísmicos y cables para sincronizarse con la generación de la onda. También se suman a este equipo una laptop portátil, baterías y herramientas.

- Dispositivo Geometrics GEODE, que adquiere datos y tiene 24 canales.
- 24 geófonos con una frecuencia de 4.5 Hz.
- Un cable Trigger de 150 metros.
- Un ordenador portátil.
- Una pesa de 20 lbs.
- Un plato de metal.
- Dos baterías de 12 voltios.
- Herramientas diversas.

Figura 22: Equipos empleados



Fuente: Elaboración propia

6.2.4.4. EQUIPO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL

La instrumentación utilizada, se compone de los siguientes elementos:

- **Resistivímetro Syscal Pro**
 - Cantidad de canales: diez
 - Memoria: hasta 40,000 lecturas
 - Provisión de energía: CC de 12 voltios
 - Temperatura: de -20 °C a +70 °C
 - Tamaño: 31 cm x 23 cm x 36 cm
 - Peso: 13 kilogramos
 - Impedancia: 100 MΩ.
 - Pulsos de duración: 0.2 s, 0.5 s, 1 s, 2 s, 4 s, 8 s
 - Corriente máxima: 2.5 amperios
 - Potencia máxima: 250 W de corriente continua a corriente continua.

Figura 23: Resistivímetro Syscal Pro, de 10 canales



Fuente: Elaboración propia

- 15 electrodos no polarizables
- Dos rollos de cables, cada uno con una longitud de 50 metros, para medir la diferencia de potencial.
- Dos bobinas de cable con una longitud de 200 metros cada una para medir la corriente eléctrica.
- Tres combas de cinco libras



- Un rollo de 250 metros de cable plomo para determinar el potencial de ocho salidas.
- Dos bidones de agua
- 3 emisoras de radio
- Batería externa de 12 voltios
- Multímetro de tipo digital
- Caja de herramientas
- GARMIN GPS

6.2.5. INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES

Las tablas 1, 2 y 3 muestran el lugar de sus coordenadas geográficas; las tablas 4 y 5 presentan la longitud de cada línea realizada según lo que la investigación requiere; y las tablas 6, 7 y 8 describen en resumen los ensayos de Refracción Sísmica, MASW y Sondajes Eléctrico Vertical. Los registros de ondas sísmicas de los ensayos de refracción, las dromocrónicas y los perfiles de cada línea se presentan en el Anexo 1.0. Los datos sobre las ondas sísmicas y la curva de dispersión del MASW están disponibles en el Anexo. Las curvas de inversión y el perfil del SEV aparecen en el Anexo. Asimismo, los paneles de fotos de todos los estudios se encuentran en el Anexo.

6.2.5.1. INTERPRETACIÓN - REFRACCIÓN SÍSMICA

1. PERFIL SÍSMICO LS- 01

La línea sísmica LS-01 de 92 metros de largo, que se ha demostrado que contiene cuatro estratos sísmicos, compone este perfil.

El primer estrato tiene valores de velocidad de las ondas P (V_p) que oscilan entre 0 m/s y 700 m/s, y un grosor cambiante que varía entre 0.5 m y 3.0 m. Estratigráficamente, se compone de un suelo granular rígido.

El segundo estrato tiene un grosor que varía entre 2.0 y 3.9 m y presenta velocidades de propagación de las ondas P (V_p) que oscilan entre los 700 metros por segundo y los 1500 metros por segundo. Estas velocidades estarían relacionadas, en términos de estratigrafía, con un terreno granular que va desde denso a muy denso.

La velocidad de propagación de las ondas P (V_p) en el tercer estrato oscila entre 1500 m/s y 3000 m/s, con un grosor que puede variar desde 3.8 metros hasta 11.1 metros. Estas velocidades se asociarían, en términos estratigráficos, a un terreno granular de gran densidad en el que la roca está poco alterada. La velocidad de propagación de las ondas P (V_p) en el cuarto estrato oscila entre 3000 m/s y 5000 m/s, con un espesor que varía de



12.9 a 20.8 metros. Estas velocidades corresponderían, a nivel estratigráfico, a roca poco alterada hasta roca muy dura.

2. PERFIL SÍSMICO LS- 02

El perfil está formado por la línea sísmica LS-02, con una longitud de 80.5 metros, que presenta cuatro estratos sísmicos.

El primer estrato tiene un espesor que varía entre 1,0 m y 2,8 m y valores de velocidad de ondas P (V_p) que oscilan entre 0 m/s y 700 m/s. Estratigráficamente, se compone de un suelo granular rígido.

Las velocidades de propagación de las ondas P (V_p) en el segundo estrato van desde 700 m/s hasta 1500 m/s, y su grosor oscila entre 2.2 m y 3.9 m. Estas velocidades estarían relacionadas, en términos de estratigrafía, con un terreno granular que va desde denso a muy denso.

La velocidad de propagación de las ondas P (V_p) en el tercer estrato varía entre 1500 m/s y 3000 m/s, con un espesor fluctuante entre 6.4 m y 11.7 m. Estas velocidades se asociarían, en términos estratigráficos, a un terreno granular de gran densidad en el que la roca está poco alterada.

El cuarto estrato tiene un espesor que varía entre 8.5 y 13.9 metros, y las velocidades de propagación de las ondas P (V_p) oscilan entre 3000 y 5000 m/s. Estas velocidades corresponderían, a nivel estratigráfico, a roca poco alterada hasta roca muy dura.

6.2.5.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - SONDAJES MASW

Los anexos incluyen los registros de las ondas sísmicas y las curvas de dispersión correspondientes a las pruebas de ondas MASW.

Para analizar los modelos unidimensionales de velocidades de ondas cortas de los ensayos MASW, se emplearon estos datos. Los resultados se encuentran en los anexos y se describen a continuación.

1. Sondaje MASW- 1

Este sondeo es del ensayo MASW-1, cuyo tamaño es de 92 metros. Este ensayo produce una encuesta de velocidades de ondas S con resultados fiables hasta 30 m. de profundidad en el punto central de la línea, lo que revela la existencia de un estrato sísmico.

La primera capa tiene una velocidad de propagación de ondas S (V_s) que oscila entre 923 m/s y 976 m/s, llegando a una profundidad de 30.0 m. Estratigráficamente, está compuesto de un suelo granular denso.

2. Sondaje MASW- 2

Este sondeo se refiere al ensayo MASW-2, que tiene una longitud de 80.5 metros. Este ensayo produce un sondeo de las velocidades de las ondas S, cuyos hallazgos son fiables hasta alcanzar una profundidad de 30 metros en la ubicación central de la línea. Este revela que existen dos estratos sísmicos.

La velocidad de propagación de ondas S (V_s) en el primer estrato oscila entre 854 m/s y 701 m/s, llegando a una profundidad de 26.8 m. Estratigráficamente, está compuesto de un suelo granular denso.

Un espesor de 3.2 m y una profundidad de 30 m se observan en el segundo estrato, que tiene un valor de velocidad de onda S (V_s) de 695 metros por segundo. Estas velocidades se asociarían con un suelo granular, de denso a denso.

6.2.5.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - SONDAJES ELÉCTRICO VERTICAL

Cuadro 2: Resultados de las sondas eléctricas verticales

Nº	Sondajes Eléctricos Verticales	HORIZONTES O CAPAS			
		R1 (Ohm-m)	R2 (Ohm-m)	R3 (Ohm-m)	Espesor Total (m)
		E1 (m)	E2 (m)	E3 (m)	
1	SEV-01	31.4	10	367	60.0
		2.9	17		
2	SEV-02	21.2	12.3	480	60.0
		4.0	14		
3	SEV-03	14.7	7.7	530	60.0
		2.6	12.4		

Fuente: Elaboración propia

Símbolo	Descripción
R1	Valor de resistividad expresada en ohm·m
E1	Espesor de cada horizonte o capa expresado en metros
SEV-01	Sondeo Eléctrico Vertical número uno

Fuente: Elaboración propia a partir de Telford et al. (1990).

1. Sección Geo eléctrica 01, 02 y 03

Horizonte H1: Tiene resistividad eléctrica que oscila entre 14.7 y 31.4 ohmios-metro, así como espesores que varían de 2.6 a 4.0 metros. Este horizonte probablemente esté formado por depósitos volcánicos sedimentarios de granos de tamaño variable, desde medio hasta fino, por la existencia de una cubierta vegetal en la superficie y también por áreas más pequeñas como los bofedales con bajo contenido de fluidos.

Horizonte H2: Tiene un rango de resistividad eléctrica entre 7.7 y 12.3 ohmios por metro y un espesor que oscila entre los 12.4 y los 17.0 metros. Este horizonte probablemente estaría compuesto por material granular de distinto tamaño de grano, desde medio hasta fino con contenido de humedad, el cual hace que el valor de resistividad sea menor, posiblemente en este horizonte se pueda generar un nivel freático en épocas de avenidas o precipitaciones mayores.

Horizonte H3: Muestra un espesor indeterminado y resistividad eléctrica de entre 367 y 530 ohm-m. Este horizonte, a causa de su valor de resistividad, podría considerarse como un posible material impermeable con bajo contenido de humedad o como una formación rocosa con un nivel elevado de fracturación.

6.2.6. CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO

6.2.6.1. CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO SEGÚN NORMA IBC

La velocidad promedio de las ondas de corte (V_{s30}), según el International Building Code, se ha calculado con el fin de caracterizar sísmicamente la clase de suelo en función de los perfiles unidimensionales de ondas de corte y sus respectivas velocidades promedio hasta 30 metros de profundidad (V_{s30}). Esto se realizó a partir de los sondeos MASW que se llevaron a cabo en la zona estudiada. Según esta normativa, los suelos se dividen en seis clases, como se muestra en el Cuadro 2. Esta categorización se ha establecido tomando como base la velocidad promedio de las ondas de corte en un estrato de 30 m de profundidad, calculada con la relación siguiente:

$$\bar{V}_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Símbolo	Descripción
d_i	Espesor de cada capa entre 0.0 m y 30.0 m
V_{si}	Velocidad de ondas de corte de cada capa (m/s)

Fuente: Elaboración propia a partir de criterios de clasificación sísmica del subsuelo (ASCE, 2016).

Cuadro 3: Clasificación del sitio.

Tipo de Suelo	denominación del suelo	Velocidad de ondas de corte $V_{s30}(m/s)^*$	Resistencia a la penetración Estandar SPT (N) [*]
A	Roca muy dura	$V_s > 1500$	N / A
B	Roca o suelo muy rígido	$760 < V_s < 1500$	N / A
C	Suelo muy denso o roca blanda	$360 < V_s < 760$	$N > 50$
D	Suelo rígido	$180 < V_s < 360$	$15 \leq N \leq 50$
E	Suelo blando	$V_s < 180$	$N < 15$

$V_{s30}(m/s)^*$: Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

N^{*}: Numero de golpes

Fuente: Adaptado del International Building Code (International Code Council [ICC], 2018).

Los resultados indican que la conducta elástica del suelo en la zona de estudio de las perforaciones MASW es representativa del suelo Tipo B, cuyas velocidades medias de ondas de corte V_{s30} oscilan entre 772.4 m/s y 919.7 m/s. En el Cuadro siguiente se pueden observar los valores precisos de este cálculo.

Cuadro 4: Velocidades medias de las ondas de corte a una profundidad de 30 metros (30)

Sondaje	VS30	Tipo de suelo	Nombre del Tipo de suelo
			(IBC)
MASW- 1	919.7	B	Roca o suelo muy rígido
MASW- 2	772.4	B	Roca o suelo muy rígido

Fuente: Elaboración propia

6.2.6.2. CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO SEGÚN NORMA TÉCNICA E 030 2019

Para el diseño sísmico estructural, según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente (SENCICO, 2019), se entiende que los terrenos de la zona en estudio pertenecen al tipo de suelos S1.

Para el suelo S1, el periodo predominante es $TP(s) = 0.4s$. y un $TL(s)$ de 2.5 segundos. Ya que el proyecto está situado en C. de Chaupibanda, distrito de Quehue, provincia de Canas y departamento del Cusco, correspondiente a la Zona Sísmica 2, se le asigna un factor de zona $Z=0.25$ y un factor de amplificación sísmica $S=1.00$.

La clasificación de los tipos de suelos según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente (SENCICO, 2019) es visible en el cuadro N° 5.

Cuadro 5: Categorización del sitio.

Clasificación Sísmica NTP E- 030 - 2019		
Tipo de suelo	Vs30(m/s)*	Denominación
S0	Vs > 1500	Roca dura
S1	500 < Vs < 1500	Suelo muy rígido
S2	180 < Vs < 500	Suelo intermedio
S3	Vs < 180	Suelo blando

Fuente: Adaptado del Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2019).

Si se tiene en cuenta el impacto de la parte vertical del movimiento sísmico, según la norma de Diseño Sismorresistente E-030 (SENCICO 2019), se debe calcular entre un medio y dos tercios del valor máximo de aceleración horizontal de diseño (PGA).

Según la Norma E-030, los hallazgos indican que el comportamiento elástico del terreno en la zona de estudio de las sondas MASW se asocia a suelos de tipo S1 (suelos muy rígidos), con velocidades promedio de ondas cortantes Vs30 que varían entre 772.4 m/s y 919.7 m/s. En el Cuadro siguiente se pueden observar los valores precisos de este cálculo.

Cuadro 6: Velocidades medias de las ondas de corte a una profundidad de 30 m (30)

Sondaje	Vs30	Tipo de suelo (E.030, 2016)	Nombre del Tipo de suelo
			(E.030, 2019)
MASW- 1	919.7	S ₁	Suelo muy rígido
MASW- 2	772.4	S ₁	Suelo muy rígido

Fuente: Elaboración propia

6.2.7. PARÁMETROS ELÁSTICOS

La velocidad de las ondas S y P se expresa como una ecuación de movimiento en la teoría de elasticidad de las ondas sísmicas (Kramer, 1996), para un cuerpo elástico isotrópico, del modo siguiente:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}, \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Símbolo	Descripción
Vp	Velocidad de ondas de compresión (m/s)
Vs	Velocidad de ondas de corte (m/s)
λ	Constante de Lamé
μ	Rigidez del medio (módulo de corte)
ρ	Densidad del medio

Fuente: Elaboración propia a partir de Sheriff y Geldart (1995).



Los siguientes parámetros dinámicos se pueden determinar al relacionar las velocidades de las ondas de compresión y de corte con la densidad de los materiales a través de los cuales se propagan:

Relación - Poisson (ν)

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

Módulo - Young (E_d)

$$E_d = 2(1 + \nu)G$$

Módulo - Corte ($G_{\max}$)

$$G_{\max} = \rho V_s^2$$

El módulo G de corte del suelo es variable y disminuye, sobre todo, a medida que aumentan las deformaciones de corte en el suelo. La velocidad de propagación de las Ondas Cortantes (V_s), que se pueden medir in situ a través de pruebas geofísicas, permite calcular el módulo de corte máximo ($G_{\max}$) relacionado con deformaciones mínimas. Los valores de $G_{\max}$ (o $E_{\max}$) factorizados han demostrado ser útiles para valorar los asentamientos en las cimentaciones.

Los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas para determinar el módulo de corte de suelos gravosos muestran que, con una deformación angular $\gamma = 0.1\%$, el módulo de corte oscila entre el 10% y el 20% del valor máximo del módulo de corte, o sea $G = 0.1-0.2 G_{\max}$.

En este estudio de caso, los ensayos geofísicos brindaron la velocidad de las ondas P (V_p) y las de corte (V_s) del perfil estratigráfico. Además, se asumieron valores típicos para calcular la densidad de los materiales. Los datos de densidad utilizados para establecer los parámetros elásticos se basaron en la información geológica del área de estudio. Esto permitió obtener, utilizando las fórmulas anteriormente mencionadas, los parámetros elásticos de los materiales que componen la zona estudiada. A continuación se presentan estos resultados en las tablas siguientes.



Cuadro 7: Cálculo de parámetros elásticos (MASW-1 / LRS-01)

Suelo	Prof. (m)		Espesor del estrato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad ρ (Tn/m ³)	Relación de Poisson (μ) (Poisson)	Modulo de Corte (Gmax) (Tn/m ²)	Modulo de Young (Ed) (Tn/m ²)
	Desde	Hasta							
Suelo granular muy denso	0.0	1.1	1.1	923	670	1.80	1.56	156317.25	799377.58
Suelo granular muy denso	1.1	2.3	1.2	924	1120	1.80	-0.57	156656.15	136116.10
Suelo granular muy denso	2.3	3.7	1.4	926	1650	1.90	0.27	166075.88	421871.48
Suelo granular muy denso	3.7	5.3	1.6	929	2350	1.90	0.41	167153.71	470500.35
Suelo granular muy denso	5.3	7.0	1.7	929	2910	2.00	0.44	175951.27	507886.43
Suelo granular muy denso	7.0	8.9	1.9	923	3180	2.10	0.45	182370.12	530332.99
Suelo granular muy denso	8.9	11.0	2.1	908	3420	2.20	0.46	184895.09	540663.90
Suelo granular muy denso	11.0	13.2	2.2	894	3670	2.20	0.47	179237.43	526405.52
Suelo granular muy denso	13.2	15.6	2.4	891	3930	2.25	0.47	182082.80	536382.05
Suelo granular muy denso	15.6	18.1	2.5	880	4050	2.27	0.48	179193.48	528701.07
Suelo granular muy denso	18.1	20.9	2.8	904	4300	2.30	0.48	191600.08	565940.37
Suelo granular muy denso	20.9	23.7	2.8	925	4580	2.30	0.48	200605.25	593285.12
Suelo granular muy denso	23.7	26.8	3.1	928	4810	2.30	0.48	201908.58	597919.64

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del ensayo MASW y procesamiento geofísico.

Cuadro 8: Cálculo de parámetros elásticos (MASW-2 / LRS - 02)

Suelo	Prof. (m)		Espesor del estrato	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Densidad ρ (Tn/m ³)	Relación de Poisson (μ) (Poisson)	Modulo de Corte (Gmax) (Tn/m ²)	Modulo de Young (Ed) (Tn/m ²)
	Desde	Hasta							
Suelo granular muy denso	0.0	1.1	1.1	854	580	1.80	1.43	133819.45	649849.01
Suelo granular muy denso	1.1	2.3	1.2	857	1000	1.80	-0.88	134761.28	31567.16
Suelo granular muy denso	2.3	3.7	1.4	868	1320	1.80	0.12	138242.94	309412.25
Suelo granular muy denso	3.7	5.3	1.6	865	1810	1.80	0.35	137288.99	371230.84
Suelo granular muy denso	5.3	7.0	1.7	882	2100	1.90	0.39	150668.26	419734.40
Suelo granular muy denso	7.0	8.9	1.9	884	2520	2.00	0.43	159318.25	455598.58
Suelo granular muy denso	8.9	11.0	2.1	865	2970	2.10	0.45	160170.49	465665.89
Suelo granular muy denso	11.0	13.2	2.2	815	3350	2.10	0.47	142188.84	417621.36
Suelo granular muy denso	13.2	15.6	2.4	789	3620	2.20	0.48	139607.16	411858.70
Suelo granular muy denso	15.6	18.1	2.5	724	4010	2.20	0.48	117552.21	348695.57
Suelo granular muy denso	18.1	20.9	2.8	714	4480	2.25	0.49	116925.69	347729.70
Suelo granular denso a denso	20.9	23.7	2.8	701	4630	2.25	0.49	112706.65	335475.75

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del ensayo MASW y procesamiento geofísico.

6.3. GEODINÁMICA EXTERNA

6.3.1. GEODINÁMICA DEL ÁREA DEL VASO

La zona presenta una morfología y unas rocas volcánicas que no muestran, específicamente en el área del vaso, indicios de geodinámica externa con fenómenos activos de deslizamientos. Sin embargo, se pueden observar pequeñas cárcavas y hundimientos del suelo en el cauce, probablemente debido a la erosión hídrica y a la socavación.

Debido a que en el cauce hay erosión lateral y de fondo, es preciso examinar este aspecto para estimar la incidencia de los sedimentos y calcular el volumen muerto del embalse.

Foto 8: Vista del Hundimiento de suelo



Fuente: Elaboración propia

Foto 9: Vista de la Cárcava



Fuente: Elaboración propia

6.3.2. GEODINÁMICA DEL EJE DE LA PRESA

En la región no ocurren hundimientos, deslizamientos ni asentamientos. La existencia de roca aflorante en el lado derecho y la morfología con pendientes suaves en el izquierdo contribuyen a que la región sea estable, sin deslaves ni otros fenómenos de geodinámica externa.



El eje de la presa está constituido por formaciones de roca volcánica (tobas) y sedimentos piroclásticos, aunque en su mayoría están cubiertos por depósitos cuaternarios. Estas formaciones son escarpadas y tienen una altitud media de entre 1.5 y 3 metros con respecto al cuse.

6.3.3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Las heladas, las sequías, las granizadas y las lluvias intensas son los peligros naturales que tienen un impacto negativo más significativo en las familias incluidas en el proyecto actualmente. La probabilidad de que estos peligros se relacionen con el fenómeno de El Niño se debe a la extrema variabilidad climática que caracteriza a este fenómeno. Cada fenómeno es un evento que tiene características particulares.

Se ha determinado que El Fenómeno del Niño influye, entre otros factores, en la temperatura del aire, las precipitaciones y, por supuesto, los caudales; esto se ha demostrado a través del estudio de datos históricos. En la mayoría del país, se han observado pequeños aumentos en la temperatura del aire (de entre 0.2 y 0.5 °C). Específicamente en el área altoandina, se ha podido establecer que cuando ocurre este fenómeno, hay una tendencia importante a que la temperatura del aire baje en las primeras horas de la mañana. Esto favorece que se produzcan heladas en los altiplanos. Además, como consecuencia de las alteraciones en el régimen de lluvias debido al fenómeno de El Niño (acumulación de precipitaciones extremas durante breves periodos), la disponibilidad natural del recurso hídrico también se ve afectada, dado el efecto que esto tiene sobre los caudales de los ríos y cuerpos acuáticos que abastecen la demanda en la región.

6.3.4. ESTUDIOS Y DOCUMENTOS TÉCNICOS

La información sobre los riesgos naturales está documentada por SINPAD-INDECI. A través del SINPAD, el Sistema Nacional de Información para la Prevención y Atención de Desastres del Instituto Nacional de Defensa Civil ha registrado desde 2015 que las precipitaciones pluviales son los fenómenos naturales más intensos, seguidos por las heladas. Los datos aparecen en la tabla subsiguiente.

Tabla 34: Reporte de peligros en el área de estudio desde el 2015.

CODIGO	FECHA	AÑO	FENÓMENO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
95232	06/08/2018	2018	Precipitaciones - Nevada	Cusco	Canas	Quehue
94950	21/07/2018	2018	Precipitaciones - Nevada	Cusco	Canas	Quehue
94259	06/06/2018	2018	Helada	Cusco	Canas	Quehue
91952	11/02/2018	2018	Precipitaciones - Nevada	Cusco	Canas	Quehue
87952	27/06/2017	2017	Helada	Cusco	Canas	Quehue
84481	26/03/2017	2017	Precipitaciones - Granizo	Cusco	Canas	Quehue
83867	20/03/2017	2017	Precipitaciones - Granizo	Cusco	Canas	Quehue
85615	09/03/2017	2017	Precipitaciones - Lluvia	Cusco	Canas	Quehue



CODIGO	FECHA	AÑO	FENÓMENO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
80081	20/11/2016	2016	Sequia	Cusco	Canas	Quehue
78549	15/08/2016	2016	Helada	Cusco	Canas	Quehue
78190	31/07/2016	2016	Helada	Cusco	Canas	Quehue
77175	12/06/2016	2016	Helada	Cusco	Canas	Quehue
74832	15/01/2016	2016	Helada	Cusco	Canas	Quehue
75397	10/01/2016	2016	Precipitaciones - Lluvia	Cusco	Canas	Quehue
75889	05/01/2016	2016	Tormenta Eléctrica (Tempestad Eléctrica)	Cusco	Canas	Quehue
73518	13/10/2015	2015	Vientos Fuertes	Cusco	Canas	Quehue
73515	11/10/2015	2015	Incendio Urbano	Cusco	Canas	Quehue
73516	03/08/2015	2015	Incendio Urbano	Cusco	Canas	Quehue
71590	03/07/2015	2015	Helada	Cusco	Canas	Quehue
70553	21/02/2015	2015	Precipitaciones - Granizo	Cusco	Canas	Quehue

Fuente: SINPAD-2020

Tabla 35: Ocurrencia de los fenómenos de mayor intensidad.

FENÓMENOS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
HELADA	7	35.00%
INCENDIO URBANO	2	10.00%
PRECIPITACIONES - GRANIZO	3	15.00%
PRECIPITACIONES - LLUVIA	2	10.00%
PRECIPITACIONES - NEVADA	3	15.00%
SEQUIA	1	5.00%
TORMENTA ELECTRICA (TEMPESTAD ELECTRICA)	1	5.00%
VIENTOS FUERTES	1	5.00%
TOTAL, GENERAL	20	100.00%

Fuente: SINPAD-2019.

6.3.5. LLUVIAS INTENSAS

Es un fenómeno meteorológico de tipo hidrometeorológico que comienza con la condensación del vapor de agua presente en las nubes. Estas tienen la capacidad de provocar inundaciones, que son un riesgo natural que ocurre cuando el agua de los ríos, lagos, lagunas o mares se eleva mucho; en consecuencia, cubre o llena áreas de terreno que usualmente están secas.

La actividad agrícola y la población dependen de las lluvias estacionales. Las inundaciones a causa de las lluvias fuertes pueden ser comunes (se dan cada año en la cuenca amazónica durante la época lluviosa) y cíclicas, si suceden alternadamente en lugares concretos del territorio, en la región de Cusco. Debido a las lluvias fuertes en las provincias altas, los caudales aumentan y se desbordan en las zonas llanas, como ocurre con los ríos Vilcanota y Quispicanchis. Las condiciones que propician el surgimiento y el impacto de inundaciones son las siguientes:

El pastoreo excesivo, la deforestación y la erosión de las cuencas, provocados por prácticas agrícolas inadecuadas y por la extracción descontrolada de madera.

Cuando las zonas urbanas se instalan sobre terrazas de inundación, disminuye el espacio que existe para absorber la lluvia y la habilidad del cauce de transportar agua, lo cual

provoca que el nivel del agua suba y aumenta el peligro de inundaciones y erosión en los lechos fluviales.

Figura 24: Área de estudio propensa a inundación.



Fuente: Dirección General de Meteorología – SENAMHI

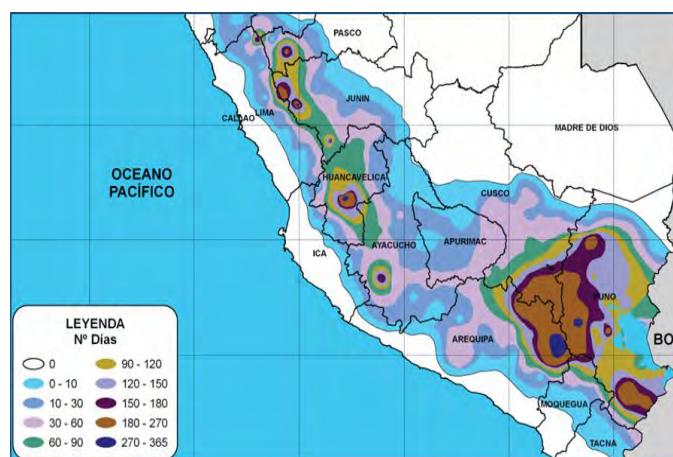
La zona de estudio está localizada en la zona donde no es propenso a inundaciones por desborde de ríos. Por lo que, se define como de peligro: Peligro Medio.

6.3.6. LAS HELADAS

Las heladas son fenómenos que se distinguen por la caída de las temperaturas ambientales a niveles inferiores a 0°C . Se presentan con más frecuencia y gravedad en el sur del Perú, en áreas alto andinas. El enfriamiento extremo de la atmósfera y la congelación del agua y la humedad ambiental perjudican a las poblaciones (enfermedades respiratorias) e impactan negativamente a las plantas, lo cual tiene un efecto negativo sobre la agricultura y la ganadería.

A lo largo del año hay dos estaciones bien definidas, una de las cuales es la época seca caracterizada por un frío intenso y heladas. Esta estación va desde mayo hasta octubre, y durante ella los cultivos a campo abierto no prosperan. Los cultivos a campo abierto florecen durante el periodo de lluvias, que va desde noviembre hasta abril y tiene un clima templado sin heladas.

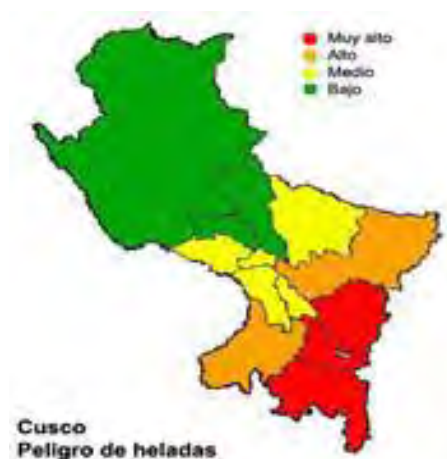
Figura 25: Frecuencia mensual de heladas.



Fuente: Dirección General de Meteorología – SENAMHI

Los mapas que se muestran indican que las heladas ocurren hasta por seis meses y son comunes en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

Figura 26: Centros poblados expuestos a heladas.



Fuente: Escenarios de Riesgos y Heladas de la Región Cusco

La distribución de la intensidad de frecuencias de heladas el mayor porcentaje del espacio ocupado presentan heladas grandes como se observa en el mapa anterior. Según el mapa de heladas de la región Cusco, las comunidades se encuentran en áreas que pueden ser afectadas por heladas y sequías cíclicas. Peligro muy elevado.

6.3.7. LA SEQUÍA

Se denomina sequía a cualquier etapa de escasez de humedad por debajo de lo normal para una región concreta, que implica una falta de agua durante un periodo extenso para cubrir las necesidades bióticas locales (agua necesaria para los humanos, animales y plantas). Esta etapa anómala de sequía prolongada, en la que hay escasez de lluvias en

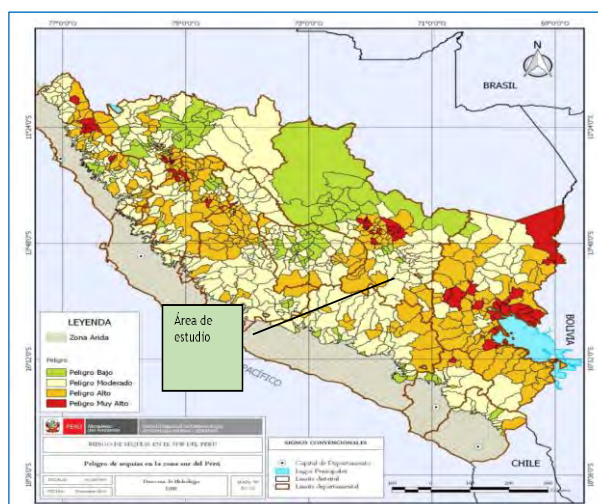
áreas que normalmente son lluviosas, provoca un severo desequilibrio hidrológico, impacta la actividad agropecuaria y la producción de energía hidroeléctrica, e incluso el suministro habitual de agua potable en las ciudades.

Las sequías, al igual que las heladas, ocurren con frecuencia e intensidad variable.

La sequía es el riesgo más significativo para la disminución de la producción, sobre todo en lo que se refiere a la ganadería. Las precipitaciones pluviales son las que determinan el desarrollo de los pastos naturales de la región. Cuando hay retrasos o interrupciones prolongadas de lluvias (más de 20 días) durante los meses lluviosos, los cultivos sufren daños y como resultado, se producen pérdidas importantes. Por otra parte, si llueve tarde, también se retrasa el crecimiento y desarrollo de los pastos naturales. Esto provoca un mayor sobrepastoreo y deterioro de la capacidad forrajera, lo que a su vez causa restricciones alimenticias que afectan principalmente a las crías animales, elevando su mortalidad. Todo esto resulta en una disminución tanto en la producción de carne como en la cantidad de leche producida por los animales, lo cual empeora aún más las condiciones económicas del pueblo.

De acuerdo con el mapa creado por el SENAMHI, la presencia de sequías en el área del proyecto es alta y se manifiesta de forma prolongada durante la época lluviosa. Además, las temporalidades del clima han sido modificadas debido al fenómeno del cambio climático.

Figura 27: Peligro de sequía en el área de estudio.



Fuente: Análisis de riesgo de sequías (SENAMHI).

De acuerdo con el mapa de sequías de la zona de Cusco y Apurímac, se determinó el promedio del riesgo de sequías por distrito y se estableció su nivel como medio. Como muestra el mapa, los distritos con mayor riesgo de sequías están en amarillo, debido a que tienen una probabilidad más alta de que ocurran eventos secos con duración y severidad

notables. Se observa que Espinar es la provincia con más distritos en riesgo elevado de sufrir sequías.

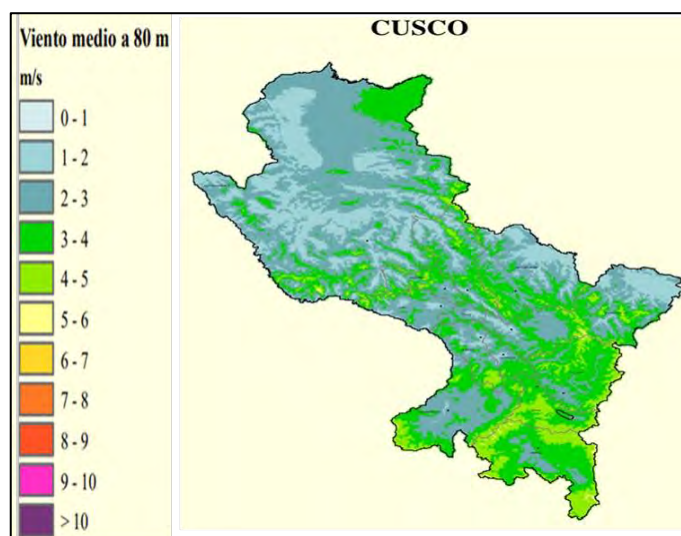
6.3.8. TORMENTA ELÉCTRICA

Es una lluvia acompañada por actividad eléctrica y, habitualmente, por viento moderado o fuerte, e, incluso, con granizo. Las tormentas pueden variar en intensidad, desde muy débiles hasta torrenciales e incluso casi secas. En cualquier caso, es posible que se den simultáneamente chubascos y tormentas secas. En otras palabras, un chubasco fuerte con tormenta tiene una pequeña zona de lluvia que puede estar rodeada por un área de mayor tamaño donde se oyen los relámpagos y truenos, pero no llueve. En el campo de estudio, se clasifica como un peligro bajo.

6.3.9. VIENTOS FUERTES

Los Vientos Fuertes tienen lugar en los meses de julio y agosto, causando que el 25% del área afectada sufra pérdidas de cosechas durante las épocas de plena producción y comienzo de floración. Estos vientos afectan significativamente los medios de vida de la población rural y se presentan con una intensidad y frecuencia moderadas en la zona estudiada.

Figura 28: Atlas eólico de la región cusco.



Fuente: Atlas eólico del Perú (Ministerio de energía y Minas).

Un primer análisis del recurso eólico en el área de estudio del distrito revela que las zonas orientales, que tienen un potencial eólico más alto, se ubican entre los 30 y 40 metros por segundo, tal como lo muestra el atlas eólico peruano.

6.3.10. INCENDIOS FORESTALES

Según las investigaciones de CENEPRED sobre la frecuencia de incendios forestales, los departamentos con más registros son: Según se ilustra en el mapa a continuación, Ayacucho, Cajamarca, Apurímac, Cusco y Puno durante el lapso de 2002 a 2017:

Figura 29: Mapa de incendios forestales frecuentes.



Fuente: CENEPRED – 2017.

La densidad de incendios en el área estudiada oscila entre 7 y 20 fuegos por kilómetro cuadrado. En consecuencia, se considera de peligro medio.

6.3.11. RIESGOS EN EL ÁREA IMPACTADA

Para llevar a cabo un análisis de peligros en el área, es necesario responder a las siguientes preguntas:

¿Ha habido antecedentes de riesgos en la zona donde se planea implementar el proyecto?
En el área del proyecto se han registrado heladas, sequías, lluvias intensas (precipitación de granizo, lluvia y nieve), vientos fuertes e incendios forestales.

¿Hay investigaciones que prevean la posible ocurrencia del proyecto en el lugar donde se planea llevarlo a cabo?

El SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) emite alertas con el objetivo de prever y mitigar desastres naturales provocados por sucesos hidrometeorológicos.

¿Es posible que ocurra algún riesgo durante la vida útil del proyecto?

Sí, ya que no se puede prever la fuerza de las lluvias y heladas que suceden anualmente a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

¿La información disponible acerca de la presencia de peligros naturales en el área es suficiente para tomar decisiones sobre la formulación y evaluación del proyecto?



Sí, ya que la visita de campo ha posibilitado identificar las opciones de ingeniería más adecuadas para disminuir la vulnerabilidad del proyecto.

Asimismo, la región del proyecto no está contemplada en la lista de poblaciones y ubicaciones que están en áreas con riesgos concretos como deslizamientos, derrumbes, etcétera. Esta relación se organiza según las franjas geográficas nacionales, conforme al informe final de la Comisión Multisectorial para la Reducción de Riesgos de Desastres. La tabla que se presenta a continuación resume el análisis previo:

Tabla 36: Formato de antecedentes de peligros en la zona de estudio.

1. ¿Existen antecedentes de peligros en la zona en la cual se pretende ejecutar el proyecto?				2. ¿Existen estudios que pronostican la probable ocurrencia de peligros en la zona bajo análisis?			
PELIGROS	SI	NO	COMENTARIO	PELIGROS	SI	NO	COMENTARIO
Inundaciones		X		Inundaciones		X	
Lluvias intensas	X		Desde el 2012 hasta el 2019 ocurrió 10 veces.	Lluvias intensas	X		
Heladas	X		Desde el 2012 hasta el 2019 ocurrió 12 veces, es la que mayor frecuencia tiene.	Heladas	X		
Sismos		X		Sismos		X	
Sequías	X		Desde el 2012 hasta el 2019 ocurrió 1 vez.	Sequías	X		
Huaycos (Aluviones)		X		Huaycos (Aluviones)		X	
Derrumbes / Deslizamientos		X		Derrumbes / Deslizamientos		X	
Tsunamis		X		Tsunamis		X	
Otros	X		Vientos Fuertes, Incendio Urbano y Tormenta Eléctrica.	Otros	X		Vientos Fuertes, Incendio Urbano y Tormenta Eléctrica.
3. ¿Existe la probabilidad de ocurrencia de algunos de los peligros señalados en las preguntas anteriores durante la vida útil del proyecto?				SI	NO	COMENTARIO	
				X			
4. ¿La información existente sobre la ocurrencia de peligros naturales en la zona es suficiente para tomar decisiones para la formulación y evaluación de proyectos?					X		

Fuente: Adaptado del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2019).

6.3.12. EVALUACIÓN DE LA ESTRATIGRAFÍA DE PELIGROS

6.3.12.1. LLUVIAS INTENSAS

Según los antecedentes, en enero, febrero y marzo hay lluvias intensas que pueden afectar la ejecución normal del proyecto y su correcto funcionamiento. Por lo tanto, se considera un peligro medio.

6.3.12.2. HELADAS

De acuerdo a los antecedentes, en el área de estudio existe las heladas tienen una periodicidad anual. Este peligro se considera como Peligro Muy Alto. Este peligro afecta en el proyecto en la implementación de las cédulas de cultivo.



6.3.12.3. SEQUIAS

La zona de estudio reporta que la sequía ocurrió una sola vez desde el año 2012 hasta la fecha. Sin embargo, de acuerdo al mapa de peligros se encuentra entre Peligro Moderado y Alto.

6.3.12.4. TORMENTAS ELÉCTRICAS

La zona de estudio reporta que ocurrió una sola vez desde el año 2012 hasta la fecha. Sin embargo, de acuerdo al mapa de peligros se encuentra fuera de peligro por lo que se considera como Peligro Bajo.

6.3.12.5. VIENTOS FUERTES

De acuerdo a los antecedentes, en el área de estudio existen vientos fuertes que tienen una periodicidad anual. Pero se considera como Peligro Bajo.

6.3.12.6. INCENDIO FORESTALES

De acuerdo a los antecedentes, en el área de estudio existen incendios forestales que tienen una periodicidad anual y según el mapa de peligros se ubica con Peligro Medio.

Tabla 37: Estratigrafía de peligros.

PELIGROS	SI	NO	FRECUEN. (A)				SEVERIDAD (B)				RESULT. (C) = (A)*(B)
			B	M	A	S.I.	B	M	A	S.I.	
INUNDACIONES											
¿Existen zonas con problemas de Inundación?		X									0
¿Existe sedimentación en el río o quebrada?		X									0
¿Cambia el flujo del río o acequia principal que estará involucrado con el proyecto?		X									0
LLUVIAS INTENSAS	X				3			2			6
DERRUMBES / DESLIZAMIENTOS											0
¿Existen procesos de erosión?		X									0
¿Existe mal drenaje de suelos?		X									0
¿Existen antecedentes de inestabilidad o fallas geológicas en las laderas?		X									0
¿Existen antecedentes de deslizamientos?		X									0
¿Existen antecedentes de derrumbes?		X									0
HELADAS	X				3			2			6
FRIAJE / NEVADA		X									0
SISMOS		X									0
SEQUIAS	X				3			2			6
HUAYCOS		X									0
TSUNAMIS		X									0
INCENDIOS URBANOS	X		1				1				2
DERRAMES TÓXICOS		X									0
VULCANISMO		X									0
INCENDIOS FORESTALES		X									0
EROSIÓN		X									0
VIENTOS FUERTES	X		1				1				1
OTROS		X									0

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de evaluación de peligros del INDECI-PNUD.

6.3.13. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es un rasgo dinámico que está vinculado con la fragilidad, la capacidad de adaptarse y el nivel de exposición. El primero se refiere a la ubicación, el segundo a la tecnología y el tercero a la habilidad de restaurar los servicios públicos.

En cuanto a las preguntas sobre el Análisis de Vulnerabilidades por Resiliencia, hay que mencionar que en los niveles local, regional y nacional opera el Sistema de Defensa Civil, que instruye y prepara técnica y organizativamente a las autoridades locales para implementar un plan de contingencia si ocurren desastres naturales. Este plan cuenta con financiamiento del gobierno local, regional y nacional. De igual manera, es deber de las autoridades sensibilizar a la población de su jurisdicción sobre los posibles riesgos y perjuicios que podrían suceder en una situación peligrosa.

La matriz de identificación de vulnerabilidad para el área de investigación del proyecto actual se presenta a continuación. En esta matriz, es posible observar cómo se ha determinado el nivel de vulnerabilidad empleando las tres variables mencionadas en la sección anterior:

Tabla 38: Análisis de vulnerabilidad.

PREGUNTAS PARA EL ANALISIS DE VULNERABILIDAD			
A. Análisis de Vulnerabilidad por Exposición (localización)	Sí	No	Comentarios
1. ¿La localización escogida para la ubicación del proyecto evita su exposición a peligros?	x		
2. Si la localización prevista para el proyecto lo expone a situaciones de peligro, ¿es posible, técnicamente, cambiar la ubicación del proyecto a una zona menos expuesta?			No, la expone
B. Análisis de Vulnerabilidad por Fragilidad (tamaño, tecnología)	Sí	No	Comentarios
1. ¿La construcción de la infraestructura sigue la normativa vigente, de acuerdo con el tipo de infraestructura de que se trate?	x		
2. ¿Los materiales de construcción consideran las características geográficas y físicas de la zona de ejecución del proyecto?	x		
3. ¿El diseño toma en cuenta las características geográficas y físicas de la zona de ejecución del proyecto?	x		
4. ¿La decisión del tamaño del proyecto considera las características geográficas y físicas de la zona de ejecución del proyecto?	x		
5. ¿La tecnología propuesta para el proyecto considera las características geográficas y físicas de la zona de ejecución del proyecto?	x		
6. ¿Las decisiones de fecha de inicio y de ejecución del proyecto considera las características geográficas y físicas de la zona de ejecución del proyecto?	x		
C. Análisis de Vulnerabilidad por Resiliencia	Sí	No	Comentarios
1. En la zona de ejecución del proyecto, ¿existen mecanismos técnicos para hacer frente a la ocurrencia de desastres?	x		
2. En la zona de ejecución del proyecto, ¿existen mecanismos financieros para hacer frente a la ocurrencia de desastres?	x		
3. En la zona de ejecución del proyecto, ¿existen mecanismos organizativos para hacer frente a la ocurrencia de desastres?	x		
4. ¿El proyecto incluye mecanismos técnicos, financieros y/u organizativos para hacer frente a la ocurrencia de desastres?	x		
5. ¿La población beneficiaria del proyecto conoce los potenciales daños que se generarían si el proyecto se ve afectado por una situación de peligro?	x		

Fuente: Elaboración propia a partir del Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED, 2014).



Para evaluar el nivel de vulnerabilidad que enfrenta el proyecto actual, es imprescindible considerar las siguientes variables:

Tabla 39: Identificación de la vulnerabilidad.

FACTOR DE VULNERABILIDAD	VARIABLE	GRADO DE VULNERABILIDAD		
		BAJO	MEDIO	ALTO
Exposición	(A) Localización del proyecto respecto de la condición de peligro	X		
	(B) Características del Terreno	X		
Fragilidad	(C) Tipo de construcción	X		
	(D) Aplicación de normas de construcción	X		
Resiliencia	(E) Actividad Económica de la zona		X	
	(F) Situación de pobreza de la zona		X	
	(G) Integración Institucional de la zona		X	
	(H) Nivel de organización de la población	X		
	(I) Conocimiento sobre la ocurrencia de desastres		X	
	(J) Actitud de la población frente a la ocurrencia de desastres		X	
	(K) Existencia de recursos financieros para respuesta ante desastres		X	

Fuente: Adaptado de Instituto Nacional de Defensa Civil y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (INDECI-PNUD).

Según el cuadro anterior, el proyecto tiene una vulnerabilidad entre baja y media. Con base en eso, se debe determinar el grado de riesgo en la zona de investigación del proyecto. Para ello, es necesario considerar que el riesgo depende de la vulnerabilidad y del peligro, lo cual se expresa en la relación siguiente:

$$Riesgo = f(Peligro, Vulnerabilidad)$$

Después de establecer el nivel de riesgo al que se enfrenta el servicio que se busca proporcionar con este proyecto, se procede a definir las medidas necesarias para disminuir o eliminar el riesgo detectado. El nivel de riesgo que enfrenta el proyecto actual se presenta a continuación:

Tabla 40: Matriz de identificación del riesgo.

Vulnerabilidad Peligros		Grado de Vulnerabilidad		
		Bajo	Medio	Alto
Grado de Peligros	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
	Medio	Bajo	Medio	Alto
	Alto	Medio	Alto	Alto

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de evaluación de riesgos del INDECI-PNUD.

Según la tabla anterior, se han establecido las siguientes medidas para disminuir el impacto del mismo sobre el proyecto:



Para evitar la época de lluvias fuertes, se aconseja que el proyecto se lleve a cabo en abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre; además, es necesario incluir medidas para disminuir los peligros en lo que respecta al diseño.

También se recomienda, elaboración de los Planos de Evacuación, Señalización de las áreas de seguridad y letreros informativos.

La mayoría de las acciones mencionadas líneas arriba tienen características de ser permanentes, en tal sentido vienen siendo gestionados por los usuarios del presente proyecto, con respecto al diseño, será parte del costo del proyecto, es por ello que se evaluará con las medidas de mitigación de riesgos.



CAPITULO VII

GEOTECNIA

7.1. GENERALIDADES

La ingeniería geológica se utiliza para analizar la construcción de las presas Chaupibanda, lo que permite entender cómo funcionan los elementos que afectan la edificación de la estructura, como las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Para ello, se llevan a cabo prospecciones directas como excavaciones, muestreos de rocas y suelos, ensayos en dichas sustancias y otros que se describen desde un punto de vista geotécnico. Estos análisis proporcionan información sobre el estado de las capas estratigráficas, litológicas y la calidad del macizo rocoso; también indican su capacidad portante y los riesgos asociados a ellas. Esta información es crucial para diseñar la presa.

7.2. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA

7.2.1. ESTUDIO PETROGRÁFICO M-01 (Calicata 01)

La tabla que aparece a continuación presenta las características de la muestra de roca:

Tabla 41: Características de la roca M-01 en C-1

Tipo de roca	Ígnea volcánica (Toba)
Coordenadas	Este: 224304.85 Norte: 8412811.36 Zona: 19 S
Origen	Ígnea
Color	Plomo Oscuro
Otros	Con presencia de algunos clastos angulosos, presenta fracturas y venilla
Composición Mineralógica Esenciales	Cuarzo 20% Plagioclasa 10% Feldespato potásico 5%.
Composición Mineralógica Accesorios	Biotita 2% Olivino 2% Piroxenos 1%
Matriz	Matriz vítrea 55%
Líticos	Si presenta 5%
Textura	Piroclástica
Alteración	Argílica Moderada

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de campo y descripción petrográfica de muestra de roca.

Figura 6.1. Ubicación referencial de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes satelitales de Google Earth (2024).

Las ubicaciones de los puntos de estudio se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 42: Localización geográfica de los lugares de estudio en Google Earth

Punto de Estudio	Descripción	Coord. UTM		Huso	Altura m.s.n.m.
		X	Y		
C-01	Eje de presa 01	224299	8412803	19 L	4107
C-02	Eje de presa 01	224350	8412763	19 L	4107
C-03	Material de cantera	224391	8412726	19 L	4116
C-04	Material de cantera	224407	8412694	19 L	4123
C-05	Eje de presa 02	224264	8412755	19 L	4109
C-06	Eje de presa 02	224286	8412724	19 L	4110
C-07	Material de cantera	224335	8412675	19 L	4118
C-08	Material de cantera	224368	8412656	19 L	4123
T-01	Talud 01 – Eje de presa 01	224310	8412792	19 L	4106

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de campo y georreferenciación UTM.

Para identificar los ensayos requeridos para caracterizar las muestras de roca y suelo, en esta investigación se aplica el Sistema Revisado de Clasificación de Suelos. Este sistema, a partir de relaciones volumétricas y la participación en peso del suelo fino, la arena y la grava, calcula qué porción o porciones de roca y suelo tienen un impacto significativo en la permeabilidad y resistencia.

El sistema también recopila relaciones empíricas para establecer relaciones volumétricas. Para los materiales granulares, esto depende de la distribución y la forma de las partículas; para los materiales finos, se basa en los límites de consistencia.

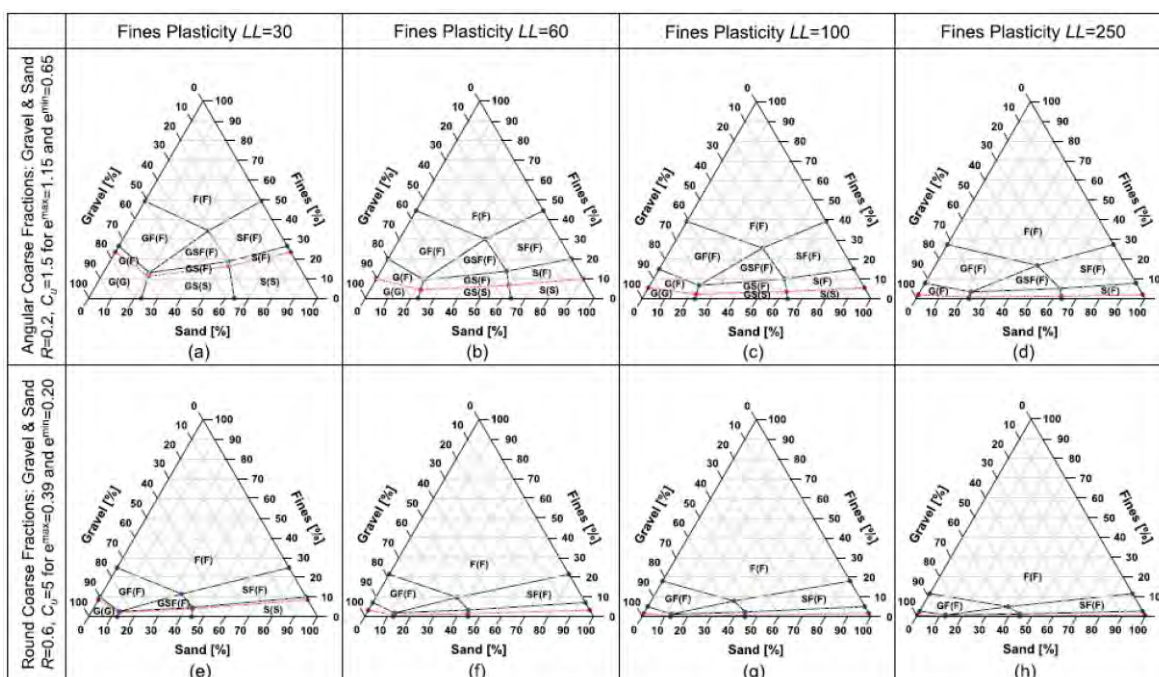


Gráfico 6.1. Clasificación RSCS – Comportamiento promedio.

Permeabilidad

A partir de la ecuación de Lugeon:

$$k = \frac{Q}{2\pi Lh} \cdot \ln \frac{L}{r}$$

Donde:

k : Permeabilidad

Q : Caudal

L : Altura de la superficie de infiltración

h : Altura de carga

r : Radio de perforación

Se obtiene la siguiente fórmula para un experimento de permeabilidad in situ con carga variable:

$$\ln \frac{h_i}{h} \cdot \ln \frac{L}{r} \cdot \frac{V}{2\pi \cdot L \cdot (h_i - h_f)} = k \cdot t$$

Donde:

h_i : Altura de carga inicial

h_f : Altura de carga final

V : Volumen infiltrado durante todo el ensayo

L : Altura de la superficie de infiltración

t : tiempo para una altura de carga dada

En función de estos parámetros se construya la ecuación:

$$y = kt + c$$

Donde:

$$y = \ln \frac{h_i}{h} \cdot \ln \frac{L}{r} \cdot \frac{V}{2\pi \cdot L \cdot (h_i - h_f)}$$

Foto 10: Muestra de mano M-01



7.2.2. ESTUDIO PETROGRÁFICO M-01 (Calicata 01)

La tabla que aparece a continuación presenta las características de la muestra de roca:

Tabla 43: Características de la roca M-02 en C2

Tipo de roca	Ígnea volcánica (Toba)
Coordenadas	Este: 224326.98 Norte: 8412784.13 Zona: 19 S
Origen	Ígnea
Color	Gris claro
Otros	Con presencia de clastos
Composición Mineralógica Esenciales	Cuarzo 30% Plagioclasa 20% Feldespato potásico 10%.
Composición Mineralógica Accesorios	Biotita 2% Olivino 2% Piroxenos 1%
Matriz	Matriz vítrea 15%
Líticos	Si presenta 20%
Textura	Piroclástica
Alteración	Argílica Moderada

Fuente: Elaboración propia a partir de observaciones de campo y descripción petrográfica de muestra de roca.

Foto 11: Muestra de mano M-02



Fuente: Elaboración propia

7.2.3. ESTUDIO PETROGRÁFICO M-02 (Calicata 02)

La tabla que aparece a continuación presenta las características de la muestra de roca:



Tabla 44: Características de la roca M-02 en C2

Tipo de roca	Ígnea volcánica (Toba)
Coordenadas	Este: 224326.98 Norte: 8412784.13 Zona: 19 S
Origen	Ígnea
Color	Gris claro
Otros	Con presencia de clastos
Composición Mineralógica Esenciales	Cuarzo 30% Plagioclasa 20% Feldespato potásico 10%.
Composición Mineralógica Accesorios	Biotita 2% Olivino 2% Piroxenos 1%
Matriz	Matriz vítrea 15%
Líticos	Si presenta 20%
Textura	Piroclástica
Alteración	Argílica Moderada

Fuente: Elaboración propia a partir de observaciones de campo y descripción petrográfica de muestra de roca.

7.3. REGISTROS Y ENSAYOS DE CAMPO

En la zona de estudio se llevó a cabo un muestreo, cuyos datos, cálculos y resultados están disponibles en los anexos.

En la tabla que sigue se resume el nivel freático, los ensayos realizados, la profundidad y las capas de la zona de estudio:

Tabla 45: Recopilación de datos de campo

Pto. de Estudio	Profund. (m)	Niv. Freático (m)	Ensay.	Estrat.
C-01	2.80	N.P.	Permeabilidad	O-GP-R
C-02	3.30	N.P.	Permeabilidad	O-GM-SM-CL-SC-R
C-03	2.70	N.P.	-	O-GM-SC-R
C-04	3.10	N.P.	-	O-GM-SM-SC-R
C-05	0.90	N.P.	-	O-R
C-06	1.30	N.P.	-	O-GM-SP
C-07	2.40	N.P.	-	O-GP-SC-SP-R
C-08	3.00	N.P.	-	O-GM-CL-SC-R

* Clasificación SUCS.

** N.P.: No presenta, C: Cimentación, R: Roca, O: Suelo orgánico y P: Piedras.

Fuente: Elaboración propia a partir de registros de campo y clasificación SUCS según ASTM D2487.

Los anexos contienen los perfiles estratigráficos de las ubicaciones en la zona estudiada, así como más información.

7.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos que se llevaron a cabo incluyen la caracterización petrográfica, el contenido de humedad natural, los límites de consistencia, la granulometría, la clasificación SUCS, Proctor modificado y el corte directo muestreo. La información, los cálculos y los resultados de estos estudios están disponibles en los anexos.

La tabla siguiente resume los hallazgos de los experimentos de laboratorio:

Tabla 46: Resumen de ensayos básicos realizados en el laboratorio

Punto de Estudio	Muestra	Granulometría (%)			Límites (%)			SUCS
		Grava	Arena	Finos	L.P.	L.L.	I.P.	
C-03	E-02 y E-03	31.2	36.2	32.5	22	41	19	SC
C-07	E-02 y E-03	20.8	45.8	33.4	17	45	28	SC

* C.H.: Contenido de Humedad, L.P.: Límite plástico, L.L.: Límite Líquido, I.P.: Índice plástico y SUCS:

Sistema unificado de clasificación de suelos.

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de ensayos de laboratorio y clasificación SUCS (ASTM D2487).

Tabla 47: Resumen de ensayos especializados de laboratorio

Punto de Estudio	Muestra	ϕp	ϕ'
Material a compactar	-	30.5	32.9

* ϕp : Ángulo de fricción pico y ϕ' : Ángulo de fricción crítica.

Fuente: Elaboración propia a partir de ensayos de laboratorio según ASTM D3080.

Tabla 48: Parámetros de permeabilidad y densidad para el material de cantera

Punto de Estudio	Muestra	G.E.	k (cm/s)	C.H.O. (%)	D.S.M. (g/cm ³)
Material a compactar	-	2.741	4.16×10^{-6}	13.95	1.841

* G.E.: Gravedad específica, k: Permeabilidad vertical, C.H.O.: Contenido de humedad óptima y D.S.M.:

Densidad seca máxima.

Fuente: Elaboración propia a partir de ensayos de laboratorio de materiales de cantera según normas ASTM.

Tabla 49: Resistencia a la compresión inconfiada en núcleos de roca

Punto de Estudio	Muestra	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (kg/cm ²)	E (Kg/cm ²)
C-01	Roca I	49.42	6857.34
C-02	Roca I I	84.59	6507.25

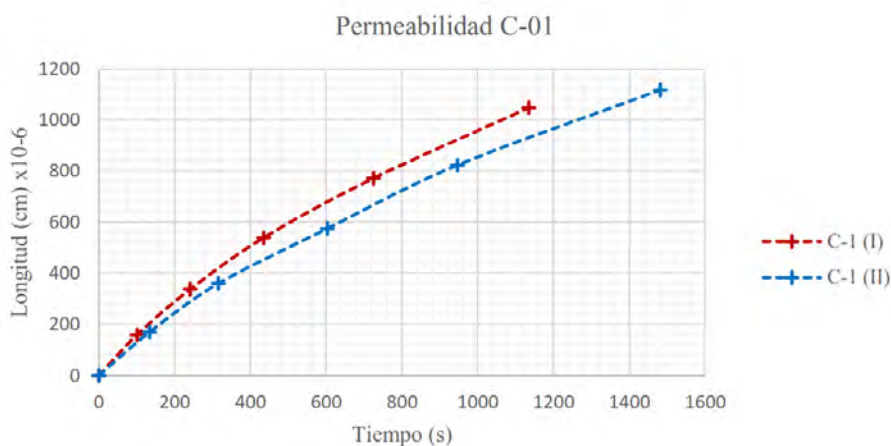
* $\sigma_{m\acute{a}x}$: Esfuerzo máximo y E: Módulo de elasticidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de ensayos de resistencia a compresión uniaxial en núcleos de roca según ASTM D7012.

7.5. PERMEABILIDAD IN SITU

Los ensayos de permeabilidad se resumen en los siguientes gráficos:

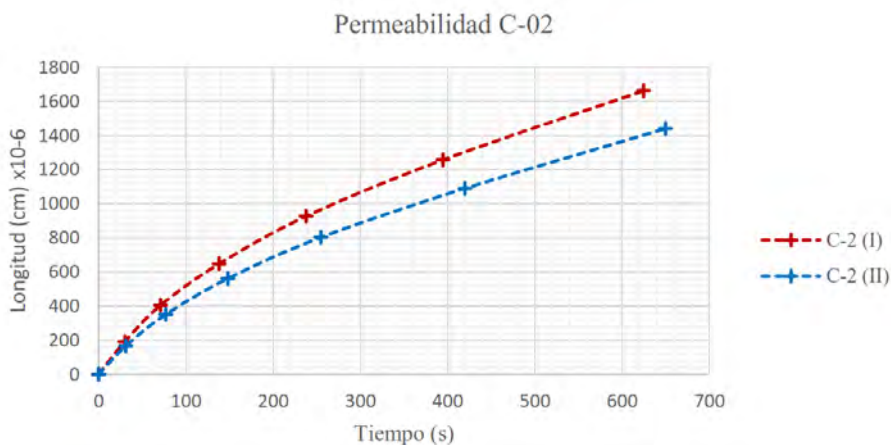
Gráfico 18: Permeabilidad in situ en la calicata C-01



Fuente: Elaboración propia

Considerando el penúltimo tramo de tres puntos en las funciones de la gráfica, el valor promedio de la permeabilidad es: 8.1×10^{-7} cm/s en la roca de la calicata C-1.

Gráfico 19: Permeabilidad in situ en la calicata C-02



Fuente: Elaboración propia

Considerando el penúltimo tramo de tres puntos en las funciones de la gráfica, el valor promedio de la permeabilidad es: 2.1×10^{-6} cm/s en la roca de la calicata C-1.

Los anexos contienen la información de campo y los detalles más específicos de las pruebas de permeabilidad.



Tabla 50: Información sobre las pruebas de permeabilidad

Presión (bar)	Tiempo (segundos)			
	C-1 (I)	C-1 (II)	C-2 (I)	C-2 (II)
2.0	0	0	0	0
1.8	101	134	30	31
1.6	241	315	71	77
1.4	435	603	138	148
1.2	725	947	238	255
1.0	1135	1482	395	420
0.8			625	650
Volumen (cm ³)	150	160	150	130

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: Parámetros para el cálculo de permeabilidad

y				t			
C-1 (I)	C-1 (II)	C-2 (I)	C-2 (II)	C-1 (I)	C-1 (II)	C-2 (I)	C-2 (II)
0	0	0	0	0	0	0	0
159	170	191	166	101	134	30	31
337	360	405	351	241	315	71	77
539	575	647	561	435	603	138	148
772	824	927	803	725	947	238	255
1048	1118	1257	1090	1135	1482	395	420
		1662	1441			625	650

Fuente: Elaboración propia

7.6. PERMEABILIDAD EN LABORATORIO

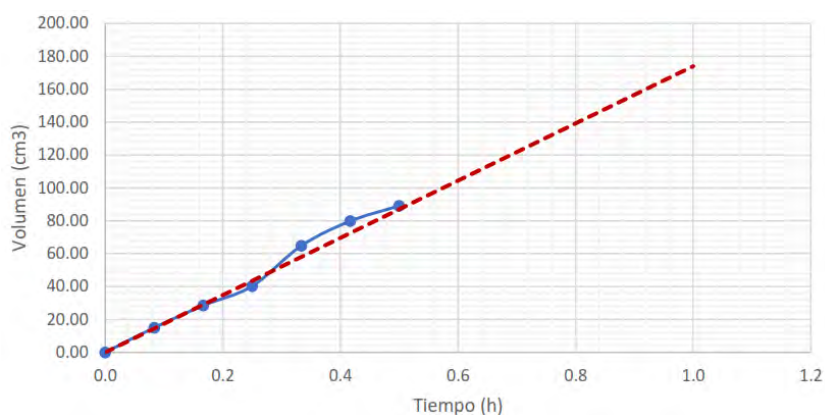
El ensayo de permeabilidad se llevó a cabo utilizando el material de cantera que será compactado en el terreno. A continuación se presentan los resultados y los cálculos:

Tabla 52: Calculo del volumen

Hora	Altura (cm)	Peso (gr)	Tiempo (h)	Volumen (cm ³)
0.00	390	0	0.0	0.00
0.08	368.5	15.01	0.1	15.01
0.17	348	28.48	0.2	28.48
0.25	331	40.28	0.3	40.28
0.33	315	64.79	0.3	64.79
0.42	300	79.8	0.4	79.80
0.50	286	89.1	0.5	89.10

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 20: Calculo del volumen



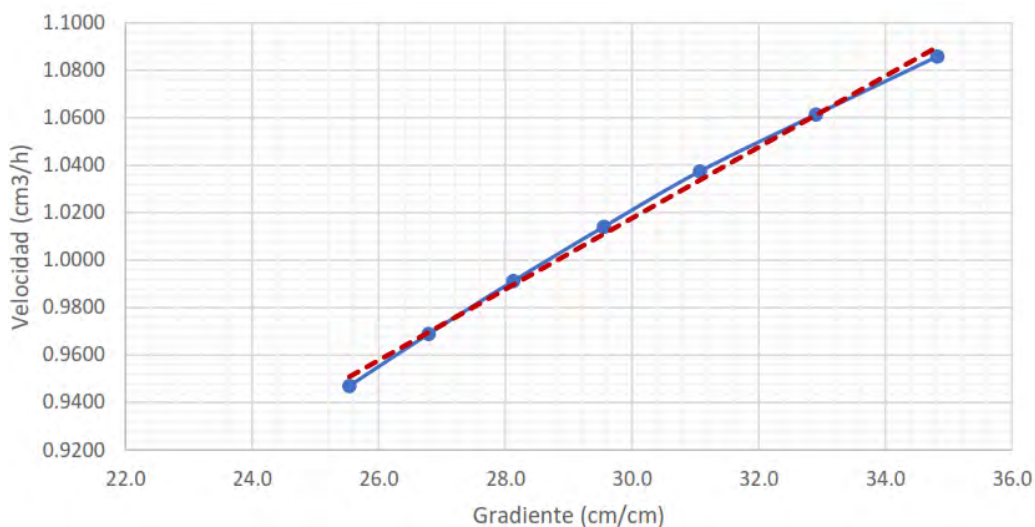
Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Calculo del Gradiente Hidráulico

Velocidad (cm/h)	Altura (cm)	Gradiente Hidráulico (cm/cm)
1.0858	390.0	34.8
1.0613	368.5	32.9
1.0374	348.0	31.1
1.0141	331.0	29.6
0.9912	315.0	28.1
0.9689	300.0	26.8
0.9470	286.0	25.5

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 21: Gradiente Hidráulico



Fuente: Elaboración propia

7.7. GEOTECNIA CIMENTACIÓN DE LA PRESA CHAUIBANDA

Según el estudio de geotecnia, los resultados se resumen en la tabla 52.

Tabla 54: Cimentación de la presa Chaupibanda

Punto de Estudio	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)	Ensayos	Estratos
C-01	2.80	N.P.	Permeabilidad	O-GP
C-02	3.30	N.P.	Permeabilidad	O-GM-SM-CL-SC
C-05	0.90	N.P.	-	O-R
C-06	1.30	N.P.	-	O-GM-SP
* Clasificación SUCS.				
** N.P.: No presenta, C: Cimentación, R: Roca, O: Suelo orgánico y P: Piedras.				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55: Resistencia a la Compresión Inconfinada en Núcleos de Roca Intacta

Punto de Estudio	Muestra	K (cm/s)
C-01	Roca I	8.1×10^{-7}
C-02	Roca II	2.1×10^{-6}

* k: permeabilidad en sitio a 0.50m.

Fuente: Elaboración propia

7.2.1. MATERIAL DE PRÉSTAMO

Para el material de préstamo se tiene los siguientes resultados que se resumen en las tablas 54, 55 y 56 del estudio geotécnico.

Tabla 56: Material de Préstamo

Punto de Estudio	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)	Ensayos	Estratos
C-03	2.70	N.P.	-	O-GM-SC-R
C-04	3.10	N.P.	-	O-GM-SM-SC-R
C-07	2.40	N.P.	-	O-GP-SC-SP-R
C-08	3.00	N.P.	-	O-GM-CL-SC-R
* Clasificación SUCS.				
** N.P.: No presenta, C: Cimentación, R: Roca, O: Suelo orgánico y P: Piedras.				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Ensayo de Corte Directo

Punto de Estudio	Muestra	ϕ_p (°)	c_p (kg/cm ²)
Material a compactar	-	30.5	0.10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58: Densidad y permeabilidad del material de cantera

Punto de Estudio	Muestra	G.E.	k (cm/s)	C.H.O. (%)	D.S.M. (g/cm ³)
Material a compactar	-	2.741	4.16 x10-6	13.95	1.841

* G.E.: Gravedad específica, k: Permeabilidad vertical, C.H.O.: Contenido de humedad óptima y D.S.M.: Densidad seca máxima.

Fuente: Elaboración propia

Se concluye a partir de los estudios que no se dispone de muchos datos para modelar la presa de manera apropiada. No obstante, la formación de la presa se establece en función del juicio de expertos, diseñándola y dimensionándola con un enfoque conservador.

7.2.2. DISEÑO PRESA DE GRAVEDAD EN TERRAPLÉN

Para el diseño de la presa Chaupibanda se empleará material de préstamo homogéneo, con condiciones fijadas en laboratorio, con finos pasantes la malla #200, mayor al 20%, Angulo de fricción mayor a 22° y una densidad máxima seca similar a 2.1g/cm³.

La presa estará compuesta por terraplén de elementos GC, SM y SC GC; pedraplén con un tamaño mínimo de 16 pulgadas; y tendrá una impermeabilización con geomembrana HDPE de 1.5 milímetros.

7.8. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE DIACLASAS, ESTACIONES GEOMECÁNICAS EG-01 A EG-05, PRESA CHAUIBANDA

Este apartado realiza el análisis de la estructura local del macizo rocoso que se encuentra en la zona donde está ubicada la presa Chaupibanda, en el distrito de Quehue, provincia de Canas, región del Cusco. El análisis tiene en cuenta cinco estaciones geomecánicas, llamadas EG-01, EG-02, EG-03, EG-04 y EG-05. Estas están localizadas en zonas representativas de la presa: los estribos, el vaso de embalse y las laderas cercanas a la zona de impacto del proyecto.

La medición de buzamiento y dirección de buzamiento de las diaclasas se empleó para llevar a cabo el análisis de discontinuidades. El objetivo era identificar las familias



estructurales predominantes y determinar cómo afectaban la estabilidad del terreno de la fundación, el desempeño geomecánico del macizo rocoso y la eventual circulación de agua a través de fracturas. Los diagramas de concentración de polos, los planos representativos, los esquemas de rosetas y la integración estructural general del área de presa se utilizan para interpretar la información estructural.

7.2.1. Estación estructural EG-01

Tabla 57. Datos de dirección de buzamiento y buzamiento en las diaclasas EG-01

Estac.	Coord. E	Coord. N	Buz.	Dir. de buz.
EG-01	224299	8412803	34°	132°
EG-01	224299	8412803	38°	128°
EG-01	224299	8412803	72°	218°
EG-01	224299	8412803	78°	212°
EG-01	224299	8412803	41°	136°
EG-01	224299	8412803	69°	221°

Fuente: Elaboración propia.

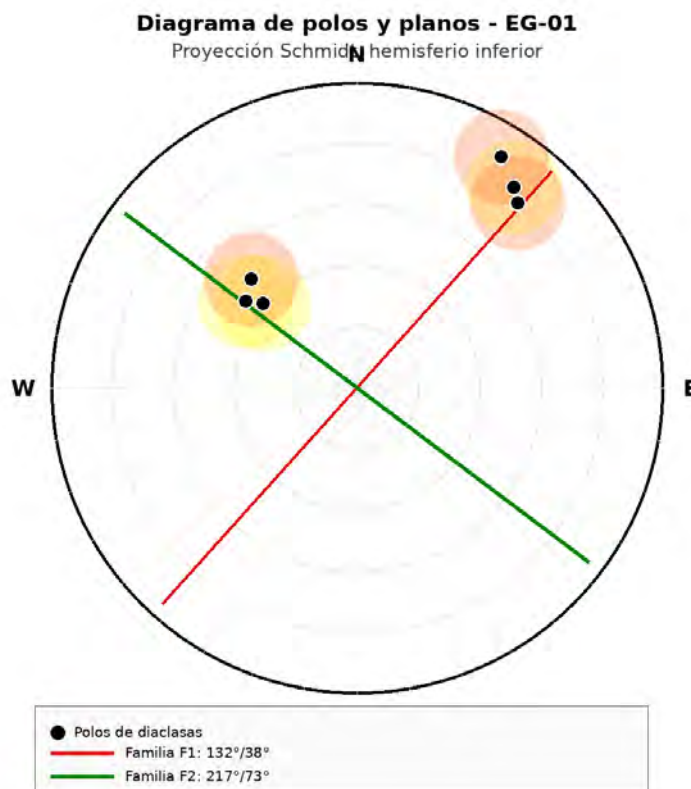
Se logró la concentración de polos, los planos representativos y el diagrama de rosetas de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso del área que se estudia, una vez que se procesaron los datos estructurales correspondientes a la estación EG-01, situada en la zona central del eje de presa Chaupibanda.

Dos familias principales de diaclasas fueron localizadas usando los datos de campo. La familia inicial muestra un buzamiento promedio de 38°, con una inclinación mayor hacia el sureste, y una dirección de buzamiento media de 132° en relación al norte. Esta familia pertenece a un sistema de discontinuidades con buzamiento moderado, que tiene el potencial de impactar la estabilidad superficial del macizo y la circulación secundaria del agua por medio de fracturas.

La segunda familia tiene un buzamiento promedio de 73° hacia el suroeste y una dirección de buzamiento media de 217° en relación al norte. Esta familia se relaciona con un sistema de discontinuidades de ángulo elevado, vinculado a fracturas más verticales al interior del macizo rocoso. Por su inclinación, tiene la posibilidad de afectar la estabilidad de bloques de roca, sobre todo en las zonas de los estribos, los taludes y los cortes que se planean para cimentar la presa.

La forma en que se distribuyen las discontinuidades sugiere que el macizo rocoso tiene un sistema estructural predominante con familias de orientación NW-SE y NE-SW. Estas pautas deben tenerse en cuenta durante el estudio geológico-geotécnico, ya que pueden afectar la calidad del área de fundación, la permeabilidad secundaria, la estabilidad del eje de presa y el posible rumbo preferido de filtraciones.

Figura 20. Diagrama de concentración de polos y planos de dirección de buzamiento de las diaclasas EG-01.



Fuente: Elaboración propia

Del análisis estereográfico de la estación EG-01 se puede deducir que las discontinuidades tienden a concentrarse en dos áreas primordiales, lo cual corrobora la existencia de dos familias significativas de diaclasas. La familia con menor buzamiento tiene una inclinación media hacia el sureste, en tanto que la de mayor buzamiento muestra una inclinación marcada hacia el suroeste. Dado que el macizo rocoso tiene un comportamiento anisotrópico, esta condición estructural señala que su permeabilidad y resistencia pueden cambiar dependiendo de la dirección de las discontinuidades.

El macizo rocoso tiene un sistema de discontinuidades con buzamiento moderado en dirección al sureste, y otro sistema con ángulo elevado que va hacia el suroeste. Esta configuración tiene una influencia en la estabilidad local de los bloques y en la permeabilidad secundaria del suelo de fundación. Desde la perspectiva geotécnica, las discontinuidades deben ser evaluadas teniendo en cuenta su persistencia, apertura, rugosidad, relleno, alteración, presencia de agua y espaciamiento.

Figura 21. Diagrama de rosetas de las diaclasas EG-01.



Fuente: Elaboración propia

La dirección preferida de las discontinuidades medidas en el campo se puede determinar a través del diagrama de rosetas de la estación EG-01. Se observa una tendencia principal vinculada a una familia de diaclasas con dirección NE-SW y una secundaria asociada con la familia NW-SE. Estas guías estructurales constituyen los sistemas de fractura más relevantes del macizo rocoso y deben tenerse en cuenta al evaluar la estabilidad del eje de presa, los estribos y el vaso de embalse.

7.2.2. Estación estructural EG-02

Tabla 58. Datos sobre dirección y buzamiento de las diaclasas EG-02

Estación	Coord. E	Coord. N	Buz.	Dir. de buz.
EG-02	224360	8412845	36°	145°
EG-02	224360	8412845	42°	152°
EG-02	224360	8412845	39°	148°
EG-02	224360	8412845	68°	235°
EG-02	224360	8412845	74°	228°
EG-02	224360	8412845	71°	241°

Fuente: Elaboración propia.

Después de procesar los datos estructurales de la estación EG-02, que se encuentra en el estribo derecho del eje de presa, se logró calcular la concentración de polos, los planos representativos y el diagrama de rosetas para las discontinuidades existentes en el macizo rocoso del área bajo estudio.

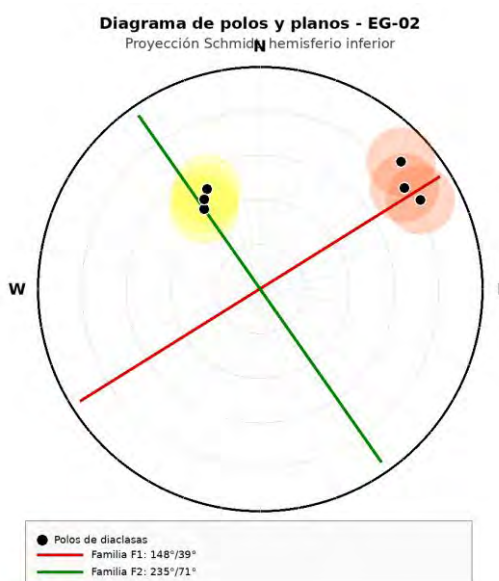
Dos familias principales de diaclasas fueron localizadas usando los datos de campo. La primera familia muestra una inclinación promedio de 39° hacia el sureste y una dirección de buzamiento media de 148° en relación al norte. Esta familia pertenece a un sistema de

discontinuidades con buzamiento moderado, que tiene el potencial de impactar la estabilidad superficial del macizo y la circulación secundaria del agua por medio de fracturas.

El segundo grupo tiene un buzamiento medio de 71° y una dirección media de buzamiento de 235° respecto al norte, inclinándose hacia el suroeste. Esta familia se relaciona con un sistema de discontinuidades de ángulo elevado, vinculado a fracturas más verticales al interior del macizo rocoso. Por su inclinación, tiene la posibilidad de afectar la estabilidad de bloques de roca, sobre todo en las zonas de los estribos, los taludes y los cortes que se planean para cimentar la presa.

La forma en que se distribuyen las discontinuidades sugiere que el macizo rocoso tiene un sistema estructural predominante con familias de orientación NW-SE y NE-SW. Estas pautas deben tenerse en cuenta durante el estudio geológico-geotécnico, ya que pueden afectar la calidad del área de fundación, la permeabilidad secundaria, la estabilidad del eje de presa y el posible rumbo preferido de filtraciones.

Figura 22. Diagrama de concentración de polos y planos de dirección de buzamiento de las diaclasas EG-02.



Fuente: Elaboración propia

El estudio estereográfico de la estación EG-02 revela que los polos de las discontinuidades tienden a concentrarse en dos áreas principales, lo cual valida la existencia de dos familias significativas de diaclasas. La familia con menor buzamiento tiene una inclinación media hacia el sureste, en tanto que la de mayor buzamiento muestra una inclinación marcada hacia el suroeste. Dado que el macizo rocoso tiene un comportamiento anisotrópico, esta

condición estructural señala que su permeabilidad y resistencia pueden cambiar dependiendo de la dirección de las discontinuidades.

Los datos muestran que las discontinuidades predominan, con una inclinación leve hacia el sureste y fracturas subverticales hacia el suroeste. Estas interrupciones deben tenerse en cuenta durante la excavación y la limpieza de la base en el estribo derecho. Desde la perspectiva geotécnica, las discontinuidades deben ser evaluadas teniendo en cuenta su persistencia, apertura, rugosidad, relleno, alteración, presencia de agua y espaciamiento.

Figura 23. Diagrama de rosetas de las diaclasas EG-02.



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de rosetas de la estación EG-02 facilita el reconocimiento de la dirección preferida de las discontinuidades que se han medido en el campo. Se observa una tendencia principal vinculada a una familia de diaclasas con dirección NE-SW y una secundaria asociada con la familia NW-SE. Estas guías estructurales constituyen los sistemas de fractura más relevantes del macizo rocoso y deben tenerse en cuenta al evaluar la estabilidad del eje de presa, los estribos y el vaso de embalse.

7.2.3. Estación estructural EG-03

Tabla 59. Datos sobre la dirección y el buzamiento de las diaclasas EG-03

Estación	Coord. E	Coord. N	Buz.	Dir. de buz.
EG-03	224240	8412770	30°	306°
EG-03	224240	8412770	35°	314°
EG-03	224240	8412770	39°	310°
EG-03	224240	8412770	76°	46°
EG-03	224240	8412770	69°	51°
EG-03	224240	8412770	72°	41°

Fuente: Elaboración propia.

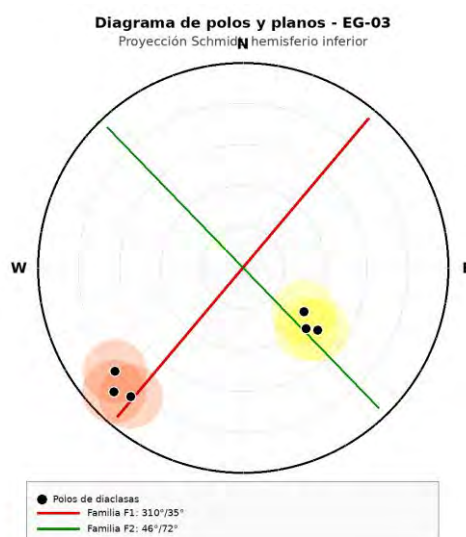
Tras el procesamiento de los datos estructurales de la estación EG-03, situada en el estribo izquierdo y cerca del vaso, se determinó la concentración de polos, los planos representativos y el gráfico de rosetas de las discontinuidades que se encuentran en el macizo rocoso del área investigada.

Dos familias principales de diaclasas fueron localizadas usando los datos de campo. La primera familia tiene una dirección de buzamiento promedio de 310° en relación al norte y un buzamiento promedio de 35° , con una inclinación mayormente hacia el noroeste. Esta familia pertenece a un sistema de discontinuidades con buzamiento moderado, que tiene el potencial de impactar la estabilidad superficial del macizo y la circulación secundaria del agua por medio de fracturas.

La segunda familia exhibe un buzamiento medio de 72° , orientándose hacia el noreste, con una dirección de buzamiento promedio de 46° respecto al norte. Esta familia se relaciona con un sistema de discontinuidades de ángulo elevado, vinculado a fracturas más verticales al interior del macizo rocoso. Por su inclinación, tiene la posibilidad de afectar la estabilidad de bloques de roca, sobre todo en las zonas de los estribos, los taludes y los cortes que se planean para cimentar la presa.

La forma en que se distribuyen las discontinuidades sugiere que el macizo rocoso tiene un sistema estructural predominante con familias de orientación NW-SE y NE-SW. Estas pautas deben tenerse en cuenta durante el estudio geológico-geotécnico, ya que pueden afectar la calidad del área de fundación, la permeabilidad secundaria, la estabilidad del eje de presa y el posible rumbo preferido de filtraciones.

Figura 24. Diagrama de concentración de polos y planos de dirección de buzamiento de las diaclasas EG-03.



Fuente: Elaboración propia

La presencia de dos familias representativas de diaclasas se confirma a través del análisis estereográfico de la estación EG-03, el cual muestra que los polos de las discontinuidades tienden a concentrarse en dos áreas principales. La familia con el buzamiento más bajo tiene una pendiente moderada hacia el noroeste, en tanto que la de mayor buzamiento muestra una pronunciada pendiente hacia el noreste. Dado que el macizo rocoso tiene un comportamiento anisotrópico, esta condición estructural señala que su permeabilidad y resistencia pueden cambiar dependiendo de la dirección de las discontinuidades.

Se observa en la estación un cambio en la inclinación de las familias principales, una moderada en dirección noroeste y otra con un ángulo agudo hacia el noreste. Esta configuración tiene la posibilidad de crear bloques definidos por la intersección de planos, sobre todo en laderas que están expuestas. Desde la perspectiva geotécnica, las discontinuidades deben ser evaluadas teniendo en cuenta su persistencia, apertura, rugosidad, relleno, alteración, presencia de agua y espaciamiento.

Figura 25. Diagrama de rosetas de las diaclasas EG-03.



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de rosetas del sitio EG-03 posibilita determinar la dirección preferida de las discontinuidades registradas en el campo. Se observa una tendencia principal vinculada a una familia de diaclasas con dirección NE-SW y una secundaria asociada con la familia NW-SE. Estas guías estructurales constituyen los sistemas de fractura más relevantes del macizo rocoso y deben tenerse en cuenta al evaluar la estabilidad del eje de presa, los estribos y el vaso de embalse.



7.2.4. Estación estructural EG-04

Tabla 60. Datos sobre la dirección y el buzamiento de las diaclasas EG-04

Estación	Coord. E	Coord. N	Buz.	Dir. de buz.
EG-04	224315	8412910	28°	118°
EG-04	224315	8412910	33°	126°
EG-04	224315	8412910	37°	132°
EG-04	224315	8412910	64°	248°
EG-04	224315	8412910	70°	256°
EG-04	224315	8412910	67°	260°

Fuente: Elaboración propia.

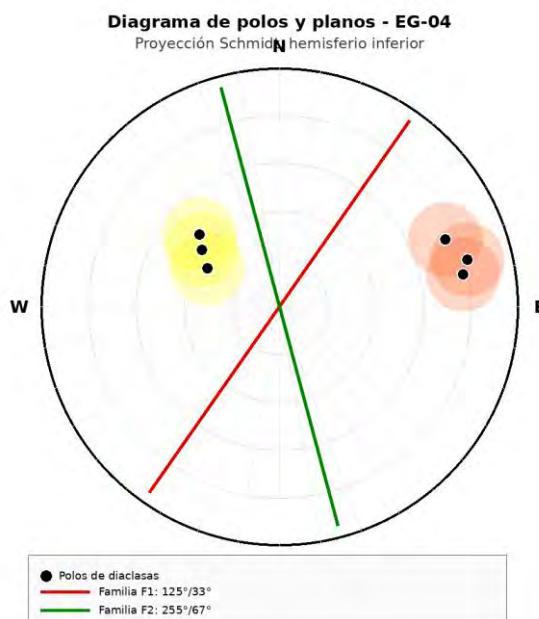
Después de procesar la información estructural relacionada con la estación EG-04, situada en la parte superior del vaso de embalse, se determinó la concentración de polos y los planos representativos, así como el diagrama de rosetas de las discontinuidades que se encontraban en el macizo rocoso del área bajo estudio.

Dos familias principales de diaclasas fueron localizadas usando los datos de campo. La familia inicial muestra una dirección de buzamiento promedio de 125° en relación al norte y un buzamiento promedio de 33°, con una inclinación mayormente hacia el sureste. Esta familia pertenece a un sistema de discontinuidades con buzamiento moderado, que tiene el potencial de impactar la estabilidad superficial del macizo y la circulación secundaria del agua por medio de fracturas.

La segunda familia tiene un buzamiento promedio de 67° y una dirección media de buzamiento de 255° en relación al norte, inclinándose hacia el oeste-suroeste. Esta familia se relaciona con un sistema de discontinuidades de ángulo elevado, vinculado a fracturas más verticales al interior del macizo rocoso. Por su inclinación, tiene la posibilidad de afectar la estabilidad de bloques de roca, sobre todo en las zonas de los estribos, los taludes y los cortes que se planean para cimentar la presa.

La forma en que se distribuyen las discontinuidades sugiere que el macizo rocoso tiene un sistema estructural predominante con familias de orientación NW-SE y NE-SW. Estas pautas deben tenerse en cuenta durante el estudio geológico-geotécnico, ya que pueden afectar la calidad del área de fundación, la permeabilidad secundaria, la estabilidad del eje de presa y el posible rumbo preferido de filtraciones.

Figura 10. Diagrama de concentración de polos y planos de dirección de buzamiento de las diaclasas EG-04.



Fuente: Elaboración propia.

La estación EG-04, al ser analizada estereográficamente, muestra que los polos de las discontinuidades tienden a concentrarse en dos zonas principales, lo que confirma la existencia de dos familias representativas de diaclasas. La familia con el buzamiento más bajo tiene una inclinación moderada hacia el sureste; por otro lado, la familia con el buzamiento más alto exhibe un sesgo significativo hacia el oeste-suroeste. La permeabilidad y la resistencia del macizo rocoso pueden variar en función de la dirección de las discontinuidades, ya que este tiene un comportamiento anisotrópico.

En el vaso de embalse, se pueden ver discontinuidades que tienen un ángulo bajo a moderado hacia la familia principal y discontinuidades con un ángulo alto en dirección oeste-suroeste. Para prevenir posibles filtraciones debido a fracturas y para la estanqueidad del recipiente, este estado es significativo. Desde el punto de vista geotécnico, es necesario considerar la persistencia, la apertura, la rugosidad, el relleno, las alteraciones, la presencia de agua y el espaciamiento al evaluar las discontinuidades.

Figura 26. Diagrama de rosetas de las diaclasas EG-04.



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico de rosetas de la estación EG-04 permite determinar cuál es la dirección preferida de las discontinuidades que se han medido en campo. Se observa una tendencia principal vinculada a una familia de diaclasas con dirección NE-SW y una secundaria asociada con la familia NW-SE. Estas guías estructurales constituyen los sistemas de fractura más relevantes del macizo rocoso y deben tenerse en cuenta al evaluar la estabilidad del eje de presa, los estribos y el vaso de embalse.

7.2.5. Estación estructural EG-05

Tabla 61. Datos sobre la inclinación y el rumbo de las diaclasas EG-05

Estación	Coord. E	Coord. N	Buz.	Dir. de buz.
EG-05	224200	8412705	42°	112°
EG-05	224200	8412705	45°	118°
EG-05	224200	8412705	39°	121°
EG-05	224200	8412705	80°	198°
EG-05	224200	8412705	75°	204°
EG-05	224200	8412705	72°	207°

Fuente: Elaboración propia.

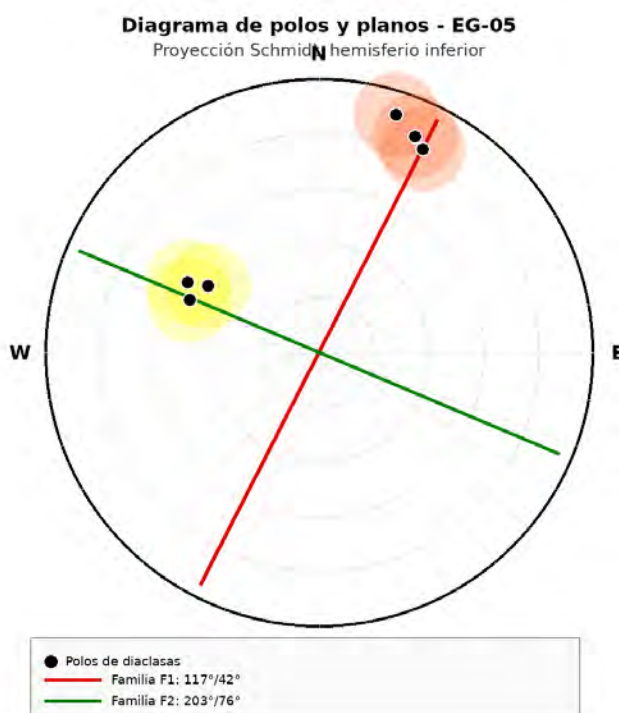
Tras procesar la información estructural de la estación EG-05, que se encuentra en la ladera baja, aguas abajo del eje de presa, se logró determinar la concentración de los polos, los planos representativos y el diagrama de rosetas de las discontinuidades existentes en el macizo rocoso del área estudiada.

Dos familias principales de diaclasas fueron localizadas usando los datos de campo. La primera familia tiene un buzamiento medio de 42° , orientado fundamentalmente hacia el este-sureste, y una dirección de buzamiento media de 117° en relación al norte. Esta familia pertenece a un sistema de discontinuidades con buzamiento moderado, que tiene el potencial de impactar la estabilidad superficial del macizo y la circulación secundaria del agua por medio de fracturas.

La segunda familia tiene un buzamiento promedio de 76° , que se inclina hacia el sur-suroeste, y una dirección de buzamiento promedio de 203° respecto al norte. Esta familia se relaciona con un sistema de discontinuidades de ángulo elevado, vinculado a fracturas más verticales al interior del macizo rocoso. Por su inclinación, tiene la posibilidad de afectar la estabilidad de bloques de roca, sobre todo en las zonas de los estribos, los taludes y los cortes que se planean para cimentar la presa.

La forma en que se distribuyen las discontinuidades sugiere que el macizo rocoso tiene un sistema estructural predominante con familias de orientación NW-SE y NE-SW. Estas pautas deben tenerse en cuenta durante el estudio geológico-geotécnico, ya que pueden afectar la calidad del área de fundación, la permeabilidad secundaria, la estabilidad del eje de presa y el posible rumbo preferido de filtraciones.

Figura 27. Diagrama de concentración de polos y planos de dirección de buzamiento de las diaclasas EG-05.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis estereográfico de la estación EG-05 muestra que los polos de las discontinuidades tienden a reunirse en dos áreas principales, lo cual corrobora la existencia de dos grupos significativos de diaclasas. La familia con el buzamiento más bajo tiene una inclinación moderada hacia la dirección este-sureste, y la que tiene el mayor buzamiento, en cambio, muestra una pronunciada inclinación hacia el rumbo sur-suroeste. Dado que el macizo rocoso tiene un comportamiento anisotrópico, esta condición estructural señala que su permeabilidad y resistencia pueden cambiar dependiendo de la dirección de las discontinuidades.

El macizo rocoso tiene una familia de alto ángulo hacia el sur-suroeste y una familia moderada en dirección este-sureste. Debido a su localización aguas abajo, es necesario tener en cuenta estas discontinuidades para el estudio de la estabilidad de los taludes y del drenaje superficial. Desde la perspectiva geotécnica, las discontinuidades deben ser evaluadas teniendo en cuenta su persistencia, apertura, rugosidad, relleno, alteración, presencia de agua y espaciamiento.

Figura 28. Diagrama de rosetas de las diaclasas EG-05.



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de rosetas de la estación EG-05 posibilita determinar cuál es la dirección preferida de las discontinuidades que se midieron en campo. Se observa una tendencia principal vinculada a una familia de diaclasas con dirección NE-SW y una secundaria asociada con la familia NW-SE. Estas guías estructurales constituyen los sistemas de fractura más relevantes del macizo rocoso y deben tenerse en cuenta al evaluar la estabilidad del eje de presa, los estribos y el vaso de embalse.

7.2.6. Resumen de estaciones estructurales

El análisis simultáneo de las estaciones estructurales facilitó la identificación de familias de diaclasas que se orientan preferentemente y que aparecen en diversos sectores del área analizada. Estas familias son elementos relevantes para la interpretación geológica y geotécnica del proyecto; además, tienen un control parcial sobre la conducta mecánica de la masa rocosa.

Tabla 62. Resumen de familias principales de diaclasas identificadas

Estac.	Familia	Dirección de buzamiento promedio	Buzamiento promedio	Tendencia estructural	Interpretación
EG-01	F1	132°	38°	NE-SW y NW-SE	Buzamiento moderado hacia el sureste
EG-01	F2	217°	73°	NE-SW y NW-SE	Fracturas de alto ángulo hacia el suroeste
EG-02	F1	148°	39°	NE-SW y NW-SE	Buzamiento moderado hacia el sureste
EG-02	F2	235°	71°	NE-SW y NW-SE	Fracturas de alto ángulo hacia el suroeste
EG-03	F1	310°	35°	NE-SW y NW-SE	Buzamiento moderado hacia el noroeste
EG-03	F2	46°	72°	NE-SW y NW-SE	Fracturas de alto ángulo hacia el noreste
EG-04	F1	125°	33°	NE-SW y NW-SE	Buzamiento moderado hacia el sureste
EG-04	F2	255°	67°	NE-SW y NW-SE	Fracturas de alto ángulo hacia el oeste-suroeste
EG-05	F1	117°	42°	NE-SW y NW-SE	Buzamiento moderado hacia el este-sureste
EG-05	F2	203°	76°	NE-SW y NW-SE	Fracturas de alto ángulo hacia el sur-suroeste

Fuente: Elaboración propia.

7.2.7. Interpretación estructural general

El análisis estructural llevado a cabo en las estaciones EG-01, EG-02, EG-03, EG-04 y EG-05 hizo posible identificar los sistemas de discontinuidades más relevantes que se encuentran en la zona de construcción de la presa Chaupibanda. Las familias de diaclasas que se han identificado muestran tendencias preferenciales que representan la forma en que el macizo rocoso actúa estructuralmente y cómo se relaciona con las fuerzas tectónicas a nivel regional.

En términos generales, las discontinuidades muestran tendencias predominantes NW-SE y NE-SW, que deben ser tenidas en cuenta al analizar geológicamente y geotécnicamente el eje de la presa, ya que podrían afectar la calidad del terreno de fundación, la estabilidad de los estribos y el flujo de agua por el macizo rocoso. Las familias de diaclasas que tienen más persistencia, apertura o relleno pueden actuar como caminos preferidos para filtrar o como áreas de debilidad mecánica.

Desde la perspectiva geotécnica, el comportamiento del macizo rocoso no se ve influido solamente por la resistencia de la roca intacta, sino también por otros factores como la

continuidad, orientación, rugosidad, presencia de agua en las discontinuidades y el espaciamiento. Por lo tanto, los resultados a nivel estructural tienen que combinarse con la clasificación geomecánica, las pruebas de permeabilidad, el análisis geofísico y las condiciones de la zona en términos hidrológicos.

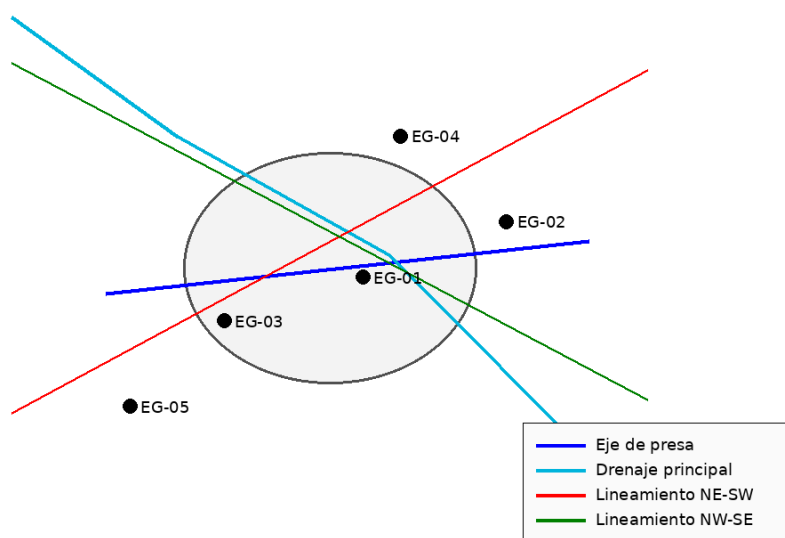
La existencia de familias de diaclasas con buzamiento alto y moderado no elimina la opción de construir la presa; no obstante, implica tener en cuenta medidas para controlar aspectos geotécnicos, como son: limpiar las superficies de cimentación, eliminar los materiales que hayan sido alterados, atender a las fracturas abiertas, supervisar las filtraciones, comprobar la calidad del macizo rocoso durante el proceso de excavación e implementar drenajes o inyecciones si fueran requeridos.

7.2.8. Mapa estructural local

El mapa estructural local incluye la posición de las estaciones EG-01 a EG-05, el eje proyectado de la presa, el vaso de embalse, el drenaje principal y las tendencias estructurales más importantes. Este mapa ofrece una representación visual de la distribución de las discontinuidades en el espacio y cómo se relacionan con las áreas más relevantes para el diseño de la presa Chaupibanda.

Figura 29. Mapa estructural local del área de emplazamiento de la presa Chaupibanda.

Mapa estructural local esquemático - Presa Chaupibanda



Fuente: Elaboración propia.

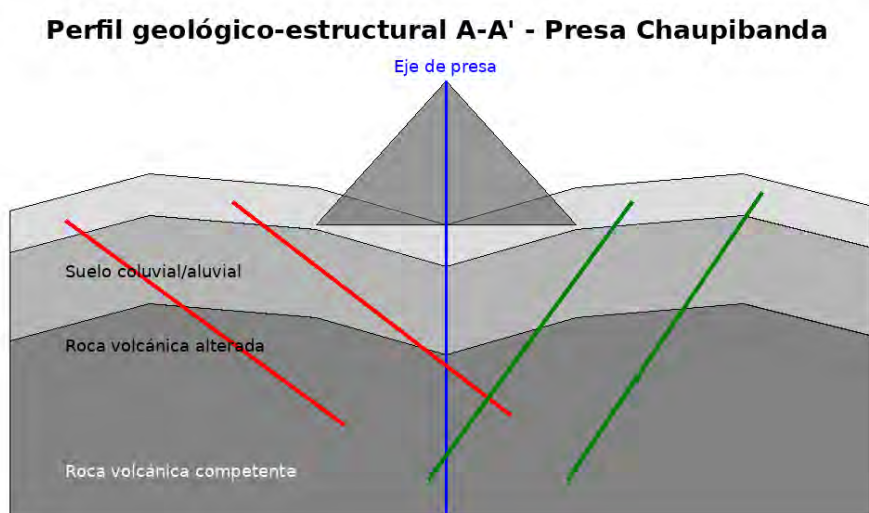
Que los sistemas de fractura estén presentes en el eje de la presa, así como en las áreas de los estribos y las laderas cercanas al vaso, se hace evidente con la distribución de las estaciones estructurales. Se deben comparar las tendencias NW-SE y NE-SW con la orientación del eje proyectado para detectar posibles situaciones adversas vinculadas a

filtraciones preferenciales, inestabilidad de bloques o debilitamiento del terreno de fundación.

7.2.9. Perfil geológico-estructural A-A' del eje de presa

A través de un esquema, el perfil geológico-estructural A-A' ilustra cómo se relacionan entre sí los materiales de la superficie, el cuerpo proyectado de la presa, la roca competente, la roca volcánica alterada y las discontinuidades más importantes del macizo rocoso. Esta interpretación posibilita la conexión entre el análisis estructural, la geotecnia de cimentación y el modelo geológico del eje de presa.

Figura 30. Perfil geológico-estructural A-A' del eje de presa Chaupibanda.



Fuente: Elaboración propia.

El perfil indica que es preferible cimentar la presa sobre materiales competentes, lo que requiere eliminar primero los suelos superficiales, los materiales alterados o las áreas con fracturas abiertas. Es necesario evaluar las discontinuidades que cruzan el eje durante la excavación, ya que tienen el potencial de afectar la permeabilidad secundaria y la estabilidad local del terreno. Si se detectan fracturas abiertas, rellenos arcillosos o áreas alteradas, será preciso tener en cuenta tratamientos de sellado, drenaje, limpieza, inyección o impermeabilización, según lo que indiquen los resultados de la clasificación geomecánica y la permeabilidad.

7.2.10. Consideraciones geológico-geotécnicas para el diseño

- En la caracterización geomecánica del macizo rocoso, es importante tener en cuenta a las familias principales de diaclasas, sobre todo cuando se evalúan la rugosidad, persistencia, apertura, condición de agua, espaciamiento y alteración.



- La dirección de las discontinuidades tiene que ser comparada con la del eje de presa y la de los taludes proyectados, porque una disposición poco favorable puede producir inestabilidad en forma de cuña, planar o caída de bloques.
- Las discontinuidades que tienen una apertura o continuidad alta pueden funcionar como canales de filtración preferidos, por lo cual es necesario que se incorporen los resultados del sondeo eléctrico vertical y los ensayos de permeabilidad en roca.
- Las áreas con roca alterada, fracturas severas o rellenos finos necesitan supervisión durante la excavación y un posible procedimiento de cimentación a través de limpieza, inyección, dentellón, pantalla impermeable o drenaje.
- El estudio de la estructura debe integrarse con los hallazgos de geofísica, calicatas, pruebas de laboratorio y análisis hidrológicos para determinar qué tipo de represa es la más apropiada para las circunstancias de Chaupibanda.



CONCLUSIONES

Conclusión 01.

La evaluación geológica y geomorfológica del vaso posee una configuración elíptica cóncava, con estrechamiento hacia el eje de presa, lo que favorece la retención del agua. Las características sustentan la viabilidad del proyecto, siempre que los sectores con material sean tratados adecuadamente durante la etapa de cimentación.

Conclusión 02.

La evaluación hidrológica determinó que la microcuenca Yuraccasa constituye el principal aporte hídrico para la presa Chaupibanda. La oferta hídrica anual estimada alcanza 129,860.63 m³, mientras que la oferta al 75 % de persistencia alcanza 76,864.42 m³, por ello, la presa representa una alternativa técnica para mejorar la disponibilidad hídrica destinada a las actividades agrícolas y ganaderas de la comunidad.

Conclusión 03.

Los estudios geofísicos y geotécnicos determinaron que el terreno de fundación presenta condiciones favorables para el emplazamiento de una presa de terraplén. Los ensayos MASW identificaron materiales rígidos a muy rígidos, clasificados como suelo S1 según la Norma E.030, mientras que los métodos geofísicos permitieron reconocer cambios de rigidez y posibles zonas húmedas o alteradas. Asimismo, los bajos valores de permeabilidad y las propiedades del material de préstamo indican condiciones adecuadas para su utilización.

Conclusión 04.

La integración de los estudios realizados confirma la viabilidad técnica de la presa de terraplén proyectada en Chaupibanda, con una altura aproximada de 14.92 m y una corona de 6 m de ancho. El diseño contempla geomembrana, enrocado y pedraplén para mejorar la impermeabilidad y protección de la estructura. Para garantizar su seguridad y funcionamiento, se requiere controlar las filtraciones, drenaje, compactación y estabilidad de los taludes, además de realizar un monitoreo permanente ante posibles procesos erosivos y eventos sísmicos.



RECOMENDACIONES

1. Se recomienda ejecutar la presa Chaupibanda tomando como base los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos, geofísicos e hidrológicos, que sustentan las condiciones de cimentación y disponibilidad hídrica del proyecto. Durante la excavación del eje de presa, se deberá realizar un control geológico continuo para verificar las condiciones del macizo rocoso e identificar sectores alterados, fracturados o meteorizados.
2. Se recomienda implementar un sistema adecuado de impermeabilización y control de filtraciones en la presa, su cimentación y estribos, para garantizar la seguridad de la estructura. Para ello, se deben considerar geomembranas, filtros, drenes, adecuada compactación y protección de taludes. Asimismo, es necesario tratar las discontinuidades con orientaciones NE-SW y NW-SE, debido a que podrían favorecer la circulación de agua y afectar la estabilidad de la presa.
3. Se recomienda proteger los taludes de la presa con enrocado, pedraplén u otro material adecuado para minimizar la erosión causada por el oleaje, lluvias y escorrentía superficial. Asimismo, se sugiere realizar la construcción durante la época seca, entre abril y noviembre, para facilitar la compactación, reducir la saturación del terreno y evitar problemas de erosión y acceso al área del proyecto.
4. Se recomienda establecer un programa permanente de operación, mantenimiento y monitoreo de la presa Chaupibanda, considerando el control del nivel de agua, filtraciones, asentamientos, grietas y estado de los taludes y obras hidráulicas. Estas inspecciones deben reforzarse durante la época de lluvias y después de sismos o precipitaciones intensas. De esta manera, se busca garantizar la seguridad de la presa, su adecuado funcionamiento y el uso sostenible del recurso hídrico para las actividades agropecuarias de la comunidad.



BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Civil Engineers. (2017). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures* (ASCE/SEI 7-16). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784414248>
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- Arellano Mendoza, J. C. (2014). *Estudio geotécnico para la construcción de la presa Tinkiccocha - Apurímac* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP.
- Astier, J. L. (1975). *Geofísica aplicada a la hidrogeología*. Paraninfo.
- ASTM International. (2017). *ASTM D2487-17: Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)*. <https://doi.org/10.1520/D2487-17>
- Autoridad Nacional del Agua. (s. f.). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú*.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Wiley.
- Bransby Williams, G. (1922). Flood discharge and the dimensions of spillways in India. *The Engineer*, 133, 321-322.
- Bureau of Reclamation. (1987). *Design of small dams* (3rd ed.). U.S. Department of the Interior.
- Carlos Chuma, R., & García Mendoza, M. M. (2023). *Estudio geológico, geotécnico para la construcción de la presa Chocayhua del distrito de Quehue-Canas-Cusco 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC.
- Carlos Quinto, J. M. (2022). *Evaluación geotécnica para la construcción de la Presa Ucuscancha I, Huancayo - Junín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2615>
- Cedergren, H. R. (1989). *Seepage, drainage, and flow nets* (3rd ed.). Wiley.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales* (2.^a versión). CENEPRED.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (s. f.). *Escenarios de riesgo: incendios forestales*. SIGRID.



- Chara Holguin, J., & Soncco Mamani, Y. E. (2022). *Estudio geológico, geotécnico e hidrológico para garantizar la seguridad y estanqueidad de la presa Querqueccocha, distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco, 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC.
- Chorley, R. J., Schumm, S. A., & Sugden, D. E. (1984). *Geomorphology*. Methuen.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Interamericana.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. En A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and mitigation* (Special Report 247, pp. 36-75). Transportation Research Board, National Research Council.
- Cruz Chura, D. R., & Vargas Vasquez, M. L. (2023). *Estudio geológico, geotécnico e hidrológico para la construcción de la presa Pachacsimi del distrito de Chinchaypujio, provincia de Anta, departamento del Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4.^a ed.). Cengage Learning.
- Deere, D. U. (1963). Technical description of rock cores for engineering purposes. *Felsmechanik und Ingenieurgeologie*, 1(1), 16-22.
- Díaz, J. (2013). Procedimientos para la investigación ingeniero-geológica de las patologías en presas de tierra. En *X Congreso Cubano de Geología*.
- Esquivel Chañi, R. N., & Ruiz Peralta, Y. (2023). *Estudio geológico y geotécnico para la construcción de la presa Collini, distrito de Pitumarca, provincia Canchis, departamento del Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC.
- Esri. (s. f.). *ArcGIS* [Software]. Environmental Systems Research Institute.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), 85-98.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>
- Fidel, H., & Rodríguez, M. (2008). *Evaluación geológica e ingeniero-geológica de tres presas de sedimentación, cuenca alta del río Ramis-Ananea, Puno* [Informe técnico]. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.
- Giaconi, M., Calvetti, M., & Giaconi, A. (2013). *Aspectos geológicos y geotécnicos preliminares de la fundación de la presa del Arroyo Blanco, Tandil*. Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería.



- Giandotti, M. (1934). Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua. *Bulletin de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique*, 21, 7-17.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.
- Google. (2026). *Gemini, versión 2.0 Flash* [Modelo de inteligencia artificial generativa].
- Google. (s. f.). *Google Earth* [Software].
- Google. (s. f.). *Google Maps* [Servicio cartográfico].
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación.
- Hathaway, G. A. (1945). Design of drainage facilities for air fields. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 110, 697-730.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Huamán Zúñiga, N., & Caballero Cayllahua, L. P. (2022). *Estudio geológico y geotécnico para la construcción de la presa Marhuay del distrito de Coya, provincia de Calca, Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC.
- Instituto Geográfico Nacional. (s. f.). *Cartas nacionales del Perú* [Material cartográfico].
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (s. f.). *Información geológica y geomorfológica regional del Perú*.
- Instituto Nacional de Defensa Civil, & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (s. f.). *Informe de la Oficina de Defensa Nacional: análisis de vulnerabilidad y matriz de identificación del riesgo*. INDECI/PNUD.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2019). *Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación - SINPAD* [Base de datos].
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2020). *Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación - SINPAD* [Base de datos].
- International Code Council. (2018). *2018 International Building Code (IBC)*. International Code Council.
- International Commission on Large Dams. (2011). *Small dams: Design, surveillance and rehabilitation* (Bulletin 157).
- International Society for Rock Mechanics Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 15(6), 319-368. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(78\)91472-9](https://doi.org/10.1016/0148-9062(78)91472-9)
- Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2002). *An introduction to geophysical exploration* (3rd ed.). Blackwell Science.



- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(6), 362.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall.
- Laina Gómez, C. (2016). *Anteproyecto de una presa de laminación en la rambla del Pradico, Murcia* [Trabajo de fin de máster, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1991). *Mecánica de suelos*. Limusa.
- López Díaz, A. C. (2022). *Evaluación geológica-geotécnica para la factibilidad, diseño y construcción de la presa Pucacocha y aprovechamiento hídrico en el distrito de Huancaray, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA.
- Maidment, D. R. (Ed.). (1993). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill.
- Mendívil Echevarría, S., & Dávila Manrique, D. (1994). *Geología de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca. Hojas 28-s y 29-s (Boletín A 52)*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Mendoza Recabal, C. M. (2019). *Estudio geológico y geotécnico para el diseño de Embalse Catemu, Región de Valparaíso, Chile* [Memoria de título, Universidad de Concepción]. Repositorio Bibliotecas UdeC.
- Ministerio de Agricultura. (2008). *Resolución Ministerial N.º 033-2008-AG: Aprueban metodología de codificación de unidades hidrográficas de Pfafstetter, memoria descriptiva y plano de delimitación y codificación de las unidades hidrográficas del Perú*.
- Ministerio de Energía y Minas. (s. f.). *Atlas eólico del Perú*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018, 22 de octubre). *Resolución Ministerial N.º 355-2018-VIVIENDA: Modificación de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (5th ed.). Wiley.
- Moss, M. E., & Dawdy, D. R. (1974). Stochastic simulation for basins with short or no records of streamflow. En *Design of water resources projects with inadequate data: Proceedings of the Madrid Symposium, June 1973* (Vol. 1, pp. 365-376). UNESCO/WMO/IAHS.
- Novak, P., Moffat, A. I. B., Nalluri, C., & Narayanan, R. (2007). *Hydraulic structures* (4th ed.). CRC Press.



- Oyarzo Agurto, M. F. (2018). *Estudio geológico y geotécnico de diseño del embalse Valle Hermoso, Región de Coquimbo, Chile* [Memoria de título, Universidad de Concepción]. Repositorio Bibliotecas UdeC.
- Pacompia Flores, J. C. (2014). *Evaluación geológica y geotécnico para la construcción de la presa Chonta - Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP.
- Palma Lagos, A. (2022). *Análisis técnico del estándar de diseño y construcción del proyecto Embalse Las Palmas* [Memoria de título, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800-808. <https://doi.org/10.1190/1.1444590>
- Pfafstetter, O. (1989). *Classificação de bacias hidrográficas: Metodologia de codificação* [Manuscrito no publicado]. Departamento Nacional de Obras de Saneamento.
- Ramírez Oyola, R., & Ponce Centeno, R. D. (2022). *Estudio geológico, geotécnico para la construcción de la presa Hayculi en la comunidad campesina de Quehuincha del distrito de Livitaca-Chumbivilcas-Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC.
- Reynolds, J. M. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Rocscience Inc. (s. f.). *Slide2* [Software de análisis de estabilidad de taludes].
- SASPlanet. (s. f.). *SAS.Planet* [Software de visualización cartográfica].
- Scheidegger, A. E. (1987). *Systematic geomorphology*. Springer-Verlag Wien. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8915-3>
- Scholz, L. (1980). *Generación de caudales mensuales en la sierra peruana*. Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones, Plan MERIS II.
- Schumm, S. A. (1991). *To interpret the Earth: Ten ways to be wrong*. Cambridge University Press.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (s. f.). *Información hidrometeorológica y climática del Perú*.
- Sheriff, R. E., & Geldart, L. P. (1995). *Exploration seismology* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Tar buck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física* (8.ª ed.). Pearson Educación.



- Taylor, A. B., & Schwarz, H. E. (1952). Unit-hydrograph lag and peak flow related to basin characteristics. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 33(2), 235-246.
<https://doi.org/10.1029/TR033i002p00235>
- Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación: La búsqueda de significados*. Paidós.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Témez Peláez, J. R. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. M.O.P.U., Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). Wiley.
- Thomas, H. A., Jr., & Fiering, M. B. (1962). Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basins by simulation. En A. Maass, M. M. Hufschmidt, R. Dorfman, H. A. Thomas Jr., S. A. Marglin, & G. M. Fair, *Design of water-resource systems: New techniques for relating economic objectives, engineering analysis, and governmental planning* (pp. 459-493). Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674421042.c15>
- Turc, L. (1954). Le bilan d'eau des sols: Relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Annales Agronomiques*, 5, 491-595.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (1971). *HEC-4: Monthly streamflow simulation user's manual* (CPD-4). U.S. Army Corps of Engineers.
- U.S. Army Corps of Engineers. (1993). *Seepage analysis and control for dams* (Engineer Manual EM 1110-2-1901, Change 1). Department of the Army.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2003). *Slope stability* (Engineer Manual EM 1110-2-1902). Department of the Army.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2004). *General design and construction considerations for earth and rock-fill dams* (Engineer Manual EM 1110-2-2300). Department of the Army.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (Agriculture Handbook No. 60; L. A. Richards, Ed.). U.S. Department of Agriculture.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). *2009 UNISDR terminology on disaster risk reduction*. United Nations.
- Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice* (Natural Hazards 3). UNESCO.



- Verdin, K. L., & Verdin, J. P. (1999). A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins. *Journal of Hydrology*, 218(1-2), 1-12. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00011-6)
- WeatherSpark. (s. f.). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Yanaoca, Perú*.
- Wikipedia contributors. (s. f.). Ensayo Lugeon. En *Wikipedia*.
- Xia, J., Miller, R. D., Park, C. B., Hunter, J. A., & Harris, J. B. (2000). Comparing shear-wave velocity profiles from MASW with borehole measurements in unconsolidated sediments, Fraser River Delta, B.C., Canada. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, 5(3), 1-13. <https://doi.org/10.4133/JEEG5.3.1>



ANEXOS



ANEXOS HIDROLOGÍA

Tabla 59: Determinación de la esorrentía y la retención de la microcuenca

GENERACION DE CAUDALES MENSUALES PARA EL AÑO PROMEDIO					
CHAUIBANDA					
DATOS BASICOS			CUENCA DE ESTUDIO		
AR =	0.4504		Area de la cuenca (Km²)		
Hc =	4174.36		Altura Media de la Cuenca (msnm)		
LS =	14°20'49.00"		Latitud Sur Centro de Gravedad de la Cuenca (° ' '')		
Ra =	5257.23		Radiación extraterrestre para la cuenca (mm/año)		
R =	7.33		Retención de la Cuenca (mm/año)		
TD =	214.00		Duración de la Temporada Seca (días)		
Pc =	806.17		Precipitación Media de la Cuenca (mm/año)		
DATOS DE LA ESTACION BASE			KAYRA		
He =	3219.00		Altura de la estación de referencia (temperatura)		
Te =	12.12		Temperatura media anual de la Estación de Referencia		
Gd =	-0.008573		Gradiente de Temperatura		
TC=		Tc =	3.93		
F = 1.8*Tc+32		F =	39.07		
E T P DE LA CUENCA					
ETP = 0.0075 * 0.075*Ra*((SH*100) / (DL*DM))^0.5 * °F *(1 + 0.06 * H/1000)					
ETP = 0.0075*0.075*Ra*(50^5)*F*(1+0.06*Hc/1000)			ETP =	1021.53	
COEF. TEMPERATURA(°C)			Ct=300+25*Tc+0.05*Tc^3	Ct=	401.19
DEFICIT ESCURR.(D0,D1)			D0 = 0.872*Pc+1.032*ETP-1380	D0 =	377.20
			D1 = Pc*(0.9+Pc^2/Ct^2)^(-0.5)	D1 =	362.79
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (C)					
C1 = 0.914-2.36E-4*Pc-0.0581*Tc			0.96	C1 =	0.50
C2 = 0.682-0.0526*Tc-1.36E-4*Tc^2			0.92	C2 =	0.47
C3 = 1.813-1.87E-4*Pc-1.12E-3*ETP			0.93	C3 =	0.52
C4 = 5.21-7.31E-3*ETP+2.68E-6*ETP^2			0.95	C4 =	0.54
C5 = 3.16E12*Pc^0.571*ETP^3.686			0.96	C5 =	0.56
C6 = 6.47-0.0691*Ln(Pc)-0.8*Ln(ETP)			0.92	C6 =	0.46
C7 = (Pc-D0)/Pc				C7 =	0.53
C8 = (Pc-D1)/Pc			Metodo de Turc.	0.45	C8 = 0.55
SE ASUME				C =	0.40
CALCULO DE LA RETENCIÓN MICRO CUENCA "R"					
Tipo	Descripción	Porcentaje (%)	Lamina (mm/año)	Area (Km2)	Total
Lagunas y pantanos	----	100.00	500	0.000	0
Napa Freatica	Pend. < 2%	Pend. Cuenca 0 - 2 %	300	0.001	0
	Pend. < 8%	Pend. Cuenca 2 < 8 %	250	0.002	0
	Pend. < 15%	Pend. Cuenca 8 < 15 %	200	0.013	3
Nevados	----	100.00	500	0	0
				Σ=	3.3
				R=	7.33

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de generación de caudales mensuales de Lutz Scholz (1980) y método de Turc.



Tabla 60: Determinación del Coeficiente de agotamiento

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO	
Características de la cuenca	Agotamiento
1. Agotamiento muy rápido por temperatura elevada $> 10^{\circ}$, y R reducida a mediana (50 mm/año - 80 mm/año) $a = -0.00252 \cdot \ln(AR) + 0.034$	0.036
2. Agotamiento rápido por la retención entre (50 mm/año - 80 mm/año) y vegetación poco desarrollada (puna) $a = -0.00252 \cdot \ln(AR) + 0.030$	0.032
3. Agotamiento mediano por retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados) $a = -0.00252 \cdot \ln(AR) + 0.026$	0.024
4. Agotamiento reducido por alta retención arriba de (100 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados) $a = -0.00252 \cdot \ln(AR) + 0.023$	0.025
5. Ecuación Empírica desarrollada sobre la base de 19 cuencas en la sierra, muestra un coeficiente de regresión elevado de $r = 0.86$ $a = 3.1249E67 \cdot AR^{-0.1144} \cdot EP^{-19.336} \cdot T^{-3.369} \cdot R^{-1.429}$	1.821
Se asume el coeficiente de agotamiento según las características de la cuenca según el Libro de Generación de Caudales Mensuales en la Sierra Peruana	0.032

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de Lutz Scholz (1980) y ecuaciones empíricas de agotamiento para cuencas altoandinas.



Tabla 61: Generación de Caudal microcuencia

GENERACION DE CAUDALES MENSUALES PARA EL AÑO PROMEDIO															
PRECIPITACION EFECTIVA															
PRECIPITACION EFECTIVA MICROCUENCA COLORADO - METODO DE GENERACIÓN DE CAUDALES															
$PE = a_0 + a_1.P + a_2.P^2 + a_3.P^3 + a_4.P^4 + a_5.P^5$															
LIMITES SUPERIORES PARA PRECIPITACIONES EFECTIVAS A PARTIR DE PRECIPITACIONES															
MEDIAS VALOR EXTREMO PARA PRECIPITACION EFECTIVA															
CURVA I	SI P >=	177.8	mm/mes	PE = P -	120.6	mm/mes									
CURVA II	SI P >=	152.4	mm/mes	PE = P -	86.4	mm/mes									
CURVA III	SI P >=	127.0	mm/mes	PE = P -	59.7	mm/mes									

	CURVA I	CURVA II	CURVA III	CURVA IV
a0	-0.018	-0.021	-0.028	10.22666667
a1	-0.0185	0.1358	0.2756	-0.325975503
a2	0.001105	-0.002296	-0.004103	0.008943001
a3	-0.00001204	0.00004349	0.00005534	1.22997E-05
a4	0.000000144	-0.000000089	1.24E-07	-3.03517E-07
a5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09	7.77715E-10

214

Nº	MES	DIAS	PRECIPITACION MENSUAL						CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES MENSUALES GENERADOS		CAUDAL AFORADO
			TOTAL P mm/mes	PE I (mm/mes)	PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE IV mm/mes	PE mm/mes	GASTO		ABASTECIM.		mm/mes	m3/s	
									bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes			
4	JUL	31	6.2	0.0	0.7	1.5	8.6	1.0	0.02	0.23	0.00	0.00	1.2	0.000207	0.016
5	AGO	31	13.2	0.0	1.5	3.0	7.5	2.1	0.01	0.08	0.00	0.00	2.2	0.000367	
6	SET	30	19.4	0.0	2.1	4.2	7.3	2.9	0.00	0.04	0.00	0.00	2.9	0.000511	
7	OCT	31	44.6	0.8	5.0	9.2	13.5	6.6	0.00	0.01	0.00	0.00	6.6	0.001112	
0	NOV	30	66.5	2.5	9.8	17.0	26.8	12.5	0.00	0.00	0.05	0.37	12.1	0.002108	
0	DIC	31	121.4	16.2	38.8	61.4	79.0	47.3	0.00	0.00	0.35	2.56	44.7	0.007522	
0	ENE	31	173.0	52.3	86.6	113.3	133.8	96.6	0.00	0.00	0.40	2.93	93.7	0.015751	
0	FEB	28	159.7	40.2	73.3	100.0	119.7	83.3	0.00	0.00	0.20	1.47	81.8	0.015235	
0	MAR	31	135.1	23.1	50.1	75.4	93.7	59.6	0.00	0.00	0.00	0.00	59.6	0.010022	
1	ABR	30	50.8	1.2	6.0	11.0	16.6	7.9	0.38	4.63	0.00	0.00	12.5	0.002177	
2	MAY	31	11.0	0.0	1.3	2.6	7.7	1.8	0.14	1.66	0.00	0.00	3.5	0.000582	
3	JUN	30	5.3	0.0	0.6	1.3	8.8	0.9	0.06	0.68	0.00	0.00	1.6	0.000274	
TOTAL			806.2	136.3	275.8	399.9	522.9	322.5	0.61	7.33	1.000	7.33	322.5	0.0050	

COEFICIENTES DE PRECIPITACION EFECTIVA

ENTRE I Y II

C1 = (C*Pc-PEII)/(PEI-PEII)

C2 = (C*Pc-PEI)/(PEII-PEI)

C1 = -0.335

C2 = 1.335

FALSO

ENTRE II Y III

C1 = (C*Pc-PEIII)/(PEII-PEIII)

C2 = (C*Pc-PEII)/(PEIII-PEII)

C1 = 0.624

C2 = 0.376

VERDADERO

ENTRE III Y IV

C1 = (C*Pc-PEIV)/(PEIII-PEIV)

C2 = (C*Pc-PEIII)/(PEIV-PEIII)

C1 = 1.630

C2 = -0.630

FALSO

VARIACIÓN DE CAUDAL

CAUDAL (M3/S)

JUL AGO SET OCT NOV DIC ENE FEB MAR ABR MAY JUN

AFORADO GENERADO

Fuente: Elaboración propia a partir de Lutz Scholz (1980).



Tabla 62: Calculo Regresión Triple

CALCULO DE LA REGRESION TRIPLE									
A BASE DE LOS VALORES DEL AÑO PROMEDIO									
MES	Qt-1 (X) mm/mes	Qt (Y) mm/mes	P E (Z) mm/mes	Valores para la Regresión					
				x2	y2	z2	xy	xz	yz
JUL	1.23	1.58	1.00	1.51	2.49	1.00	1.94	1.23	1.58
AGO	2.18	1.23	2.10	4.77	1.51	4.41	2.68	4.59	2.58
SET	2.94	2.18	2.90	8.63	4.77	8.41	6.42	8.52	6.34
OCT	6.61	2.94	6.60	43.71	8.63	43.56	19.43	43.64	19.39
NOV	12.13	6.61	12.50	147.22	43.71	156.25	80.22	151.67	82.65
DIC	44.74	12.13	47.30	2001.23	147.22	2237.29	542.80	2115.97	573.92
ENE	93.67	44.74	96.60	8773.83	2001.23	9331.56	4190.28	9048.40	4321.41
FEB	81.83	93.67	83.30	6696.86	8773.83	6938.89	7665.32	6816.80	7802.60
MAR	59.60	81.83	59.60	3552.16	6696.86	3552.16	4877.33	3552.16	4877.33
ABR	12.53	59.60	7.90	156.91	3552.16	62.41	746.58	98.96	470.84
MAY	3.46	12.53	1.80	11.98	156.91	3.24	43.36	6.23	22.55
JUN	1.58	3.46	0.90	2.49	11.98	0.81	5.46	1.42	3.12
AÑO	322.50	322.50	322.50	21,401.31	21,401.31	22,339.99	18,181.81	21,849.58	18,184.29

$$Q_t = B_1 + B_2 * Q_{t-1} + B_3 * P E_t + z * S * \sqrt{1 - r^2}$$

$J = \sum X^2 - (\sum X)^2 / 12 =$	12734.132
$M = \sum Y^2 - (\sum Y)^2 / 12 =$	12734.132
$X = \sum Z^2 - (\sum Z)^2 / 12 =$	13672.803
$K = \sum XY - \sum X * \sum Y / 12 =$	9514.630
$L = \sum XZ - \sum X * \sum Z / 12 =$	13182.398
$U = \sum YZ - \sum Y * \sum Z / 12 =$	9517.109
$B_1 = (\sum X - B_2 * \sum Y - B_3 * \sum Z) / 12 =$	0.510861
$B_2 = (E * F - D * C) / (F^2 - B * C) =$	0.055465
$B_3 = (D * F - E * B) / (F^2 - B * C) =$	0.925526
$r = \sqrt{(B_2 * D + B_3 * E) / A} =$	0.999774
$s = \sqrt{(A - B_2 * D - B_3 * E) / 9} =$	0.799525
$s * \sqrt{1 - r^2} =$	0.016994

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de regresión triple aplicado a datos hidrológicos (Montgomery et al., 2012).



Tabla 63: Precipitación Efectiva Real

PRECIPITACION EFECTIVA REAL														
CHAUIBANDA														
CURVA DE AJUSTE		a0	a1	a2	a3	a4	a5	LAT. 14°20'49.00" DIST. : QUEHUE						
C1:		-0.021	0.1358	-0.002296	4.349E-05	-8.9E-08	-8.79E-11	LONG. 71°33'22.20" PROV. : CANAS						
								ALT. 4,174.36 msnm. DPTO. : CUSCO						
ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	23.9	39.5	32.7	7.0	1.6	0.0	0.0	0.7	1.6	3.1	7.6	18.6	136.2
2	1965	14.5	54.5	25.5	5.7	0.2	0.0	0.4	0.2	3.3	3.7	4.5	103.9	216.2
3	1966	22.5	51.2	17.4	1.5	3.5	0.0	0.0	0.3	1.7	12.5	30.0	26.7	167.4
4	1967	17.7	41.8	124.9	3.5	1.5	0.1	2.8	2.9	4.9	5.4	3.4	27.5	236.3
5	1968	132.6	61.9	63.5	3.0	1.3	0.8	1.7	1.8	1.9	10.2	43.8	9.6	332.1
6	1969	62.4	57.2	30.2	5.6	0.5	0.4	0.6	0.4	1.0	3.9	15.1	36.1	213.6
7	1970	112.9	86.0	80.1	6.4	1.0	0.1	0.6	0.7	4.8	4.9	3.3	127.6	428.5
8	1971	91.3	176.9	25.9	4.9	0.7	0.1	0.1	0.2	0.2	2.3	1.8	38.6	343.0
9	1972	129.9	37.9	78.4	6.0	0.4	0.0	1.0	1.6	2.8	3.0	4.6	23.3	288.7
10	1973	176.8	119.6	90.3	29.8	1.2	0.2	0.5	0.9	2.6	2.6	10.8	38.1	473.3
11	1974	122.0	152.6	34.0	5.6	0.5	1.1	0.1	8.6	1.6	1.5	3.2	9.7	340.4
12	1975	93.8	108.7	48.7	6.7	3.4	0.5	0.1	0.6	2.3	5.4	3.5	81.1	354.9
13	1976	98.1	63.8	60.3	4.0	1.6	1.4	0.3	1.2	5.5	0.9	2.0	11.1	250.0
14	1977	13.1	138.3	31.7	2.5	0.6	0.0	0.9	0.1	2.1	4.4	14.4	10.2	218.3
15	1978	189.9	17.2	27.6	8.0	0.6	0.1	0.0	0.3	1.4	2.6	18.3	32.6	298.8
16	1979	66.5	31.3	49.2	5.5	1.5	0.1	0.7	1.6	1.8	2.3	13.5	27.1	200.8
17	1980	34.6	27.5	87.8	2.8	1.0	0.4	1.2	1.3	2.4	24.5	5.7	24.1	213.4
18	1981	157.8	103.8	34.7	7.7	0.7	0.4	0.4	3.9	3.1	9.9	10.6	44.3	377.4
19	1982	100.7	26.3	80.9	8.2	0.3	0.3	0.6	0.6	5.3	18.0	36.4	7.6	285.2
20	1983	26.1	25.5	19.1	4.4	0.9	0.4	0.4	0.3	2.2	2.5	2.0	13.0	96.8
21	1984	136.2	117.7	136.4	12.0	0.4	0.7	0.3	1.0	0.4	23.6	41.9	50.7	521.3
22	1985	22.6	83.4	37.7	9.5	2.3	2.0	0.6	0.6	4.6	3.2	18.8	70.3	255.6
23	1986	76.7	53.5	73.6	11.5	0.9	0.0	0.2	1.9	2.2	1.5	3.8	77.7	303.5
24	1987	175.7	14.8	12.1	2.8	0.3	0.6	2.2	0.8	0.2	3.1	28.6	23.6	264.8
25	1988	156.0	43.1	104.5	22.0	0.8	0.0	0.1	0.0	0.6	2.4	2.1	24.2	355.8
26	1989	117.6	68.7	93.4	9.4	3.4	0.7	0.1	0.7	2.5	4.9	6.8	15.7	323.8
27	1990	49.2	20.6	15.3	3.5	0.5	7.5	0.5	0.5	0.9	8.9	9.3	21.3	138.1
28	1991	24.3	46.2	30.3	6.1	1.1	5.5	0.1	0.0	1.9	47.7	17.0	27.4	207.5
29	1992	23.2	28.3	11.9	1.7	0.2	1.3	0.2	5.1	0.9	5.4	9.2	13.8	101.1
30	1993	150.6	24.7	38.2	15.6	0.7	0.5	0.3	2.1	1.9	7.4	50.9	85.5	378.5
31	1994	148.5	118.5	95.6	7.7	1.4	0.0	8.0	0.0	1.6	3.1	6.3	53.4	444.1
32	1995	54.1	50.2	113.0	5.5	0.4	0.0	0.1	0.1	1.9	3.0	8.3	37.6	274.3
33	1996	95.3	105.0	27.9	9.6	1.2	0.2	0.1	1.5	1.8	3.1	5.4	43.2	294.4
34	1997	133.5	100.7	62.1	3.8	1.1	0.0	0.1	3.1	4.1	2.3	35.9	44.1	390.8
35	1998	99.7	46.9	19.8	1.9	0.3	0.4	0.0	0.2	0.3	4.9	7.1	26.2	207.8
36	1999	64.0	126.0	56.7	10.3	1.0	0.3	0.0	0.0	4.6	3.7	3.3	59.2	329.1
37	2000	127.5	123.3	85.7	2.1	1.5	0.7	0.1	1.4	1.4	13.9	3.1	35.0	395.6
38	2001	192.1	167.2	119.1	16.0	2.3	0.1	1.7	1.1	1.6	3.3	8.6	38.5	551.6
39	2002	22.6	128.3	64.1	7.4	2.0	0.2	1.8	1.0	1.9	4.7	9.8	91.4	335.2
40	2003	100.6	159.2	97.7	8.0	2.3	1.0	0.1	3.1	1.6	3.8	3.2	61.4	442.0
41	2004	88.5	82.9	30.2	3.6	1.0	0.9	1.1	2.0	2.0	2.9	13.7	29.0	257.7
42	2005	59.3	78.6	50.0	8.4	1.2	0.0	0.1	1.2	1.1	17.3	9.4	33.8	260.3
43	2006	155.7	55.4	31.5	11.5	0.3	1.0	0.0	1.6	1.3	4.3	9.6	79.9	352.1
44	2007	115.9	57.8	66.7	5.1	0.4	0.1	0.4	0.2	2.2	2.8	9.7	10.3	271.6
45	2008	35.7	41.5	17.6	2.1	0.8	0.4	0.0	18.0	1.0	4.5	8.0	109.6	239.2
46	2009	24.3	65.1	32.1	2.5	1.2	0.1	0.7	0.2	1.0	4.2	29.6	20.5	181.6
47	2010	172.6	43.3	45.3	4.4	0.7	0.0	0.0	0.6	0.8	3.6	14.1	53.6	339.2
48	2011	64.8	160.2	74.8	17.9	0.8	0.3	0.3	0.1	3.8	2.5	11.2	57.1	393.9
49	2012	22.4	126.5	49.6	11.3	1.3	0.1	0.0	5.9	1.7	2.0	51.1	84.9	356.9
50	2013	79.4	85.8	20.2	2.7	2.9	1.1	0.1	1.4	0.6	6.6	27.1	94.2	322.0
51	2014	140.6	82.9	22.6	3.7	2.8	0.1	0.5	0.3	6.7	3.4	3.9	71.4	338.9
52	2015	114.5	40.0	12.2	7.4	0.9	0.6	1.1	0.7	0.9	16.4	5.0	59.8	259.5
53	2016	28.2	86.4	9.6	7.4	1.7	0.0	0.6	2.7	1.1	5.4	8.3	14.4	165.7
54	2017	51.3	20.3	108.4	10.2	3.1	0.3	1.3	0.7	2.5	7.3	9.6	24.0	239.1
55	2018	135.8	109.3	97.0	5.3	0.7	1.4	4.2	2.7	0.8	8.9	13.1	38.8	418.0
Nº DATOS		55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
MEDIA		89.9	76.1	54.6	7.3	1.2	0.6	0.7	1.6	2.1	6.7	13.4	43.5	297.9
DESV. STD		53.5	44.0	34.1	5.3	0.9	1.2	1.3	2.8	1.5	7.7	12.8	29.2	99.8
C. V.		0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	2.0	1.8	1.7	0.7	1.1	1.0	0.7	0.3
PE 75%		53.8	46.4	31.6	3.7	0.6	0.0	0.0	0.0	1.1	1.5	4.8	23.8	230.6
P.MINIMO		13.1	14.8	9.6	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	1.8	7.6	96.8
P.MAXIMO		192.1	176.9	136.4	29.8	3.5	7.5	8.0	18.0	6.7	47.7	51.1	127.6	551.6

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación y Lutz Scholz (1980).



Tabla 64: Números Aleatorios

NUMEROS ALEATORIOS														
CHAUIBANDA														
LAT.	14°20'49.00"	DIST. : QUEHUE												
LONG.	71°33'22.20"	PROV. : CANAS												
ALT.	4,174.36 msnm.	DPTO. : CUSCO												
ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	-1.410	1.396	-0.275	-1.330	-0.908	1.348	-0.301	0.842	-1.313	-1.687	-1.703	-0.935	-6.276
2	1965	-1.354	-1.357	-0.740	1.404	0.215	-0.165	0.291	-1.697	0.197	1.481	-1.067	1.863	-0.930
3	1966	1.229	0.092	1.055	-0.039	1.464	-1.058	0.500	-0.039	0.203	0.870	-0.210	-0.874	3.192
4	1967	-0.124	-1.761	-0.162	0.446	-0.678	0.564	-0.861	0.068	-0.551	-0.768	-1.396	-0.133	-5.358
5	1968	-0.773	-1.428	1.208	1.047	-1.550	1.879	0.787	0.682	0.799	0.570	-0.072	1.554	4.703
6	1969	1.204	-1.203	0.263	-0.209	1.089	-0.442	-1.284	0.214	0.089	-0.159	0.561	-0.126	-0.002
7	1970	0.173	1.141	-0.879	-0.418	-1.628	-0.689	-0.539	-0.601	-1.298	0.287	-0.511	1.540	-3.422
8	1971	0.746	0.266	-0.796	1.589	-0.519	1.660	-0.039	-0.649	0.526	1.139	1.254	0.163	5.341
9	1972	-0.025	0.346	1.014	-0.040	0.957	-0.847	0.729	1.180	0.101	0.704	0.001	1.730	5.849
10	1973	0.022	-1.913	-1.233	0.546	1.030	0.224	-0.930	-1.831	-0.694	-1.194	-0.044	0.987	-5.028
11	1974	-1.242	0.729	1.352	1.463	-1.307	-0.064	-1.302	-0.700	1.483	-0.072	-0.708	0.892	0.524
12	1975	-0.600	-0.203	0.334	1.416	0.881	-0.290	1.679	0.926	-1.588	-1.474	1.848	-0.631	2.299
13	1976	-0.135	-0.791	1.007	0.088	-1.655	-0.423	1.093	-1.101	0.535	-0.093	-0.654	-1.435	-3.564
14	1977	-1.217	1.426	1.101	-0.218	0.441	-0.194	-1.615	1.686	-1.443	-0.385	-0.570	0.042	-0.948
15	1978	1.600	0.275	-1.105	-0.479	-0.125	-0.194	1.573	1.222	0.510	1.475	0.074	-0.776	4.049
16	1979	0.996	-1.100	-0.634	0.626	-1.491	1.021	-0.261	0.912	-1.547	1.089	-0.217	0.335	-0.272
17	1980	-0.664	1.160	0.600	-1.230	0.500	1.256	-0.865	0.372	-1.112	0.967	-0.588	1.528	1.924
18	1981	1.839	1.274	1.572	-1.340	-0.773	-0.971	1.245	1.280	0.266	-0.092	0.558	-1.403	3.455
19	1982	-0.819	-0.182	-1.410	-0.935	-0.732	-1.407	-1.490	1.442	-1.564	1.154	-0.198	0.097	-6.044
20	1983	-1.503	0.066	0.222	1.328	1.334	-0.504	-0.357	-0.240	0.868	-1.622	1.220	-1.328	-0.517
21	1984	0.552	1.328	-1.425	-0.699	-1.419	-0.433	-0.228	0.866	0.740	-1.311	-0.523	0.084	-2.467
22	1985	0.746	1.205	1.598	-0.660	-0.216	0.022	-1.237	0.989	1.498	0.622	0.797	-0.859	4.505
23	1986	-1.471	-0.460	-0.037	-1.493	-0.065	0.958	-0.772	1.056	-0.663	-1.477	-0.672	-0.308	-5.406
24	1987	-0.759	1.375	1.579	0.874	0.962	1.486	-0.095	1.643	0.142	-0.986	-1.669	-0.513	4.040
25	1988	1.054	-1.020	0.224	-1.483	0.348	-0.116	1.516	1.054	0.289	-0.039	1.459	0.019	3.304
26	1989	-0.067	-1.230	1.534	1.399	-0.073	0.866	-1.174	-1.017	1.297	1.165	0.961	-1.079	2.582
27	1990	0.802	0.192	1.052	-0.813	0.757	0.533	0.617	0.543	-0.326	-0.462	-1.335	-0.757	0.804
28	1991	-0.718	0.336	-0.242	1.571	-1.001	-0.641	1.178	-0.520	-0.768	-1.139	1.477	-1.052	-1.517
29	1992	0.710	-1.165	0.126	0.806	1.310	0.938	-0.138	0.837	0.137	-0.958	-1.370	-0.653	-0.680
30	1993	-0.595	-0.098	-1.450	1.587	1.400	-1.083	0.310	-0.673	0.959	0.621	-1.414	-0.139	-0.574
31	1994	-0.670	-1.359	0.746	-1.462	-1.149	-0.439	0.974	-0.219	-1.376	1.213	1.399	1.937	-0.405
32	1995	0.812	0.368	0.086	0.310	0.429	1.668	-1.235	0.464	-0.386	-1.572	0.084	0.019	1.047
33	1996	-1.040	0.695	-1.413	0.900	1.085	0.342	0.859	0.349	0.593	0.375	-0.359	2.024	4.409
34	1997	1.644	-0.573	0.231	-1.492	-1.284	-0.961	-0.043	-1.156	1.523	-0.232	0.675	-0.815	-2.482
35	1998	1.644	-1.643	1.594	-0.756	1.414	-0.753	1.301	0.110	1.181	0.268	1.172	-0.363	5.168
36	1999	-0.608	1.302	-1.096	-1.434	0.051	-1.472	1.628	1.333	-0.758	0.835	-1.050	0.590	-0.680
37	2000	-1.038	1.245	-1.348	-0.082	0.141	0.577	-1.526	0.032	-1.484	-0.583	-1.312	-0.817	-6.195
38	2001	0.449	0.732	-0.963	0.884	0.085	-0.990	1.247	0.449	1.348	-0.904	-0.323	-0.990	1.025
39	2002	0.667	1.069	-0.445	-1.172	-0.450	1.828	1.108	-0.447	0.551	0.099	0.112	1.213	4.135
40	2003	-1.077	-0.547	-0.002	-0.972	1.340	1.786	-0.121	0.495	0.011	0.910	1.454	0.442	3.719
41	2004	1.221	0.968	-1.338	0.174	-0.913	0.667	0.893	-1.693	1.404	-1.574	1.582	-1.233	0.157
42	2005	-1.611	-1.334	-1.154	1.103	1.428	-1.272	1.245	-1.655	-0.229	-1.211	1.733	0.099	-2.859
43	2006	-1.371	1.324	-0.963	-0.413	0.887	-0.038	-0.916	-0.573	-0.527	1.147	-0.534	0.931	-1.047
44	2007	-0.946	-1.676	0.626	-1.498	-1.560	-1.309	-0.529	-1.414	0.829	-0.365	-0.111	-0.739	-8.693
45	2008	-0.689	-0.608	1.079	1.499	-1.173	-0.749	-0.301	0.137	-0.918	1.174	-1.449	-0.747	-2.745
46	2009	0.472	0.525	-0.629	-0.529	-0.756	-1.358	-0.849	-1.350	1.343	1.526	0.978	-0.448	-1.075
47	2010	0.555	0.588	1.171	-0.817	-0.004	0.556	-1.212	-1.575	-0.947	0.605	1.497	1.119	1.935
48	2011	1.006	0.673	1.123	0.389	0.755	-1.013	-0.619	-0.481	1.367	0.881	0.313	0.517	4.911
49	2012	1.355	0.912	-1.516	0.246	0.728	-1.334	0.635	1.366	-1.274	0.890	0.356	-0.240	2.124
50	2013	-0.310	-0.005	0.122	-0.087	-1.450	-0.718	0.776	-1.041	-0.716	0.342	-0.609	1.290	-2.405
51	2014	-0.117	0.094	-0.082	0.782	-0.665	-0.568	-0.565	-0.833	0.651	1.149	0.054	0.870	0.769
52	2015	-0.547	0.086	-0.462	-0.328	1.344	0.174	0.657	-1.284	-0.824	-1.664	-1.376	-1.030	-5.254
53	2016	0.705	-0.988	-0.047	-1.163	0.732	1.092	-1.103	0.385	1.105	-0.299	-0.604	-1.382	-1.565
54	2017	-0.415	-0.010	-1.520	0.488	0.654	-0.802	1.208	-0.856	1.294	-1.301	0.964	1.115	0.819
55	2018	1.714	-0.530	0.745	0.629	-0.220	1.853	-1.541	0.712	-1.532	0.062	0.062	-1.192	0.761
MEDIA		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
DEV. EST. A		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
COMPROBACION														
MEDIA		0.0	OK!											
DEV. ESTANDAR		1.0	OK!											

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de generación de caudales mensuales de Lutz Scholz (1980).



Tabla 65: Caudales Generados

CAUDALES GENERADOS - MICROCUENCA YURACCASA														
EN MM (LAMINA DE AGUA)														
LAT.	14°20'49.00"													
LONG.	71°33'22.20"													
ALT.	4,174.36	msnm.	DIST. :	QUEHUE										
			PROV. :	CANAS										
			DPTO. :	CUSCO										
					GENERACIÓN DE CAUDALES (MM)									
					B1	B2	B3	R	S	CAUDAL INICIAL				
					0.51	0.06	0.93	1.00	0.80	44.74				
ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	25.118	38.460	32.877	8.775	2.424	0.668	0.578	1.168	2.045	3.489	7.680	18.144	141.425
2	1965	14.903	51.716	26.969	7.289	1.080	0.568	0.907	0.677	3.578	4.153	4.914	96.952	213.707
3	1966	26.692	49.426	19.332	2.947	3.973	0.713	0.599	0.828	2.118	12.229	28.987	26.844	174.689
4	1967	18.392	40.176	118.289	10.337	2.423	0.770	3.119	3.329	5.227	5.797	3.985	26.140	237.983
5	1968	124.678	64.691	62.853	6.805	2.071	1.360	2.210	2.318	2.407	10.111	41.622	11.750	332.876
6	1969	58.909	56.704	31.650	7.478	1.438	0.988	1.098	0.971	1.476	4.230	14.748	34.781	214.472
7	1970	106.960	86.089	79.389	10.872	1.980	0.678	1.112	1.249	4.994	5.304	3.849	118.875	421.351
8	1971	91.660	169.360	33.817	6.951	1.516	0.732	0.617	0.687	0.723	2.706	2.386	36.363	347.518
9	1972	122.731	42.369	75.449	10.215	1.483	0.579	1.524	2.100	3.179	3.449	4.928	22.335	290.341
10	1973	165.339	120.306	90.729	33.121	3.492	0.906	1.014	1.364	2.992	3.019	10.629	36.411	469.321
11	1974	115.425	148.204	40.254	7.945	1.419	1.591	0.650	8.487	2.473	2.006	3.545	9.668	341.667
12	1975	87.872	105.974	51.494	9.598	4.170	1.226	0.687	1.075	2.636	5.673	4.132	75.835	350.370
13	1976	95.476	64.824	59.904	7.500	2.373	1.906	0.905	1.642	5.708	1.618	2.461	10.867	255.184
14	1977	13.229	129.242	37.022	4.917	1.303	0.580	1.395	0.692	2.488	4.728	14.086	10.710	220.391
15	1978	176.860	26.285	27.488	9.442	1.621	0.711	0.619	0.814	1.904	3.079	17.658	31.667	298.146
16	1979	63.800	32.988	47.820	8.282	2.316	0.710	1.157	2.041	2.240	2.755	13.122	26.292	203.523
17	1980	33.956	27.902	83.372	7.737	1.843	1.045	1.644	1.849	2.837	23.345	7.076	23.202	215.808
18	1981	147.917	104.844	38.470	9.706	1.697	0.992	0.931	4.197	3.598	9.905	10.911	42.092	375.259
19	1982	96.016	30.146	77.040	12.339	1.472	0.830	1.131	1.162	5.452	17.517	35.171	9.494	287.768
20	1983	25.138	25.541	19.608	5.695	1.724	0.946	0.971	0.845	2.594	2.908	2.553	12.634	101.156
21	1984	127.294	116.521	133.224	19.030	1.910	1.216	0.810	1.486	0.931	22.366	40.524	49.727	515.040
22	1985	24.220	79.075	39.843	11.527	3.250	2.518	1.153	1.120	4.878	3.795	18.153	66.524	256.056
23	1986	75.148	54.193	71.666	15.070	2.134	0.661	0.695	2.351	2.683	1.977	4.138	72.687	303.403
24	1987	167.133	23.530	13.042	3.877	0.975	1.166	2.579	1.382	0.792	3.403	27.180	23.851	268.909
25	1988	146.201	48.477	99.916	26.404	2.736	0.684	0.671	0.576	1.067	2.789	2.647	23.022	355.189
26	1989	110.667	70.198	90.858	14.287	4.417	1.395	0.636	1.153	2.938	5.235	7.112	15.387	324.282
27	1990	46.878	22.169	15.960	4.607	1.260	7.552	1.410	1.022	1.439	8.862	9.594	20.739	141.490
28	1991	24.110	44.636	31.041	7.879	1.948	5.669	0.903	0.556	2.244	44.740	18.735	26.934	209.395
29	1992	23.446	28.018	13.083	2.869	0.887	1.741	0.809	5.255	1.595	5.564	9.324	13.766	106.356
30	1993	140.675	31.192	37.570	17.062	2.175	1.048	0.836	2.473	2.425	7.548	48.025	82.307	373.335
31	1994	142.518	118.077	95.547	12.951	2.533	0.666	7.939	0.991	1.982	3.522	6.525	50.321	443.572
32	1995	53.405	49.896	107.886	11.633	1.556	0.633	0.578	0.628	2.336	3.427	8.423	35.785	276.185
33	1996	90.694	102.758	32.017	11.192	2.254	0.848	0.636	1.956	2.297	3.504	5.735	40.888	294.779
34	1997	126.404	100.703	63.579	7.488	1.880	0.599	0.681	3.435	4.503	2.866	33.919	43.159	389.216
35	1998	95.208	49.182	21.574	3.495	0.994	0.964	0.586	0.757	0.814	5.111	7.342	25.182	211.208
36	1999	61.120	120.493	59.618	13.306	2.171	0.921	0.633	0.569	4.827	4.238	3.757	55.559	327.211
37	2000	121.539	121.363	86.534	7.225	2.299	1.296	0.695	1.814	1.921	13.497	4.073	33.111	395.367
38	2001	180.188	165.222	119.880	21.955	3.830	0.771	2.135	1.685	2.131	3.681	8.662	36.626	546.766
39	2002	23.441	120.571	66.487	11.035	2.986	0.855	2.257	1.518	2.363	4.991	9.884	85.716	332.104
40	2003	98.320	153.276	99.429	13.412	3.441	1.668	0.668	3.424	2.211	4.170	3.764	57.533	441.315
41	2004	85.631	82.047	32.945	5.694	1.716	1.416	1.598	2.425	2.534	3.317	13.356	28.030	260.710
42	2005	56.880	76.383	50.989	11.108	2.275	0.660	0.669	1.650	1.575	16.564	10.155	32.334	261.243
43	2006	146.398	59.881	32.985	12.967	1.559	1.533	0.580	1.995	1.775	4.604	9.651	75.029	348.957
44	2007	111.902	60.161	65.583	8.861	1.318	0.642	0.897	0.748	2.616	3.240	9.685	10.596	276.249
45	2008	34.102	40.807	19.123	3.520	1.400	0.961	0.578	17.197	2.359	4.847	8.151	102.364	235.409
46	2009	28.725	62.333	33.693	4.712	1.902	0.649	1.181	0.693	1.533	4.541	28.182	21.039	189.183
47	2010	161.410	49.528	45.248	7.094	1.581	0.627	0.552	1.072	1.305	3.946	13.842	50.907	337.111
48	2011	63.323	152.297	78.236	21.451	2.452	0.950	0.859	0.628	4.096	3.062	11.066	53.982	392.402
49	2012	24.301	118.985	52.964	13.932	2.512	0.742	0.590	6.003	2.390	2.524	47.912	81.771	354.626
50	2013	78.532	84.258	23.845	4.376	3.445	1.676	0.712	1.791	1.121	6.717	25.955	89.148	321.576
51	2014	135.547	84.772	26.130	5.434	3.372	0.736	1.003	0.851	6.749	4.038	4.378	66.886	339.895
52	2015	110.193	43.660	14.262	8.103	1.838	1.133	1.597	1.218	1.388	15.755	6.005	56.168	261.319
53	2016	29.769	82.076	13.902	8.142	2.506	0.668	1.046	3.051	1.700	5.566	8.529	14.329	171.284
54	2017	48.814	21.987	102.067	15.598	4.257	1.048	1.775	1.275	2.909	9.831	23.268	240.249	
55	2018	127.546	108.709	96.315	10.742	1.746	1.909	4.496	3.272	1.428	8.868	13.125	37.161	415.317
MEDIA		86.050	75.685	55.288	10.291	2.206	1.213	1.242	2.100	2.591	6.878	13.305	41.507	298.358
DESV ESTA		49.552	41.154	32.200	5.829	0.886	1.152	1.171	2.544	1.350	7.137	11.895	27.054	97.243
Q AL 75%		52.628	47.927	33.570	6.359	1.609	0.436	0.452	0.384	1.681	2.065	5.282	23.260	232.768
COMPROBACION														
"C" adoptado			0.40											
"C" calculado			0.37											
Ccal <= C adop. en 5%			-7.48 %		OK!									

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de generación de caudales mensuales de Lutz Scholz (1980).

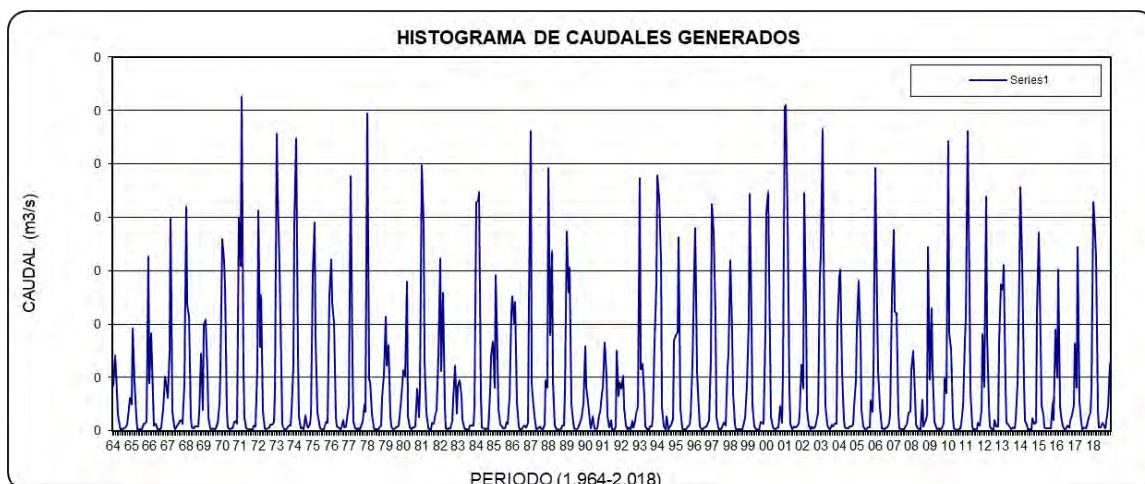


Tabla 66: Caudales generados(m³/s) - Yuraccasa

CAUDALES GENERADOS - MICROCUENCA YURACCASA														
EN M3/SEG														
LAT.		14°20'49.00"		DIST. :		QUEHUE								
LONG.		71°33'22.20"		PROV. :		CANAS								
ALT.		4,174.36 msnm.		DPTO. :		CUSCO								
AREA CUENCA:												0.45		KM2
ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	0.004	0.007	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.025
2	1965	0.003	0.010	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.016	0.037
3	1966	0.004	0.009	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.005	0.005	0.030
4	1967	0.003	0.007	0.020	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.041
5	1968	0.021	0.012	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.007	0.002	0.057
6	1969	0.010	0.010	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.006	0.037
7	1970	0.018	0.016	0.013	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.020	0.072
8	1971	0.015	0.031	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.061
9	1972	0.021	0.008	0.013	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.004	0.050
10	1973	0.028	0.022	0.015	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.006	0.081
11	1974	0.019	0.027	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.060
12	1975	0.015	0.020	0.009	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.013	0.061
13	1976	0.016	0.012	0.010	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.044
14	1977	0.002	0.024	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.039
15	1978	0.030	0.005	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.005	0.051
16	1979	0.011	0.006	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.035
17	1980	0.006	0.005	0.014	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.004	0.037
18	1981	0.025	0.019	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.007	0.065
19	1982	0.016	0.006	0.013	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.006	0.002	0.049
20	1983	0.004	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.017
21	1984	0.021	0.022	0.022	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.007	0.008	0.089
22	1985	0.004	0.015	0.007	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.011	0.045
23	1986	0.013	0.010	0.012	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.012	0.052
24	1987	0.028	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.004	0.046
25	1988	0.025	0.009	0.017	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.061
26	1989	0.019	0.013	0.015	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.003	0.056
27	1990	0.008	0.004	0.003	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.024
28	1991	0.004	0.008	0.005	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.008	0.003	0.005	0.036
29	1992	0.004	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.018
30	1993	0.024	0.006	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.008	0.014	0.064
31	1994	0.024	0.022	0.016	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.008	0.077
32	1995	0.009	0.009	0.018	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.006	0.047
33	1996	0.015	0.019	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.007	0.051
34	1997	0.021	0.019	0.011	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.006	0.007	0.067
35	1998	0.016	0.009	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.004	0.036
36	1999	0.010	0.022	0.010	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.009	0.057
37	2000	0.020	0.022	0.015	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.006	0.069
38	2001	0.030	0.030	0.020	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.006	0.095
39	2002	0.004	0.022	0.011	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.014	0.058
40	2003	0.017	0.028	0.017	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.010	0.077
41	2004	0.014	0.015	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.005	0.045
42	2005	0.010	0.014	0.009	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.005	0.045
43	2006	0.025	0.011	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.013	0.060
44	2007	0.019	0.011	0.011	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.048
45	2008	0.006	0.008	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.001	0.017	0.040
46	2009	0.005	0.012	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.004	0.033
47	2010	0.027	0.009	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.009	0.058
48	2011	0.011	0.028	0.013	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.009	0.069
49	2012	0.004	0.022	0.009	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.008	0.014	0.062
50	2013	0.013	0.016	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.015	0.056
51	2014	0.023	0.016	0.004	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.011	0.059
52	2015	0.019	0.008	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.009	0.045
53	2016	0.005	0.015	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002	0.030
54	2017	0.008	0.004	0.017	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.004	0.041
55	2018	0.021	0.020	0.016	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.006	0.072
MEDIA		0.014	0.014	0.009	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007	0.052
DESV ESTA		0.008	0.008	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.005	0.017
Q AL 50%		0.014	0.014	0.009	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.007	0.052
Q AL 75%		0.009	0.009	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.040
Q AL 90%		0.004	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.030
Q. MINIMO		0.002	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.017
Q. MAXIMO		0.030	0.031	0.022	0.006	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.008	0.008	0.020	0.095

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de generación de caudales mensuales de Lutz Scholz (1980).

Gráfico 22: Histograma Caudales Generados - Yuraccasa



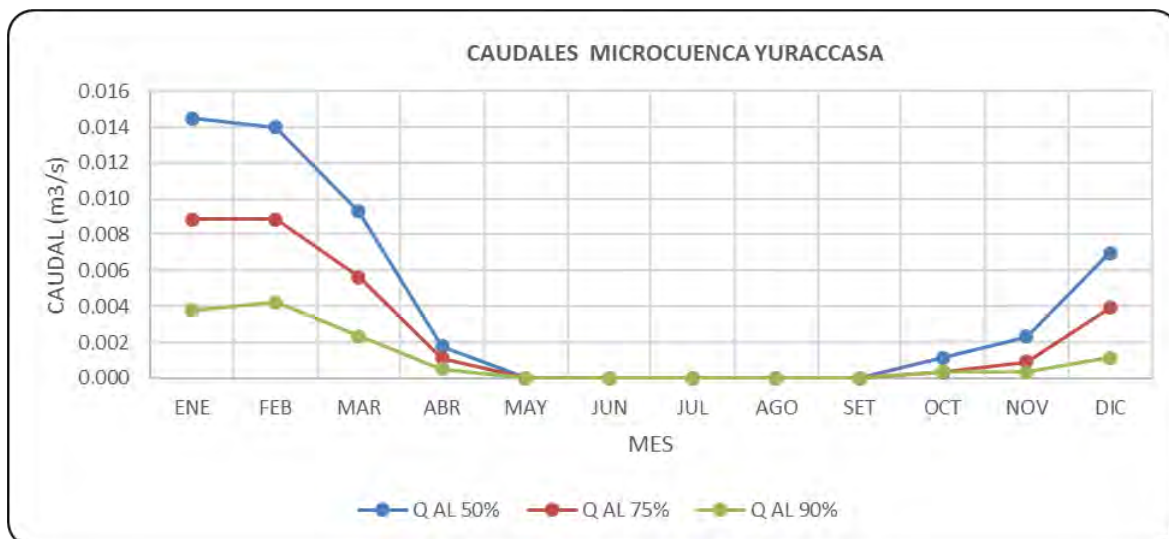
Fuente: Elaboración propia

Tabla 67: Generación de Caudal Media Mensual (m^3/s) para diferentes percentiles - Yuraccasa

PERCENTIL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
MEDIA	0.014	0.014	0.009	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.002	0.007	0.052
Q AL 50%	0.014	0.014	0.009	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.002	0.007	0.052
Q AL 75%	0.009	0.009	0.006	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001	0.004	0.040
Q AL 90%	0.004	0.004	0.002	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.001	0.030

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de generación de caudales mensuales de Lutz Scholz (1980).

Gráfico 23: Generación de caudal para diferentes percentiles en m^3/s - Yuraccasa



Fuente: Elaboración propia



Tabla 68: Factores de Influencia Geográfica - Yuraccasa

CUENCA EN ESTUDIO - 01 YURACCASA														
ESTACIÓN	ALTITUD msnm	COORDENADAS		PRECIPITACIÓN HISTÓRICA P _{hist.}	PRECIPITACIÓN CORREGIDA P _{correg.}	DIST. HORIZ. CUENCA- ESTACION d _i (m)	DIFERENCIA DE ALTITUD ENTRE PUNTO INTERES ESTACIONES h _i (m)	FACTOR DE INFLUENCIA POR TRANSPORTE DE PRECIPITACIÓN POR ALTITUD	FACTORES DE INFLUENCIA POR DISTANCIA Y ALTITUD DE ESTACIONES A				FACTOR DE INFLUENCIA POR DIST. Y ALTITUD F _{dh} = (F _d + F _h)/2	FACTOR DE INFLUENCIA TOTAL F _t = F _p ·F _{dh}
		Latitud	Longitud						Proporción Inversa Distancia F _d = (f _{1i} /∑f _{1i})		Proporción Inversa Diferencia F _h = (f _{2i} /∑f _{2i})			
YAURI	3,940.00	14.80	71.43	773.07	774.80	0.49	234.36	1.043	11.15	0.1953	22.4636	0.0696	0.1325	0.138
KAYRA	3,219.00	13.56	71.87	674.70	669.14	0.84	955.36	1.195	6.46	0.1131	5.5105	0.0171	0.0651	0.078
PISAC	2,950.00	13.42	71.85	622.87	625.16	0.96	1,224.36	1.294	5.62	0.0985	4.2998	0.0133	0.0559	0.072
SICUANI	3,564.00	14.24	71.24	710.00	721.63	0.33	610.36	1.135	16.24	0.2845	8.6253	0.0267	0.1556	0.177
ANGOSTURA	4,155.00	15.18	71.58	808.02	803.63	0.85	19.36	0.998	6.37	0.1116	271.9657	0.8426	0.4771	0.476
PAUCARTAMBO	2,830.00	13.27	71.62	605.08	604.51	1.07	1,344.36	1.332	5.07	0.0888	3.9160	0.0121	0.0505	0.067
CHITAPAMPA	3,298.00	13.53	71.92	686.60	681.52	0.88	876.36	1.174	6.18	0.1082	6.0073	0.0186	0.0634	0.074
MCUENCA YURACCASA	4,174.36	14.33	71.56	806.17	Σ	5.42	5,264.50		57.09	1.00	322.79	1.0000	1.0000	1.083

ÁREAS DE RIEGO - 02 ÁREAS DE CULTIVO														
ESTACIÓN	ALTITUD msnm	COORDENADAS		PRECIPITACIÓN HISTÓRICA $P_{hist.}$	PRECIPITACIÓN CORREGIDA $P_{correg.}$	DIST. HORIZ. CUENCA- ESTACION d_i (m)	DIFERENCIA DE ALTITUD ENTRE PUNTO INTERES ESTACIONES h_i (m)	FACTOR DE INFLUENCIA POR TRANSPORTE DE PRECIPITACIÓN POR ALTITUD	FACTORES DE INFLUENCIA POR DISTANCIA Y ALTITUD DE ESTACIONES A					FACTOR DE INFLUENCIA TOTAL $F_t = F_p \cdot F_{dh}$
		Latitud	Longitud						$f_{1i} = \sum (d_i)/d_i$ $F_d = (f_{1i}/\sum f_{1i})$		$f_{2i} = \sum (h_i)/h_i$ $F_h = (f_{2i}/\sum f_{2i})$		FACTOR INFLUENCIA POR DIST. Y ALTITUD $F_{dh} = (F_d + F_h)/2$	
YAURI	3,940.00	14.80	71.43	773.07	774.80	0.47	147.50	1.028	11.72	0.2019	32.4847	0.2457	0.2238	0.230
KAYRA	3,219.00	13.56	71.87	674.70	669.14	0.86	868.50	1.178	6.33	0.1091	5.5170	0.0417	0.0754	0.089
PISAC	2,950.00	13.42	71.85	622.87	625.16	0.98	1,137.50	1.276	5.54	0.0954	4.2123	0.0319	0.0636	0.081
SICUANI	3,564.00	14.24	71.24	710.00	721.63	0.32	523.50	1.119	16.83	0.2900	9.1528	0.0692	0.1796	0.201
ANGOSTURA	4,155.00	15.18	71.58	808.02	803.63	0.83	67.50	0.984	6.54	0.1127	70.9852	0.5368	0.3247	0.319
PAUCARTAMBO	2,830.00	13.27	71.62	605.08	604.51	1.09	1,257.50	1.313	5.02	0.0865	3.8103	0.0288	0.0577	0.076
CHITAPAMPA	3,298.00	13.53	71.92	686.60	681.52	0.90	789.50	1.157	6.06	0.1045	6.0690	0.0459	0.0752	0.087
ÁREAS DE CULTIVO	4,087.50	14.35	71.54	794.69	Σ	5.46	4,791.50		58.06	1.00	132.23	1.0000	1.0000	1.083

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis hidrológico y metodología de regionalización de precipitación de Lutz Scholz (1980).

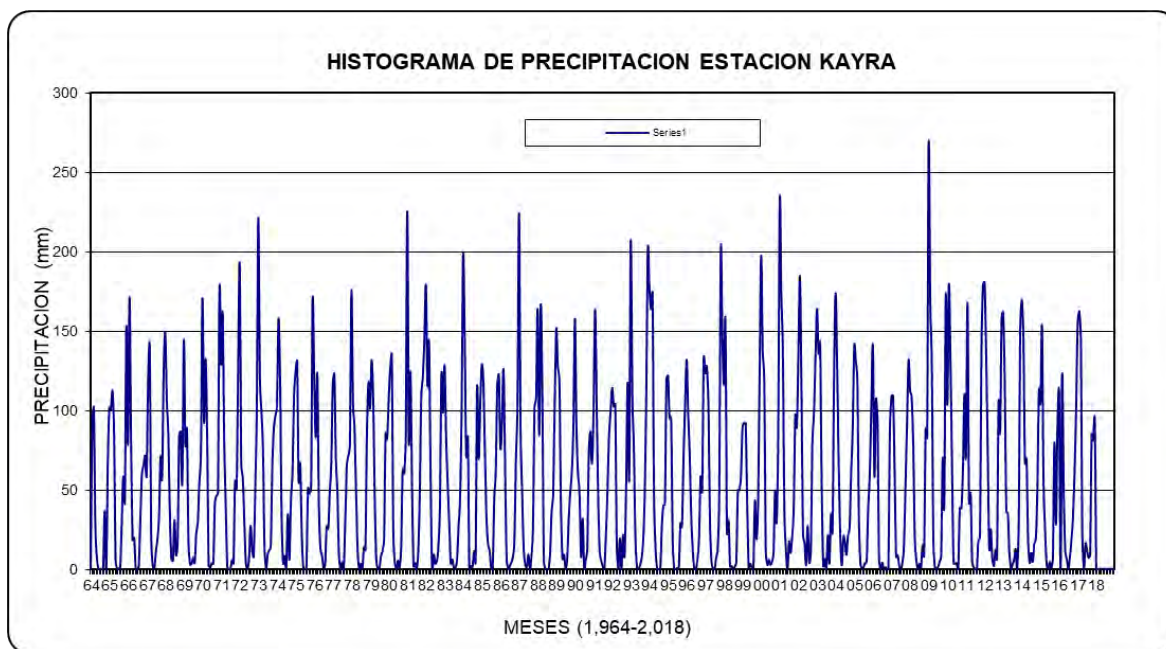


Tabla 69: Información Hidrometeorológica e hidrométrica histórica, completada y sintética Histórica
- Kayra

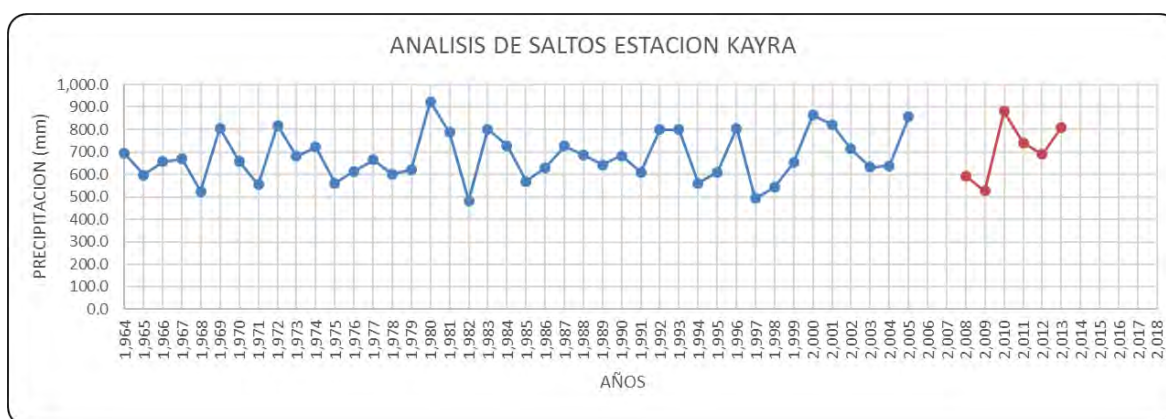
PRESIPITACION TOTAL MENSUAL HISTORICA														
(mm)														
Estacion : KAYRA		Latitud : 13° 33' 24.7" S						Departamento : Cusco						
Tipo : CO-607		Longitud : 71° 52' 29.8" W						Provincia : Cusco						
		Altitud : 3,219 msnm						Distrito : San Jeronimo						
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964		92.5		101.6	26.0	6.5	0.0	0.0	0.0	36.5	0.0	65.6	
2	1,965	101.8	100.5	112.4	88.0	5.8	0.0	0.4	1.0	29.6	58.3	42.5	153.0	693.3
3	1,966	78.3	171.2	79.9	18.3	19.8	0.0	0.0	1.7	31.9	59.7	65.2	71.4	597.4
4	1,967	59.1	118.4	140.3	19.0	1.8	0.6	11.0	19.0	32.8	70.9	57.2	125.6	655.7
5	1,968	149.4	106.6	84.5	34.6	6.3	5.3	30.9	8.6	16.3	84.6	86.7	54.4	668.2
6	1,969	144.4	77.8	88.1	16.8	2.9	3.3	7.2	3.9	22.8	29.8	54.7	72.9	524.6
7	1,970	170.6	92.6	132.5	86.1	2.3	1.0	3.7	3.4	42.1	46.1	48.2	177.4	806.0
8	1,971	128.9	161.6	83.6	40.0	1.5	0.1	0.0	5.7	3.5	55.7	51.0	127.5	659.1
9	1,972	192.1	66.8	57.2	29.7	3.4	0.0	6.5	27.3	12.2	7.9	50.2	100.2	553.5
10	1,973	221.3	120.9	99.6	75.2	14.0	0.0	9.1	11.8	14.5	65.1	88.8	96.5	816.8
11	1,974	102.5	157.7	121.5	34.5	3.6	8.2	1.0	34.6	5.9	43.3	60.9	108.0	681.7
12	1,975	124.7	131.0	55.3	66.8	22.5	0.7	0.3	0.6	51.1	47.5	51.0	170.1	721.6
13	1,976	119.6	83.1	123.1	42.9	13.0	8.7	0.7	2.5	26.8	25.3	47.8	66.8	560.3
14	1,977	116.7	122.8	69.3	47.6	7.9	0.0	4.4	0.0	29.9	65.0	71.5	78.0	613.1
15	1,978	175.4	106.1	88.5	48.7	11.4	0.0	3.4	0.0	13.7	12.3	86.7	117.9	664.1
16	1,979	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	1,980	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	1,981	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	1,982	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	1,983	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	1,984	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	1,985	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	1,986	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	1,987	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	1,988	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	1,989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	48.70	60.70	88.50	686.3
27	1,990	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	1,991	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	1,992	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	1,993	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	1,994	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	1,995	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	1,996	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	1,997	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	1,998	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	1,999	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	2,000	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	2,001	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	2,002	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	2,003	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	2,004	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	2,005	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	2,006	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	2,007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00			88.40	
45	2,008	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	2,009	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	2,010	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	2,011	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	2,012	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	2,013	180.50	137.20	75.50	13.00	25.30	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40	808.7
51	2,014	161.90	116.50	36.50	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60		29.60	152.10	
52	2,015	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	2,016	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	2,017	111.20		122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40	19.00	33.70	61.40	101.70	
55	2,018	154.76	162.50	146.27	20.30	0.20	16.00	11.60	7.10	9.10	84.82	80.75	95.00	788.4
N° Datos		54	54	55	55	55	55	55	55	55	53	54	55	51
Media		145.1	123.2	98.4	40.8	6.5	3.8	3.9	6.0	17.6	48.6	70.3	110.4	674.6
Desv. Estandar		45.88	31.81	34.60	23.23	6.05	6.15	6.44	7.20	12.55	24.95	33.62	34.06	108.81
Coef. Variacion		31.61	25.83	35.16	56.95	92.79	159.83	163.05	120.67	71.46	51.38	47.80	30.87	16.13
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				
										8/27/2020 22:00				

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos del SENAMHI y procesamiento estadístico de datos hidrometeorológicos.

Gráfico 24: Histograma de Precipitación estación - Kayra



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 70: Análisis de Estadístico de Saltos - Kayra

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS													
Estacion : KAYRA			Codigo:		156323				Cuenca: VILCANOTA				
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-2005	504.00	56.532	55.371	0.050	0.050	56.371	7.102	0.33	1.96	1.29	1.37	No	No
2008-2013	72	58.856	63.008										

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

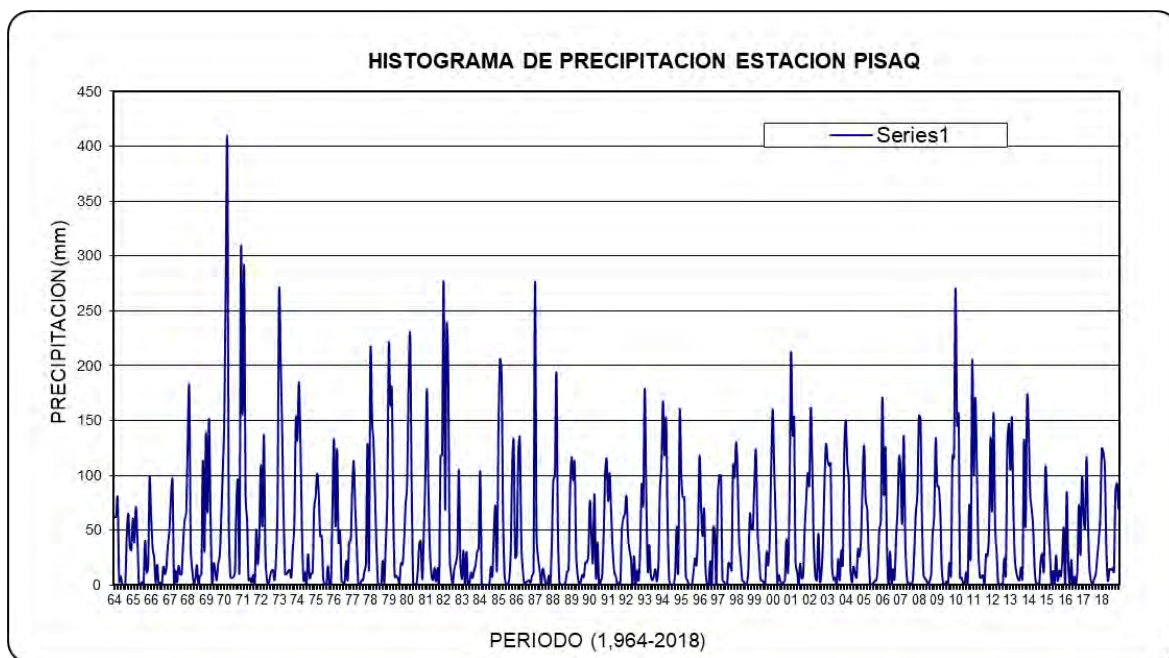


Tabla 71: Precipitación Total Mensual Histórica - PISAQ

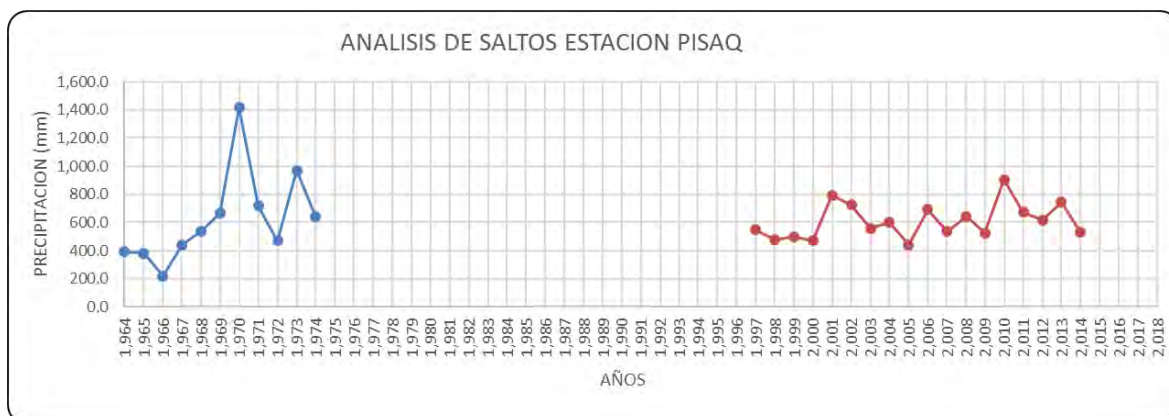
PRESIPITACION TOTAL MENSUAL HISTORICA														
(mm)														
Estacio		PISAC												
Tipo		CP		Latitud		: 13° 24' 57"		S		Departamento		: Cusco		
				Longitud		: 71° 51' 03"		W		Provincia		: Calca		
				Altitud		: 2,950		msnm		Distrito		: Pisac		
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	62.3	62.0	79.0	3.0	8.0	0.0	0.0	0.0	44.0	65.0	35.0	31.7	390.0
2	1965	60.5	38.6	71.0	43.0	0.0	0.0	2.5	0.0	40.1	11.0	17.0	97.5	381.2
3	1966	61.0	33.7	24.2	2.0	18.1	0.0	2.0	0.0	16.4	9.6	15.8	37.0	219.8
4	1967	50.0	79.4	95.5	0.0	13.0	2.3	17.1	9.9	9.4	37.8	59.2	65.2	438.8
5	1968	128.7	179.9	32.0	13.3	1.0	5.2	17.9	0.2	8.5	9.5	112.9	30.2	539.3
6	1969	138.3	65.9	151.6	61.1	0.0	19.5	13.0	4.1	19.9	26.6	60.5	103.7	664.2
7	1970	150.3	279.6	402.3	57.3	7.3	6.3	7.2	11.3	73.2	94.7	17.3	307.5	1,414.3
8	1971	155.3	291.2	80.7	58.3	4.1	5.9	2.1	9.1	0.0	50.3	18.6	43.6	719.2
9	1972	108.8	53.3	136.5	25.9	4.1	0.0	7.4	12.8	13.3	4.2	24.8	77.5	468.6
10	1973	267.2	205.1	141.0	60.6	9.5	9.7	12.8	13.4	7.1	32.9	56.8	152.0	968.1
11	1974	131.7	184.6	130.1	50.7	4.1	11.4	1.0	27.8	6.2	10.1	11.5	70.0	639.2
12	1975	80.6	101.3	83.8	44.1	44.6	5.1	0.0	0.0	16.8			68.6	
13	1976	133.0	53.2	123.7	39.1	49.5	3.2	2.1	2.0	21.8	4.1	39.6	39.8	511.1
14	1977	86.5	112.5	69.4	34.3	0.0	0.0	4.0	4.1	12.4	19.0	128.4	14.2	484.8
15	1978	212.7	151.8	128.2	81.3	31.1	0.0	0.0	0.0	21.9	2.1	37.9	81.9	748.9
16	1979	219.6	163.4	179.4	59.3	7.1	8.0	6.0	2.0	19.9	18.4	39.2	73.2	795.5
17	1980	92.8	182.2	226.8	89.7	2.0	0.0	0.0	11.3	36.7	39.8	5.0	48.5	734.8
18	1981	97.9	178.3	89.7	31.4	9.3	4.2	15.3	3.0	15.4		118.1	117.9	
19	1982	276.4	68.4	236.2	195.4	25.5	8.0	1.0	15.1	19.9	30.1	104.5	18.7	999.2
20	1983	5.1	31.1		29.8	0.0	2.0	11.1	6.1	13.3	18.5	30.5	34.0	
21	1984	103.5							16.5	8.1	46.6	71.4	13.6	
22	1985	140.6	205.5	194.5	64.3	8.3	0.0	0.0	5.1	27.9	108.1	131.2	25.0	910.5
23	1986	27.8	118.9	134.0	38.5	12.5	0.0	2.1	3.3	4.0	2.1	8.3	11.8	363.3
24	1987	276.3	45.9	24.6	13.3	0.0	14.6	9.1	0.0	0.0	8.2		38.8	
25	1988	96.1	99.6	193.4	52.4	2.0	0.0	0.0	0.0	2.3	12.0	13.7	85.9	557.4
26	1989	116.3	94.8	111.5	25.9	8.0	0.0	3.0	9.2	7.2	20.5	20.2	27.1	443.7
27	1990	76.7	45.6	20.3	82.6	6.2	38.4	0.0	3.0	8.4	44.1	99.4	115.0	539.7
28	1991	76.2	101.7	64.5	31.4	11.5	8.0	0.0	2.0	2.0	50.7	61.4	65.4	474.8
29	1992	81.0	45.4	31.7	22.6	0.0	26.0		13.3	4.0	32.0	91.8	73.0	
30	1993	178.9	82.9	12.4	36.0	8.2	4.2	8.2	14.2	3.0	18.2	87.0	109.8	563.0
31	1994	167.2	118.0	151.6	59.8	5.3	0.0	0.0	0.0	12.4	52.6	13.2	158.6	738.7
32	1995	98.9	79.5	80.0	7.2	4.2	0.0	0.0	0.0	12.2	24.2	18.2	51.6	376.0
33	1996	117.6	69.3	44.4	69.3	12.1	0.0	0.0	21.6		52.5	47.5		
34	1997	82.7	99.9	99.5	4.1	2.9	0.0	0.0	20.1	18.1	13.5	108.9	97.8	547.5
35	1998	129.8	98.7	38.2	21.6	4.2	3.0	0.0	0.8	13.5	64.0	50.9	51.3	476.0
36	1999	93.2	122.3	51.5	28.3	4.9	3.7	2.6	0.0	30.0	17.7	40.2	105.9	500.3
37	2000	159.8	105.4	58.7	2.2	9.1	3.7	0.0	2.0	4.4	41.6	11.0	70.6	468.5
38	2001	211.2	136.4	152.2	19.9	12.1	0.0	19.4	5.6	8.0	50.0	77.4	102.0	794.2
39	2002	90.6	161.4	106.1	35.8	6.6	4.3	46.6	3.3	10.9	39.4	91.6	127.9	724.5
40	2003	114.4	108.7	110.7	15.8	4.4	6.8	0.0	23.6	4.0	31.7	18.3	120.9	559.3
41	2004	149.9	109.2	95.6	15.8	2.0	16.4	10.3	6.9	32.5	25.9	43.0	94.3	601.8
42	2005	127.0	76.9	69.1	29.6	0.0	0.0	1.5	3.7	4.1	18.0	50.5	58.6	439.0
43	2006	170.7	82.2	125.0	34.5	0.0	30.0	0.0	14.3	5.2	42.7	69.7	117.1	691.4
44	2007	102.7	55.8	135.8	42.1	7.6	0.0	1.7	0.0	4.9	32.7	66.9	83.3	533.5
45	2008	154.3	151.5	61.5	8.5	5.9	3.6	0.7	3.2	9.8	46.8	64.1	133.9	643.8
46	2009	89.9	89.4	66.2	14.1	0.2	0.0	3.1	0.8	20.4	8.2	118.1	115.3	525.7
47	2010	270.1	145.1	155.8	6.0	6.5	1.1	1.4	11.4	1.8	72.7	26.3	204.2	902.4
48	2011	100.7	170.6	109.2	32.9	6.8	7.0	8.6	0.6	27.9	26.2	48.0	134.5	673.0
49	2012	67.0	157.0	54.2	30.1	1.2	0.5	0.8	0.5	24.1	8.6	127.0	146.8	617.8
50	2013	104.8	152.2	68.1	23.3	10.7	5.4	4.1	15.8	5.6	132.0	52.9	170.1	745.0
51	2014	143.8	82.6	68.7	50.0	12.8	0.0	1.3	1.5	22.9	28.2	12.5	105.8	530.1
52	2015	78.0	49.8	28.3		12.5	0.0	26.8	3.6	13.1	7.4	20.6	51.8	
53	2016		84.5	19.7		22.5		7.3	0.0	14.1	72.9	27.1	98.2	
54	2017	66.4	52.5	116.2	54.8	12.9	3.2	0.8	5.5	9.0	24.6	40.8	61.9	448.6
55	2018	124.3	121.1	107.0	32.6	3.9	14.2	13.6	15.0	11.8	85.7	92.6	69.4	691.2
Nº Datos		54	54	53	52	54	53	53	55	54	53	53	54	46
Media		124.2	111.8	102.7	38.2	8.6	5.4	5.6	6.5	14.9	34.8	53.9	85.4	591.9
Desv. Estandar		60.62	58.19	67.85	31.45	10.00	8.07	8.47	7.09	13.08	27.80	36.95	53.33	206.70
Coef. Variacion		48.81	52.06	66.09	82.39	115.82	150.10	151.84	108.80	87.86	79.83	68.60	62.47	34.92
Prec. Max.		276.4	291.2	402.3	195.4	49.5	38.4	46.6	27.8	73.2	132.0	131.2	307.5	402.3
Prec. Min.		5.1	31.1	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	5.0	11.8	0.0
FUENTE: SENAMHI											FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00			

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos del SENAMHI y procesamiento hidrológico.

Gráfico 25: Histograma de Precipitación Estación Písaq



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 72: Análisis de Estadístico de Saltos - Písaq

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS													
Estacion : PISAQ			Codigo:					Cuenca: VILCANOTA					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1974	132.00	51.839	69.870	0.050	0.050	60.731	6.709	0.15	1.97	1.65	1.29	No	Si
1997-2014	216	50.805	54.416										

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

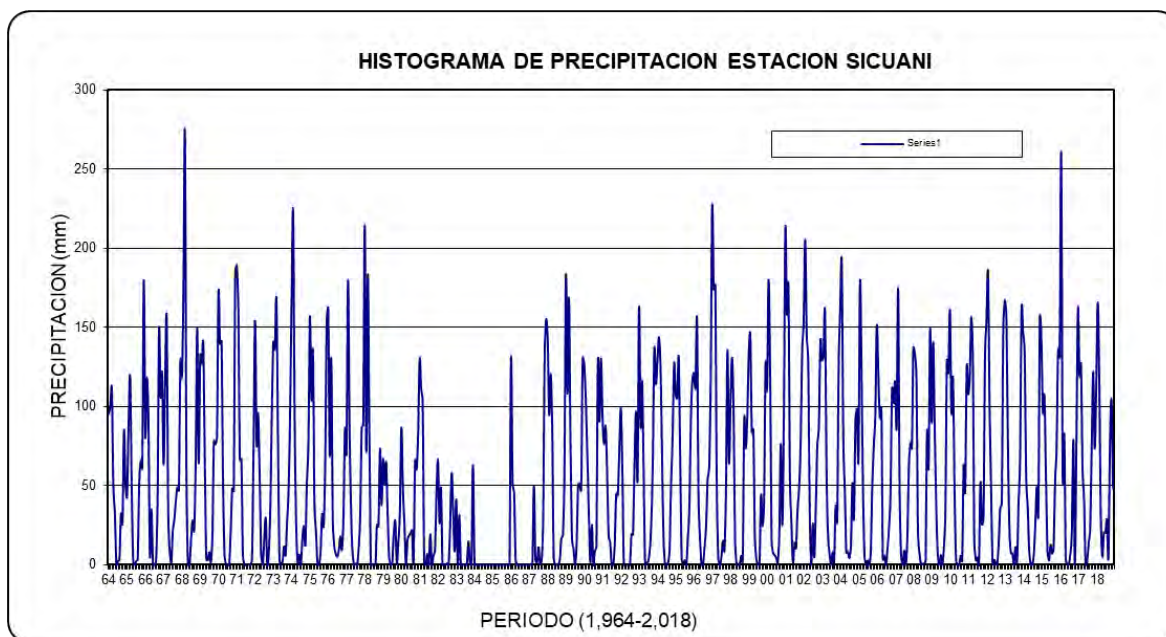


Tabla 73: Registro de Precipitación Media Mensual - Sicuani

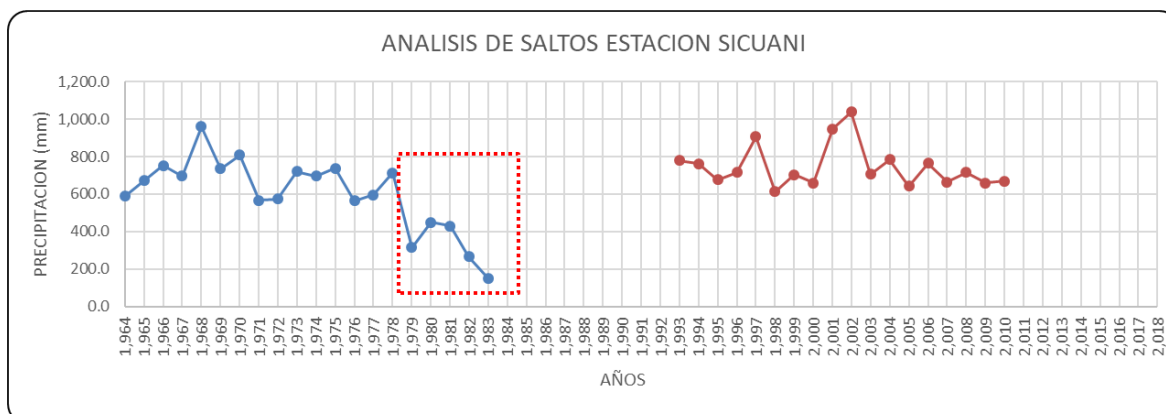
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL														
(mm)														
Estacion : SICUANI														
Tipo : CO-759														
Latitud : 14° 14' 14" S Departamento : Cusco														
Longitud : 71° 14' 12" W Provincia : Canchis														
Altitud : 3,564 msnm Distrito : Sicuani														
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	95.4	101.0	112.0	50.0	31.8	0.0	2.5	3.2	32.2	25.8	85.1	50.0	589.0
2	1,965	43.2	89.7	119.0	51.7	2.1	0.0	2.4	3.7	52.5	66.1	61.0	179.7	671.1
3	1,966	81.6	118.2	94.2	6.0	35.0	0.0	0.0	2.3	38.9	148.8	106.0	121.0	752.0
4	1,967	63.4	117.2	155.9	33.0	8.2	1.4	21.4	28.7	40.4	49.0	46.8	129.5	694.9
5	1,968	118.2	171.3	272.9	55.6	0.0	0.0	16.0	28.2	21.4	62.1	149.3	64.2	959.2
6	1,969	132.5	127.0	140.4	67.0	3.6	2.8	8.0	1.6	18.0	78.2	76.2	80.8	736.1
7	1,970	172.3	139.5	141.3	50.3	5.6	0.0	0.0	0.0	20.4	48.3	46.6	185.4	809.7
8	1,971	189.5	162.0	66.1	66.9	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	71.6	565.9
9	1,972	154.2	76.5	95.6	58.1	6.3	0.0	15.9	29.6	0.0	8.0	35.2	94.4	573.8
10	1,973	140.7	136.2	168.0	82.5	3.1	0.0	2.0	11.8	5.9	27.0	47.6	96.2	721.0
11	1,974	168.5	223.3	91.1	25.1	0.8	6.5	0.0	16.0	24.5	13.0	51.5	77.0	697.3
12	1,975	157.0	103.9	134.9	39.4	20.3	0.7	0.0	8.4	32.1	24.4	62.4	154.2	737.7
13	1,976	161.9	68.7	130.4	27.5	11.4	6.7	5.1	9.6	17.9	9.3	29.0	86.3	563.8
14	1,977	70.5	179.9	87.0	33.9	7.2	0.0	0.8	0.0	11.0	30.7	87.3	88.1	596.4
15	1,978	214.6	71.3	183.4	83.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.5	24.2	73.4	37.9	713.3
16	1,979	66.8	50.5	64.8	31.8	4.4	0.0	0.9	19.8	27.6	0.8	14.3	31.7	313.4
17	1,980	86.6	49.3	26.1	0.0	15.6	18.6	19.9	21.6	1.6	65.9	60.2	82.6	448.0
18	1,981	130.1	110.9	102.8	0.8	0.0	6.9	0.0	19.2	0.0	6.0	8.6	43.3	428.6
19	1,982	66.3	26.3	48.4	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	24.0	58.1	34.0	8.6	266.6
20	1,983	41.2	0.0	31.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	1.0	0.0	63.1	151.7
21	1,984													
22	1,985													
23	1,986	131.2	52.1	45.3	3.0	0.0								
24	1,987				49.8	2.9	1.3	11.2	0.5	2.5	24.9	132.1	155.3	
25	1,988	143.8	94.9	120.6	87.4	4.0	0.0	0.0	0.0	3.4	17.0	18.7	57.2	547.0
26	1,989	183.4	108.2	168.5	76.5	16.1	10.2	0.0	12.0	50.3	51.7	46.9	130.8	854.6
27	1,990	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	1,991	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	1,992	99.2	61.4						19.5	19.1	62.8	96.8	53.6	
30	1,993	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	1,994	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	1,995	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	1,996	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	1,997	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	1,998	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	1,999	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	2,000	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	2,001	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	2,002	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	2,003	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	2,004	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	2,005	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	2,006	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	2,007	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	2,008	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	2,009	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	2,010	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	2,011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4		51.9	25.3	29.0	131.9	
49	2,012	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	2,013	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	2,014	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	2,015	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	2,016	131.4	260.0	53.8	82.8	3.2	0.0	0.3	6.9	19.9	79.0		77.0	
54	2,017	162.3	119.1	126.9	60.8	40.8	0.0	2.2	13.8	22.7	72.9	121.9	73.4	816.8
55	2,018	112.6	165.9	116.6	30.8	5.2	20.4	20.1	28.6	4.4	76.2	104.6	48.6	734.0
N° Datos		52	52	51	52	52	51	51	51	52	52	51	52	48
Media		129.4	122.6	114.5	48.7	9.1	3.2	4.4	8.2	19.1	47.6	66.7	101.8	675.5
Desv. Estandar		42.27	50.18	45.58	29.59	9.94	5.64	6.74	8.70	14.96	29.91	36.88	40.17	164.04
Coef. Variacion		32.66	40.92	39.80	60.69	109.19	174.00	152.70	106.70	78.17	62.83	55.30	39.45	24.28
Prec. Max.		226.7	260.0	272.9	132.7	40.8	25.2	26.1	29.6	52.5	148.8	149.3	185.4	272.9
Prec. Min.		41.2	0.0	26.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0
FUENTE : SENAMHI														
FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00														

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 26: Histograma de Precipitación Estación Sicuani



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 74: Análisis de Estadístico de Saltos - Sicuani

ANALISIS ESTADISTICO DE SALTOS

Estacion : SICUANI			Codigo:					Cuenca: VILCANOTA					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Es
1964-1983	240.00	50.106	55.042	0.050	0.050	56.519	5.301	2.26	1.97	1.11	1.25	Si	No
1993-2010	216	62.072	58.116										
Observaciones: la informacion de los años 1978-1983 una incoherencia , el mismo que debe ser corregido.													

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

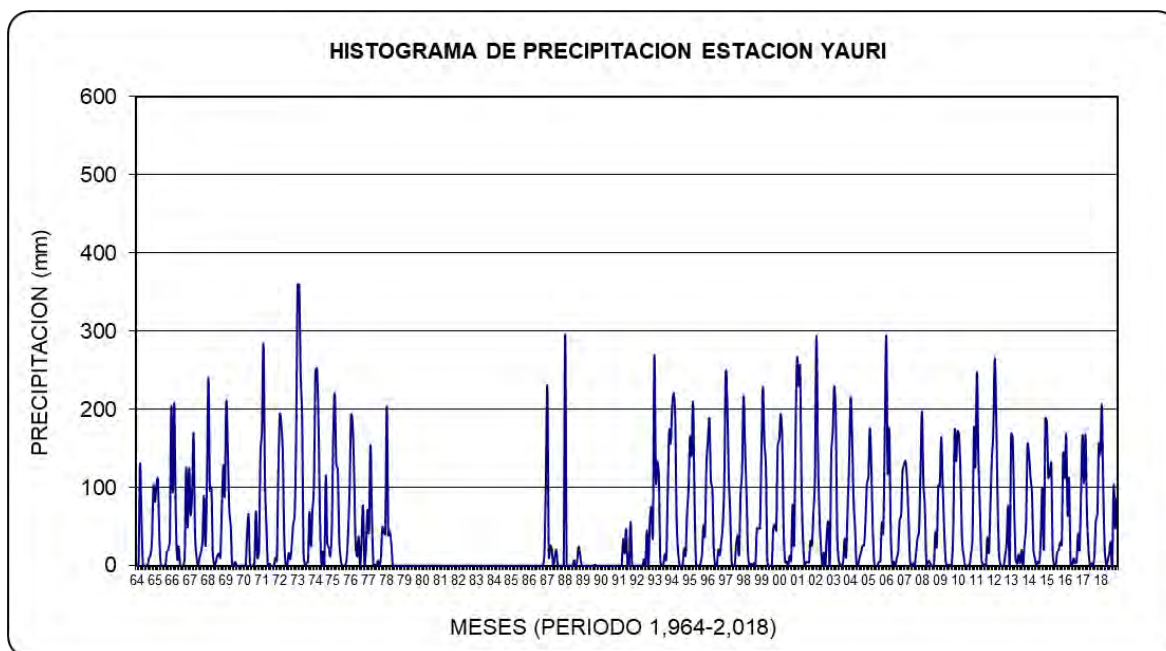


Tabla 75: Registro de Precipitación Media Mensual - Yauri

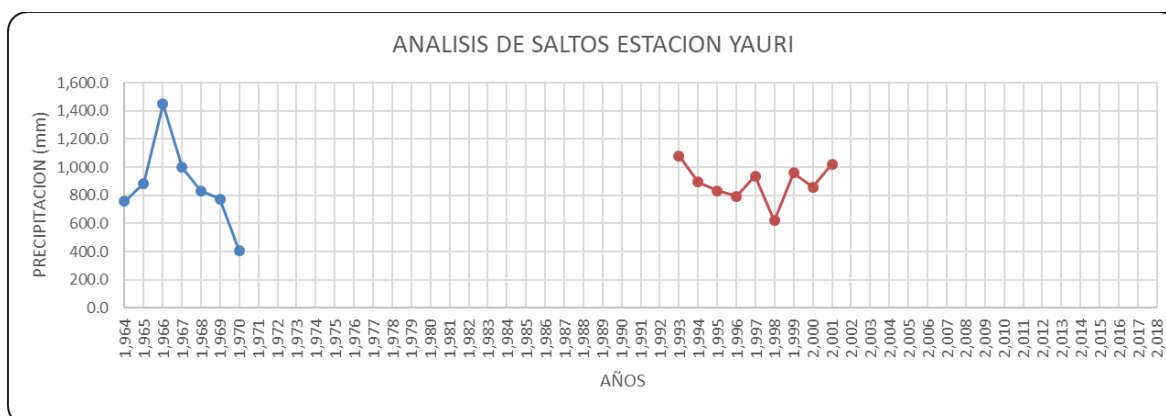
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL														
(mm)														
Estación : Yauri														
Latitud : 14° 48' 10" S														
Departamento : Cusco														
Tipo : PLU														
Longitud : 71° 25' 50" W														
Provincia : Espinar														
Altitud : 3,940 msnm														
Distrito : Yauri														
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964			130.0	59.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	14.0	33.4	102.2	
2	1,965	81.9	103.1	111.8	37.8	0.0	0.0		0.0	17.9	21.3	33.1	203.9	
3	1,966	93.9	208.2	69.9	8.9	24.0	0.0	0.0	0.0	10.3	125.3	49.4	125.5	715.4
4	1,967	65.4	92.6	169.1	41.4	11.2	0.0	9.9	18.3	31.4	89.5	25.2	107.2	661.2
5	1,968	240.7	95.9	99.9	14.0	0.0	4.5	13.0	15.7	10.5	70.4	128.7	90.1	783.4
6	1,969	210.7	149.9	73.0	51.0	0.0	0.0	5.0		0.0	0.0			
7	1,970			39.6	65.0	0.0	0.0	0.0	5.5	69.5	10.0	19.5	144.2	
8	1,971	174.3	284.4	111.7	49.6	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	10.1	6.0	119.3	757.9
9	1,972	193.7	180.3	144.7	34.0	0.0	0.0	16.2	8.6	25.4	53.2	64.4	163.7	884.2
10	1,973	360.3	360.1	248.4	186.6	15.6	0.0	3.3	5.9	69.2	24.8	71.1	104.7	1,450.0
11	1,974	248.9	253.4	187.9	63.8	2.6	18.6	0.0	115.4	28.2	23.3	12.2	45.0	999.3
12	1,975	166.5	221.0	128.2	124.6	32.6	7.8	0.0	0.0	0.0	9.0	43.4	99.4	832.5
13	1,976	192.8	182.4	119.1	26.4	11.8	37.4	0.0	31.8	77.0	1.6	23.6	71.6	775.5
14	1,977	43.8	154.6	60.8	0.0	1.4	0.0	6.2	0.0	10.2	49.2	42.0	40.2	408.4
15	1,978	204.2	39.0	44.0	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
16	1,979													
17	1,980													
18	1,981													
19	1,982													
20	1,983													
21	1,984													
22	1,985													
23	1,986											14.5	108.5	
24	1,987	230.0	11.1	25.7	21.0	0.0	11.0	20.4						
25	1,988	295.9						6.8	0.0	6.3	24.3	13.7		
26	1,989									1.3				
27	1,990													
28	1,991				34.1	15.8	47.0	0.0	0.0	55.9				
29	1,992						8.0	0.0	45.3	0.0	59.8	75.6	37.8	
30	1,993	269.3	107.2	133.6	116.5	5.5	0.0	0.8	15.0	7.7	93.7	173.7	157.1	1,080.1
31	1,994	205.6	221.6	191.1	56.6	16.7	0.0	0.0	0.0	22.2	13.1	66.4	100.6	893.9
32	1,995	165.8	141.2	209.4	81.7	2.7	0.0	0.0	2.8	13.0	51.6	37.6	128.2	834.0
33	1,996	160.4	187.8	109.2	96.9	16.9	0.0	0.0	20.3	13.6	31.0	51.1	105.0	792.2
34	1,997	246.5	209.7	116.4	66.7	3.2	0.0	0.0	26.2	38.4	14.6	91.7	122.6	936.0
35	1,998	217.1	150.4	89.8	13.8	0.0	2.5	0.0	3.6	0.8	48.3	47.0	48.0	621.3
36	1,999	141.6	229.3	159.1	125.5	3.6	0.0	0.0	0.8	47.8	52.9	45.3	155.3	961.2
37	2,000	160.7	194.6	161.8	41.1	4.2	5.6	0.0	12.7	6.2	78.5	26.8	167.8	860.0
38	2,001	265.9	230.5	254.9	99.5	32.0	0.9	4.3	4.8	4.2	32.2	25.8	67.5	1,022.5
39	2,002	111.4	294.3	148.0	67.6	24.7	0.5	16.7	0.0	40.5	56.0		142.8	
40	2,003	171.1	230.0	193.3	36.9	5.7	0.8	0.0	5.5	34.8	11.1	73.4	129.2	891.8
41	2,004	215.7	166.5	84.5	48.4	0.0	1.8	10.7	17.7	25.6	25.7	56.7	105.4	758.7
42	2,005	114.3	176.5	123.2	43.1	1.1		0.0	4.8	5.6	55.9	41.9	162.2	
43	2,006	295.0	119.9	175.6	45.8	1.4	5.4	0.0	9.7	18.6	59.1	64.1	122.6	917.2
44	2,007	129.7	133.6	108.1	58.6	4.6	0.0	3.4	0.0	16.3	36.3	43.5	117.7	651.8
45	2,008	197.9	107.5	72.5	1.2	4.9	5.8	0.0	0.0	0.2	43.4	24.8	103.3	561.5
46	2,009	102.0	164.6	102.2	44.5	5.5	0.0	1.4	0.0	2.0	43.8	172.6	133.9	772.5
47	2,010	172.6	165.7	114.9	32.0	13.6	0.0	0.0	0.0	1.7	16.2	36.0	176.7	729.4
48	2,011	127.0	248.2	138.8	73.7	10.0	0.0	1.9		36.1	16.9	74.9	137.6	
49	2,012	171.5	266.1	191.4	76.4	11.4	0.0	0.1	0.0	13.7	31.3	76.2		
50	2,013	169.0	165.1	81.6	8.6	2.7	14.4	3.4	20.1	0.0	28.6	53.0	156.1	702.6
51	2,014	142.8	113.1	92.3	21.2	9.1	0.0	5.5	3.5	41.4	99.7	22.2	189.2	740.0
52	2,015	184.2	112.7	117.3	131.4	13.7	0.5	1.5	17.3	20.6	30.1	26.4	142.6	798.3
53	2,016	112.1	168.2	64.6	112.0	1.7	0.1	9.2	3.2	4.7	40.9	20.5	91.6	628.8
54	2,017	168.0	105.7	168.1	68.4	22.6	0.1	3.2	0.0	12.1	57.7	66.3	156.4	828.6
55	2,018	143.1	206.1	93.2	19.2	1.1	6.9	16.4	30.1	2.3	103.3	48.1	86.2	756.0
N° Datos		41	40	42	43	43	43	44	42	45	43	41	40	32
Media		179.6	173.8	125.2	56.6	7.8	4.2	3.6	10.6	19.0	40.9	51.8	119.2	792.2
Desv. Estandar		66.15	69.92	53.16	40.06	9.01	9.53	5.56	19.76	20.44	30.07	37.21	40.13	181.33
Coef. Variacion		36.83	40.23	42.46	70.84	116.19	225.07	153.44	186.71	107.82	73.55	71.91	33.66	22.89
Prec. Max.		360.3	360.1	254.9	186.6	32.6	47.0	20.4	115.4	77.0	125.3	173.7	203.9	360.3
Prec. Min.		43.8	11.1	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	37.8	0.0
FUENTE : SENAMHI										FECHA Y HORA		8/27/2020 22:00		

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 27: Histograma de Precipitación Estación Yauri



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 76: Análisis de Estadístico de Saltos - Yauri

Estacion : YAURI			Codigo:					Cuenca: APURIMAC					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1970	84.00	72.712	87.827	0.050	0.050	82.753	12.039	0.11	1.97	1.25	1.40	No	No
1993-2001	108	74.085	78.592										

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

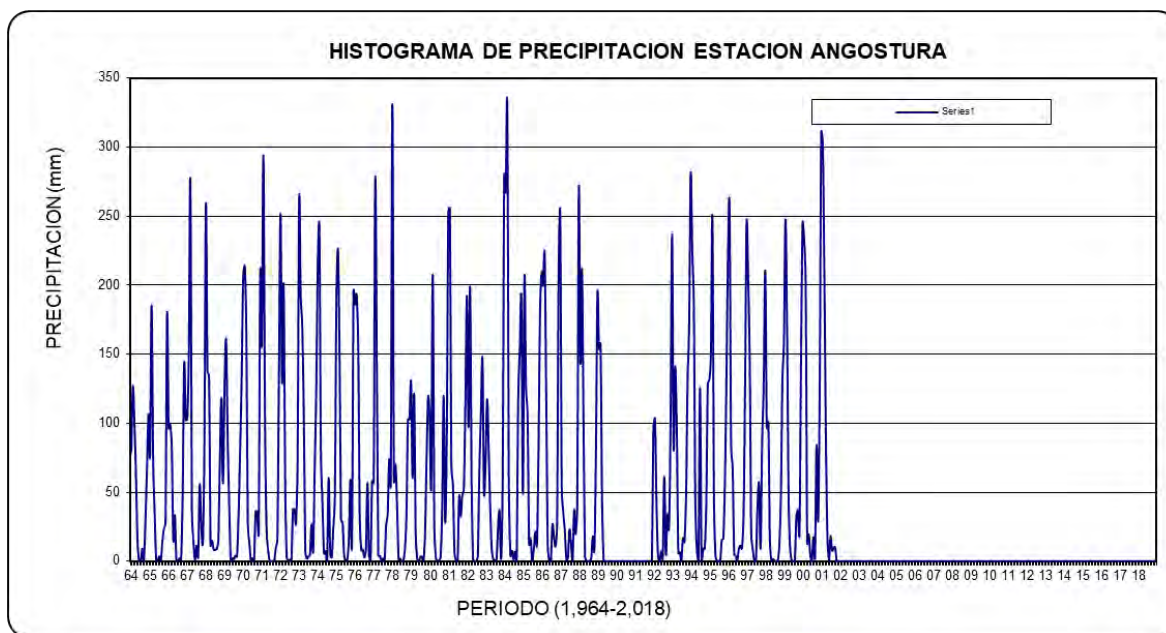


Tabla 77: Registro de Precipitación Media Mensual - Angostura

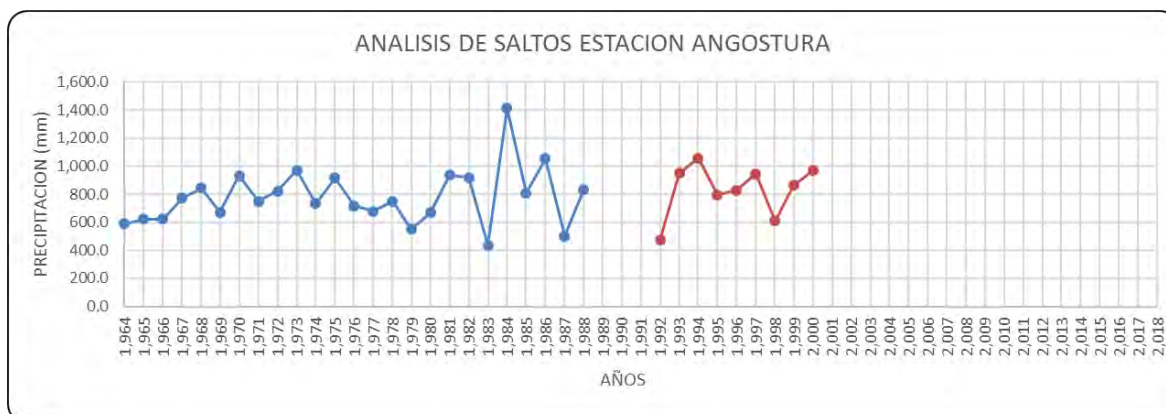
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL														
(mm)														
Estacion : ANGOSTURA														
Latitud : 15° 11' S														
Departamento : Arequipa														
Tipo : CO-754														
Longitud : 71° 35' W														
Provincia : Caylloma														
Altitud : 4,155 msnm														
Distrito : Caylloma														
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	78.8	126.5	101.2	61.3	13.6	0.0	0.0	8.9	0.0	27.2	64.7	106.5	588.7
2	1,965	76.8	185.3	75.8	35.3	0.0	0.0	3.5	0.0	14.8	23.7	27.6	179.6	622.4
3	1,966	96.3	99.2	83.1	15.4	33.2	0.0	0.0	2.0	1.1	46.0	143.4	102.4	622.1
4	1,967	103.2	149.2	276.0	37.9	14.0	1.0	11.3	3.0	55.5	26.0	13.1	80.3	770.5
5	1,968	259.2	136.8	134.8	11.3	14.7	8.2	8.2	8.9	15.0	72.5	118.2	56.4	844.2
6	1,969	125.5	160.7	89.9	41.6	0.0	2.2	1.5	4.1	3.2	32.3	77.6	131.6	670.2
7	1,970	206.8	214.1	168.8	27.3	13.2	0.0	2.1	0.0	36.1	35.6	20.0	208.9	932.9
8	1,971	156.6	293.8	104.5	24.2	8.0	0.1	0.0	0.1	9.9	16.0	137.2	750.5	
9	1,972	251.8	129.3	200.6	59.3	3.3	0.0	1.0	0.1	37.5	37.6	27.3	72.2	820.0
10	1,973	262.9	192.3	170.3	105.4	6.5	1.7	3.6	4.3	26.7	6.9	65.9	123.6	970.1
11	1,974	215.5	242.6	80.1	42.1	5.4	7.4	0.4	60.2	4.5	2.6	24.0	46.5	731.3
12	1,975	190.3	226.2	151.7	29.8	28.0	3.7	0.1	1.1	15.8	59.0	12.7	195.8	914.2
13	1,976	185.8	193.1	158.0	33.5	7.8	8.5	2.7	8.3	56.6	3.9	1.0	58.1	717.3
14	1,977	56.7	277.6	144.5	4.1	3.7	0.0	2.0	0.0	26.1	34.3	74.1	55.3	678.4
15	1,978	331.4	58.1	70.2	41.8	1.4	1.6	0.1	0.1	8.0	31.4	102.8	102.8	749.7
16	1,979	130.0	60.3	121.0	20.4	1.2	0.0	2.9	3.1	0.2	18.8	72.2	119.2	549.3
17	1,980	104.9	54.3	208.0	25.6	2.2	0.0	0.6	2.7	34.2	119.9	28.0	87.5	667.9
18	1,981	253.2	256.0	69.3	55.5	5.9	0.1	0.0	47.0	32.6	47.5	52.7	113.9	933.7
19	1,982	192.2	96.9	198.7	57.7	0.0	0.1	0.1	3.4	64.7	106.8	146.7	50.2	917.5
20	1,983	72.3	117.3	81.7	39.0	8.2	1.2	0.8	0.1	23.7	36.3	1.6	55.1	437.3
21	1,984	279.8	267.2	329.4	55.2	3.8	7.5	1.2	6.9	0.2	116.0	153.8	190.0	1,411.0
22	1,985	48.8	206.3	126.6	104.7	12.0	16.2	0.0	8.8	21.2	11.0	74.4	177.2	807.2
23	1,986	209.3	199.9	222.7	122.2	11.1	0.0	0.0	26.5	17.7	10.7	26.5	207.4	1,054.0
24	1,987	252.3	53.6	35.0	21.9	1.1	2.2	22.9	13.1	0.9	36.9	19.6	40.4	499.9
25	1,988	270.9	143.8	211.9	103.1	3.1	0.0	0.0	0.0	1.9	18.0	7.3	75.2	835.2
26	1,989	194.1	153.7	157.8	43.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
27	1,990	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
28	1,991	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
29	1,992	96.4	103.4	41.4	3.5	0.0	7.2	1.7	61.1	4.8	34.1	23.1	95.9	472.6
30	1,993	236.9	82.4	140.8	98.9	5.8	6.7	0.4	16.9	13.8	45.9	129.5	169.5	947.5
31	1,994	280.8	226.3	186.9	43.5	7.8	0.0	125.5	0.0	9.0	8.8	39.6	128.4	1,056.6
32	1,995	131.2	148.7	249.2	45.1	3.9	0.0	0.0	0.0	15.3	16.2	54.9	130.5	795.0
33	1,996	222.1	258.6	85.0	67.7	4.9	3.9	0.6	8.8	11.4	9.1	30.9	123.6	826.6
34	1,997	244.9	205.3	147.5	20.5	8.2	0.0	0.0	39.0	56.2	9.3	86.1	127.7	944.7
35	1,998	210.4	96.9	101.1	14.6	0.0	1.6	0.0	0.0	10.4	43.9	129.1	608.0	
36	1,999	159.6	247.7	170.2	46.5	8.8	0.3	0.0	0.0	32.1	36.9	19.4	142.3	863.8
37	2,000	245.1	233.7	203.1	13.1	19.3	4.1	0.5	17.4	2.8	83.8	29.0	116.4	968.3
38	2,001	311.0	303.1	211.4	91.9	17.6	0.5	18.0	7.7	9.7	10.2	S/D	S/D	
39	2,002	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
40	2,003	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
41	2,004	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
42	2,005	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
43	2,006	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
44	2,007	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
45	2,008	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
46	2,009	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
47	2,010	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
48	2,011	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
49	2,012	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
50	2,013	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
51	2,014	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
52	2,015	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
53	2,016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
54	2,017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
55	2,018	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
56	2,019	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
N° Datos	36	36	36	36	35	35	35	35	35	35	35	34	34	34
Media	187.3	172.2	147.5	46.2	7.9	2.5	6.0	10.4	18.7	35.3	53.8	115.8	803.6	
Desv. Estandar	77.90	72.93	67.23	31.05	7.74	3.70	21.40	16.57	18.53	31.03	44.04	48.42	196.63	
Coef. Variacion	41.58	42.34	45.59	67.17	97.59	150.44	353.82	159.54	99.26	87.90	81.93	41.82	24.47	
Prec. Max	331.4	303.1	329.4	122.2	33.2	16.2	125.5	61.1	64.7	119.9	153.8	208.9	331.4	
Prec. Min.	48.8	53.6	35.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	1.0	40.4	0.0
FUENTE : SENAMHI														
FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00														

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 28: Histograma de Precipitación Estación - Angostura



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 78: Análisis de Estadístico de Saltos – Angostura

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS													
Estacion : ANGOSTURA			Codigo: 157337					Cuenca: APURIMAC					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1988	300.00	64.985	77.861	0.050	0.050	78.403	8.798	0.49	1.97	1.05	1.31	No	No
1992-2000	108	69.288	79.897										

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

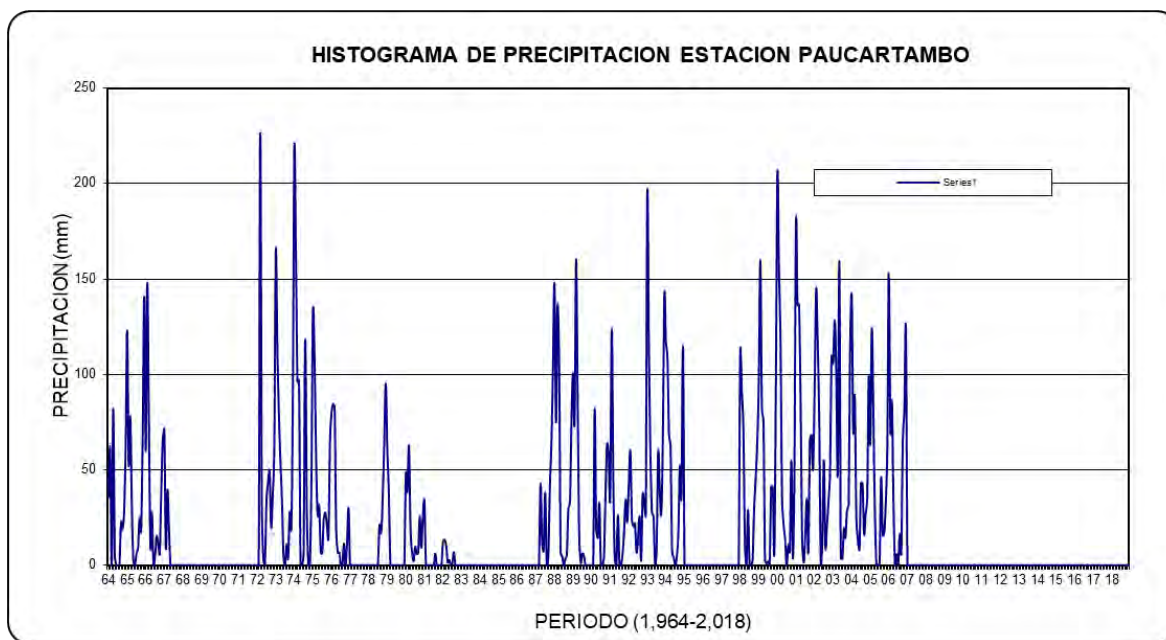


Tabla 79: Registro de Precipitación Media Mensual – Paucartambo

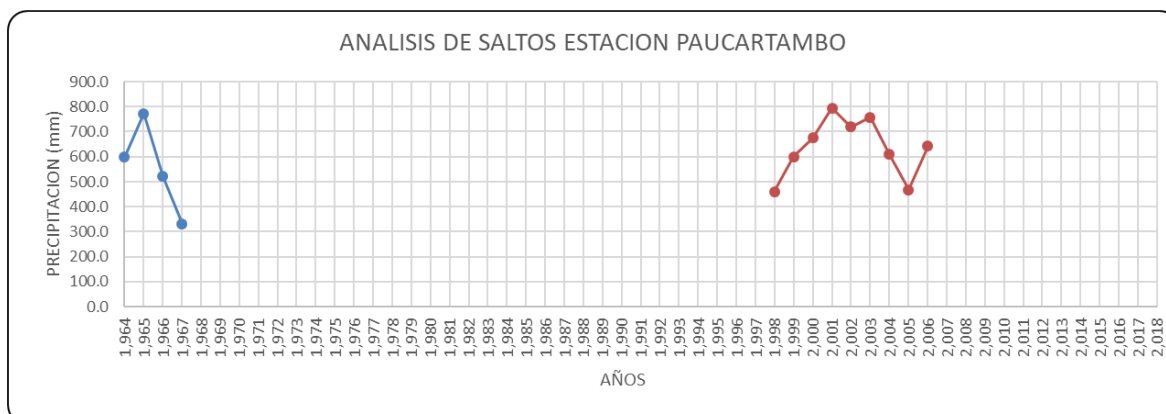
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL														
(mm)														
Estacio : PAUCARTAMBO														
Tipo : 2001		Latitud : 13° 16' S		Departamento : Cusco		Longitud : 71° 37' W		Provincia : Paucartambo		Altitud : 2,830 msnm		Distrito : Paucartambo		
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	35.8	61.3		82.0	5.2		0.0	0.0	22.7	18.9	27.2	61.0	
2	1,965	123.0	53.0	78.0	31.2	2.5	0.0	6.5	9.0	24.9	17.8	65.0	140.8	551.7
3	1,966	59.9	147.7	77.9	9.9	27.6	0.0	5.0	15.3	11.3	6.0	37.6	66.0	464.2
4	1,967	71.0	9.0	39.6	19.0									
5	1,968													
6	1,969													
7	1,970													
8	1,971													
9	1,972			226.3	31.4	2.9	0.8	33.9	43.6	49.4	19.6	37.0	58.8	
10	1,973	165.3	113.1	79.7	54.5	34.0	4.0	0.0	11.0	3.5	28.0	19.0	85.5	597.6
11	1,974	219.0	161.0	96.0	97.0	0.0	0.0	6.0	118.0	32.0	0.0	0.0	44.2	773.2
12	1,975	132.7	108.3	57.5	26.1	31.4	6.9	6.2	24.5	27.7	21.3	13.9	64.3	520.8
13	1,976	79.9	84.6	82.8	19.5	6.6	6.7	0.0	0.0	11.4	0.0	10.9	30.1	332.5
14	1,977													
15	1,978							0.5	21.2	16.9	33.8	62.4	95.1	
16	1,979	61.8	38.4				0.0	0.0	0.0					
17	1,980	48.0	38.4	62.5	19.2	6.8	2.2	9.7	5.9	6.7	25.6	9.2	25.1	259.3
18	1,981	33.5							6.2	0.0				
19	1,982	12.8	13.4	10.9	1.6	2.9	0.0	1.3	6.9					
20	1,983													
21	1,984													
22	1,985													
23	1,986													
24	1,987				42.8	12.5	7.6	38.1	0.0	3.3	39.6	63.6	100.8	
25	1,988	147.5	74.9	136.4	106.8	6.4	4.6	0.0	3.5	5.4	30.4	32.8	75.7	624.4
26	1,989	100.6	74.3	160.3	85.6	15.5	1.3	6.1	5.0					
27	1,990			81.9	18.8	14.4	32.7	0.0	0.0	4.8	37.4	63.7	58.6	
28	1,991	35.1	123.7	43.6	3.1	0.0	26.2	1.0	0.0	6.1	17.7	34.5	22.6	313.6
29	1,992	41.5	60.0	23.9	20.4	21.8	6.6	14.6	25.3	2.3	37.5	32.7	26.1	312.7
30	1,993	195.1	115.1	57.1	27.7	25.5	0.0	8.9	59.6	38.8	27.0	65.5	141.8	762.1
31	1,994	117.3	108.7	68.2	62.0	6.7	4.2	0.0	4.4	17.2	52.2	35.6	114.5	591.0
32	1,995													
33	1,996													
34	1,997													
35	1,998	111.8	91.8	72.6	11.4	0.0	29.1	0.0	0.3	2.9	30.2	45.4	64.1	459.6
36	1,999	96.9	159.7	82.4	75.0	2.8	1.0	2.0	0.7	41.5	40.5	6.1	91.0	599.6
37	2,000	205.4	154.8	119.0	36.0	21.4	13.4	0.0	11.0	7.1	54.9	3.6	49.2	675.8
38	2,001	180.2	136.2	136.8	85.4	13.5	1.5	15.7	34.6	6.7	65.3	68.3	50.2	794.4
39	2,002	89.8	144.8	118.1	76.3	1.5	11.0	55.0	9.6	20.1	33.0	49.6	109.5	718.3
40	2,003	105.6	128.1	102.6	47.4	159.0	3.6	3.4	19.3	14.5	29.3	31.3	113.6	757.7
41	2,004	141.5	70.3	88.2	25.0	13.1	8.3	43.3	42.8	16.4	27.0	34.6	98.7	609.2
42	2,005	63.3	124.0	79.2	28.0	0.0	0.0	1.2	46.2	15.6	16.8	32.8	61.5	468.6
43	2,006	153.0	70.1	86.0	33.2	0.0	5.8	0.0	16.5	6.5	64.7	82.1	124.1	642.0
44	2,007													
45	2,008													
46	2,009													
47	2,010													
48	2,011													
49	2,012													
50	2,013													
51	2,014													
52	2,015													
53	2,016													
54	2,017													
55	2,018													
56	2,019													
Nº Datos		27	26	26	28	27	27	29	30	27	26	26	26	21
Media		104.7	94.8	87.2	42.0	16.1	6.6	8.9	18.0	15.4	29.8	37.1	75.9	536.5
Desv. Estandar		57.35	44.59	44.36	30.07	30.37	9.01	14.68	24.89	13.11	16.85	22.67	34.94	162.65
Coef. Variacion		54.77	47.03	50.86	71.58	188.96	137.06	164.70	138.18	85.15	56.57	61.13	46.04	30.32
Prec. Max.		219.0	161.0	226.3	106.8	159.0	32.7	55.0	118.0	49.4	65.3	82.1	141.8	226.3
Prec. Min.		12.8	9.0	10.9	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6	0.0
FUENTE : SENAMHI												FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00		

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 29: Histograma de Precipitación Estación – Paucartambo



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 80: Análisis de Estadístico de Saltos – Paucartambo

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS													
Estacion : PAUCARTAMBO			Codigo:		156317				Cuenca: MAPACHO				
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1967	48.00	46.335	52.218	0.050	0.050	50.427	8.748	0.76	1.98	1.11	1.48	No	No
1998-2006	108	53.011	49.619										

Observaciones: En información disponible no se puede realizar analisis de saltos; por falta de registros historicos, dicho analisis se realizara junto con el analisis de completacion y extension de datos.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

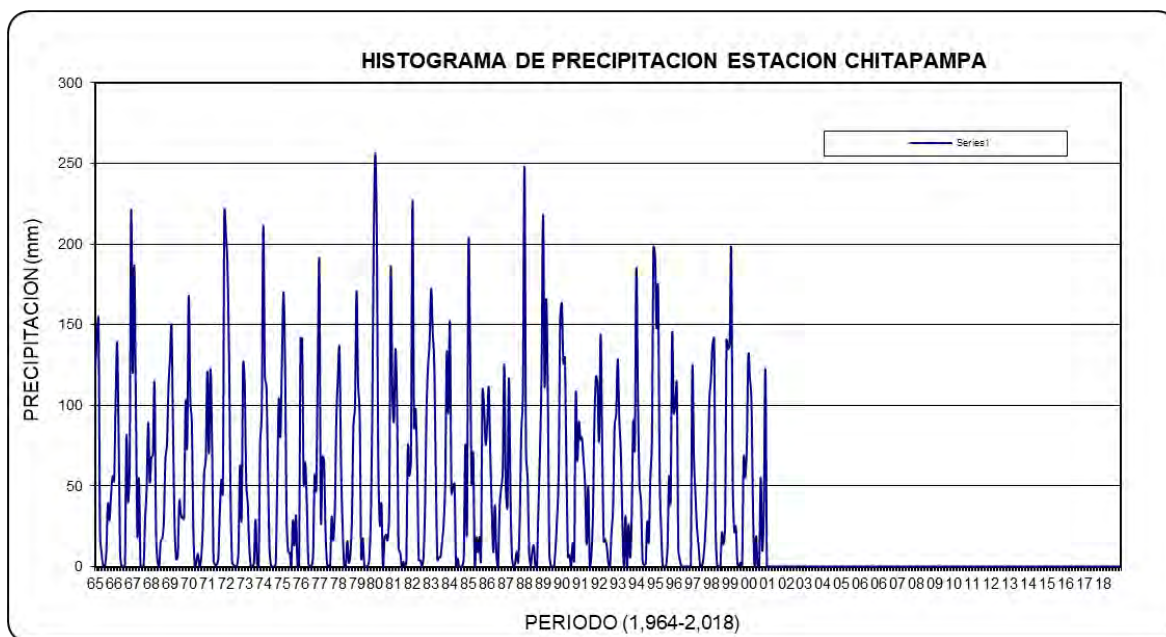


Tabla 81: Registro de Precipitación Media Mensual – Chitapampa

REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL														
(mm)														
Estacion : CHITAPAMPA														
Latitud : 13° 32' S														
Departamento : Cusco														
Tipo : LU-6307														
Longitud : 71° 55' W														
Provincia : Cusco														
Altitud : 3,298 msnm														
Distrito : San Sebastian														
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	123.0	142.5	154.0	21.0	8.0	0.0	0.0	8.9	39.0	28.5	43.8	55.9	624.6
2	1,965	53.0	102.0	139.0	76.5	6.5	0.0	0.0	0.0	81.0	39.9	58.4	221.0	777.3
3	1,966	120.5	187.0	102.0	18.9	54.7	0.0	0.0	0.0	29.5	48.6	89.3	52.6	703.1
4	1,967	68.2	69.2	114.1	21.3	2.5	0.0	16.2	17.3	27.7	66.9	75.5	111.4	590.3
5	1,968	129.4	148.8	83.3	24.6	4.5	6.6	40.4	32.1	29.9	29.6	102.4	74.4	706.0
6	1,969	167.9	104.5	88.8	22.0	0.0	3.4	7.8	0.0	4.9	21.5	58.5	66.6	545.9
7	1,970	121.1	70.3	122.7	78.2	3.4	1.2	1.2	4.7	34.0	54.0	45.4	220.7	756.9
8	1,971	206.2	185.6	130.0	40.8	2.4	0.9	0.0	0.0	9.0	62.6	29.4	126.0	792.9
9	1,972	114.7	52.0	39.0	12.9	0.0	0.0	2.1	29.0	2.2	0.0	76.6	96.0	424.5
10	1,973	211.3	117.9	111.9	59.1	10.7	0.0	0.0	0.0	1.5	52.1	104.1	80.6	749.2
11	1,974	126.9	170.2	127.6	30.1	9.3	8.8	0.0	28.6	13.1	31.6			
12	1,975	141.7	141.4	51.4	64.7	40.4	2.1	0.0	0.1	6.1	56.8	47.3	119.6	671.6
13	1,976	189.3	30.4	68.2	66.3	23.9	2.0	0.0	0.0	30.8	16.6	32.8	90.6	550.9
14	1,977	117.2	134.8	64.1	25.2	0.3	0.0	15.9	2.3	7.9	29.6	87.5	99.9	584.7
15	1,978	170.9	113.7	95.1	5.6	17.5	1.0	0.0	0.0	3.5	24.5	88.8	199.8	720.4
16	1,979	256.6	208.8	63.3	25.6	39.0	0.0	18.0	19.7	16.5	33.9	185.0	110.0	976.4
17	1,980	89.7	135.1	102.0	11.0	9.0	0.0	3.0	0.0	3.0	74.2	56.4	65.0	548.4
18	1,981	227.2	86.8	97.9	62.8	4.0	4.0	0.0	5.3	36.6	98.0	124.4	140.3	887.3
19	1,982	172.5	145.5	125.3	58.1	4.0	5.6	6.0	15.3	25.9	50.3	133.0	95.4	836.9
20	1,983	151.7	45.5	49.5	51.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	6.0	76.0	22.0	407.2
21	1,984	200.1	138.7	52.1	70.3	1.0	18.0	9.0	18.5	4.0	109.4	99.3	76.0	796.4
22	1,985	87.5	111.3	71.5	36.0	9.0	38.0	7.3	0.0	36.0	49.0	58.5	125.5	629.6
23	1,986	51.0	37.0	117.0	45.0	5.0	0.0	2.0	9.3	3.0	29.9	84.5	106.5	490.2
24	1,987	248.1	72.4	55.0	8.3	0.5	9.0	13.0	0.0	0.0	37.0	72.3	120.0	635.6
25	1,988	218.4	112.0	166.1	110.0	9.0	0.0	0.0	0.0	12.0	30.2	57.5	154.0	869.2
26	1,989	163.7	126.0	129.8	63.8	6.0	7.2	0.0	14.5	4.0	107.4	65.9	89.7	778.0
27	1,990	78.8	80.2	66.0	50.6	14.0	50.1	0.0	6.8	29.7	89.9	118.0	113.0	697.1
28	1,991	77.9	144.1	76.0	15.5	17.0	12.1	2.0	0.0	21.5	36.5	87.7	94.3	584.6
29	1,992	128.8	91.7	70.7	28.5	0.0	31.5	0.0	26.2	5.5	32.0	90.8	73.0	578.7
30	1,993	185.0	105.5	51.3	40.0	3.2	1.0	2.0	28.0	15.3	55.3	77.8	198.3	762.7
31	1,994	193.1	148.1	172.9	56.6	21.8	0.0	0.0	0.0	11.7	56.1	40.0	144.5	844.8
32	1,995	95.5	99.6	113.6	10.7	4.0	0.0	0.0	0.0					
33	1,996	123.6	68.0	44.8	23.5	13.0	0.0	0.0	4.3	15.8	34.5	63.5	104.1	495.1
34	1,997	116.5	137.9	141.8	23.0	0.0	0.0	0.0	21.1	14.0	23.5	140.5	135.1	753.4
35	1,998	137.3	196.6	53.0	21.5	25.0	2.0	0.0	2.5	0.5	67.6	55.4	73.4	634.8
36	1,999	130.9	117.0	102.6	36.4	0.0	19.0	0.0	0.0	55.5	10.0	33.5	122.5	627.4
37	2,000													
38	2,001													
39	2,002													
40	2,003													
41	2,004													
42	2,005													
43	2,006													
44	2,007													
45	2,008													
46	2,009													
47	2,010													
48	2,011													
49	2,012													
50	2,013													
51	2,014													
52	2,015													
53	2,016													
54	2,017													
55	2,018													
56	2,019													
N° Datos		36	36	36	36	36	36	36	36	35	35	34	34	34
Media		144.3	116.1	94.8	39.3	10.2	6.3	4.1	8.2	18.0	45.5	78.2	111.1	676.2
Desv. Estandar		53.78	44.55	36.84	24.35	12.78	11.57	8.12	10.64	17.82	26.85	34.13	46.51	134.89
Coef. Variacion		37.27	38.38	38.85	61.91	124.83	182.22	200.33	130.06	98.90	58.98	43.63	41.86	19.95
Prec. Max.		256.6	208.8	172.9	110.0	54.7	50.1	40.4	32.1	81.0	109.4	185.0	221.0	256.6
Prec. Min.		51.0	30.4	39.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.4	22.0	0.0
FUENTE : SENAMHI														
FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00														

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 30: Histograma de Precipitación Estación – Chitapampa



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 82: Análisis de Estadístico de Saltos – Chitapampa

ANALISIS ESTADISTICO DE SALTOS													
Estacion : CHITAPAMPA			Codigo:					156307		Cuenca: VILCANOTA			
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadistica 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Es
1964-1973	120.00	55.589	56.670	0.050	0.050	57.893	6.473	0.33	1.97	1.07	1.29	No	No
1975-1994	240	57.711	58.492										
En caso de corrección usar formulas: 1º Período:													

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

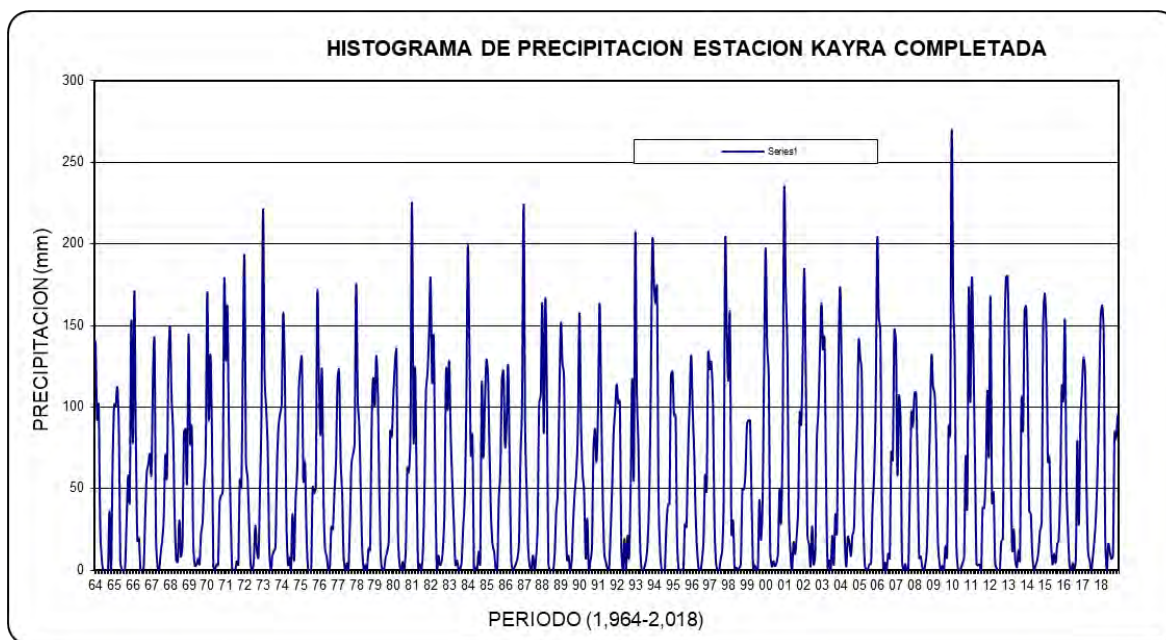


Tabla 83: Registro de Precipitación Media Mensual Completada - Kayra

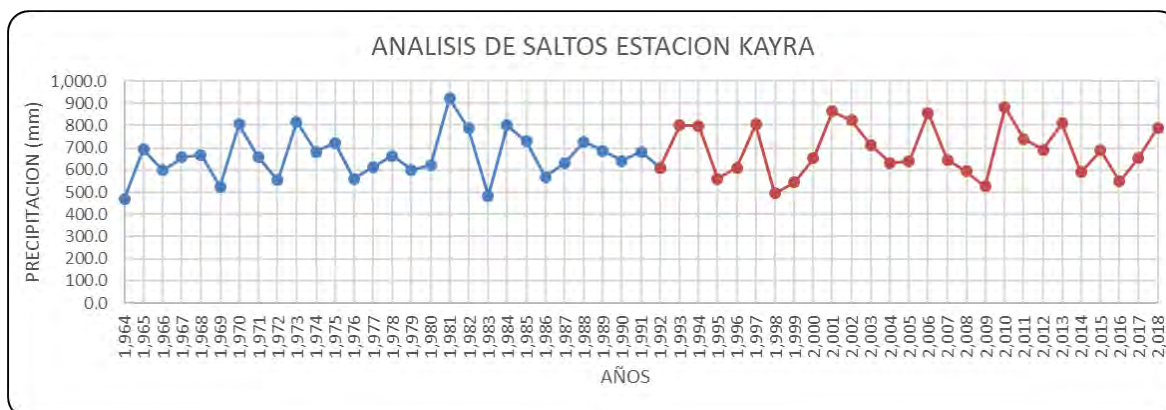
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETADA (mm)														
Estacion : KAYRA														
Tipo : CO-607														
Latitud : 13° 33' 24.7" S														
Longitud : 71° 52' 29.8" W														
Altitud : 3,219 msnm														
Departamento : Cusco														
Provincia : Cusco														
Distrito : San Jeronimo														
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	140.2	92.5	101.6	26.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	36.5	0.0	65.6	468.9
2	1,965	101.8	100.5	112.4	88.0	5.8	0.0	0.4	1.0	29.6	58.3	42.5	153.0	693.3
3	1,966	78.3	171.2	79.9	18.3	19.8	0.0	0.0	1.7	31.9	59.7	65.2	71.4	597.4
4	1,967	59.1	118.4	140.3	19.0	1.8	0.6	11.0	19.0	32.8	70.9	57.2	125.6	655.7
5	1,968	149.4	106.6	84.5	34.6	6.3	5.3	30.9	8.6	16.3	84.6	86.7	54.4	668.2
6	1,969	144.4	77.8	88.1	16.8	2.9	3.3	7.2	3.9	22.8	29.8	54.7	72.9	524.6
7	1,970	170.6	92.6	132.5	86.1	2.3	1.0	3.7	3.4	42.1	46.1	48.2	177.4	806.0
8	1,971	128.9	161.6	83.6	40.0	1.5	0.1	0.0	5.7	3.5	55.7	51.0	127.5	659.1
9	1,972	192.1	66.8	57.2	29.7	3.4	0.0	6.5	27.3	12.2	7.9	50.2	100.2	553.5
10	1,973	221.3	120.9	99.6	75.2	14.0	0.0	9.1	11.8	14.5	65.1	88.8	96.5	816.8
11	1,974	102.5	157.7	121.5	34.5	3.6	8.2	1.0	34.6	5.9	43.3	60.9	108.0	681.7
12	1,975	124.7	131.0	55.3	66.8	22.5	0.7	0.3	0.6	51.1	47.5	51.0	170.1	721.6
13	1,976	119.6	83.1	123.1	42.9	13.0	8.7	0.7	2.5	26.8	25.3	47.8	66.8	560.3
14	1,977	116.7	122.8	69.3	47.6	7.9	0.0	4.4	0.0	29.9	65.0	71.5	78.0	613.1
15	1,978	175.4	106.1	88.5	48.7	11.4	0.0	3.4	0.0	13.7	12.3	86.7	117.9	664.1
16	1,979	101.1	131.6	108.8	46.8	6.2	0.0	0.9	8.1	11.5	18.4	85.6	81.8	600.8
17	1,980	106.2	126.4	135.0	23.2	3.7	0.0	5.3	1.0	12.6	62.9	60.2	83.1	619.6
18	1,981	225.4	80.8	124.4	56.9	1.8	3.9	0.0	9.8	45.9	108.9	120.8	144.3	922.9
19	1,982	178.9	115.5	143.1	58.8	0.0	9.2	3.4	4.9	14.0	37.9	122.5	98.6	786.8
20	1,983	128.4	84.0	54.5	29.8	3.4	6.2	0.5	0.9	5.5	26.0	44.3	100.2	483.7
21	1,984	198.6	142.4	71.0	82.8	0.0	2.0	1.3	11.4	4.2	114.6	69.4	102.8	800.5
22	1,985	129.1	119.4	74.2	33.2	15.6	11.6	0.9	0.0	43.3	62.1	116.5	122.4	728.3
23	1,986	76.4	92.2	125.7	65.5	6.2	0.0	1.8	4.2	7.5	17.3	69.6	102.7	569.1
24	1,987	224.3	87.9	48.6	13.1	2.1	1.3	9.2	0.0	8.2	26.5	101.8	107.6	630.6
25	1,988	163.8	84.3	166.5	108.9	4.6	0.0	0.0	0.0	9.9	36.2	47.6	103.7	725.5
26	1,989	151.4	126.8	119.3	38.6	6.4	9.1	0.0	6.1	30.7	48.7	60.7	88.5	686.3
27	1,990	157.6	90.4	60.2	47.4	7.5	31.8	0.0	5.8	13.3	73.7	86.9	66.5	641.1
28	1,991	97.6	163.6	105.2	45.1	11.0	5.1	1.5	0.0	21.4	49.3	83.6	99.0	682.4
29	1,992	114.1	102.4	104.0	14.9	0.0	19.4	0.0	21.4	8.0	50.7	117.4	57.0	609.3
30	1,993	206.7	110.5	75.8	18.8	0.9	0.0	2.7	6.9	18.0	46.2	111.9	201.5	799.9
31	1,994	177.0	163.9	173.9	45.5	11.8	0.0	0.0	0.0	25.7	40.2	40.5	119.9	798.4
32	1,995	122.0	94.8	95.3	17.8	0.0	0.0	0.6	1.2	28.8	26.7	70.2	102.6	560.0
33	1,996	131.9	98.0	70.5	32.3	11.0	0.0	0.0	6.3	19.6	58.4	49.0	133.2	610.2
34	1,997	123.3	127.7	104.8	31.0	4.8	0.0	0.0	7.1	12.3	44.4	201.5	148.4	805.3
35	1,998	116.3	156.2	22.6	31.0	1.6	1.9	0.0	1.6	4.3	49.8	49.7	58.9	493.9
36	1,999	89.3	92.2	92.0	42.8	1.3	3.4	1.0	0.0	43.1	18.8	39.7	119.5	543.1
37	2,000	197.4	137.3	119.5	10.9	2.6	5.8	2.7	4.5	10.7	49.3	29.3	82.0	652.0
38	2,001	233.0	173.1	137.4	36.4	11.5	0.0	17.4	10.2	20.6	38.3	96.8	89.4	864.1
39	2,002	134.5	184.6	112.7	21.6	16.2	2.5	27.1	3.7	10.3	78.7	97.8	132.4	822.1
40	2,003	163.9	135.5	142.9	56.5	2.0	6.4	0.0	21.3	3.7	34.6	23.1	123.8	713.7
41	2,004	173.7	125.8	66.5	21.0	2.4	20.5	17.0	9.0	21.7	25.6	60.9	87.9	632.0
42	2,005	140.8	130.6	120.2	33.1	3.2	0.4	1.2	4.0	4.5	39.1	59.3	102.5	638.9
43	2,006	203.4	155.5	145.9	40.9	0.2	4.9	0.0	10.5	7.5	72.5	67.8	147.2	856.3
44	2,007	140.8	58.7	107.3	93.6	5.8	0.0	4.0	0.0	1.0	48.0	96.9	88.4	644.5
45	2,008	108.8	109.2	64.4	7.6	8.7	2.1	0.0	3.9	13.9	51.7	90.2	131.9	592.4
46	2,009	112.5	108.3	79.1	21.3	5.3	0.0	3.3	0.7	15.1	8.3	88.7	82.9	525.5
47	2,010	268.5	168.5	129.2	16.6	1.3	0.0	1.4	4.7	8.2	70.0	40.0	172.7	881.1
48	2,011	103.4	179.3	131.9	67.6	3.9	3.2	3.7	0.0	38.9	38.2	60.2	110.2	740.5
49	2,012	70.5	167.7	41.7	48.1	4.5	1.2	0.0	0.1	18.4	19.5	138.2	179.5	689.4
50	2,013	180.5	137.2	75.5	13.0	25.3	6.1	2.0	12.4	6.3	105.0	86.0	159.4	808.7
51	2,014	161.9	116.5	36.5	35.0	10.1	0.0	3.2	5.8	12.6	24.8	29.6	152.1	588.1
52	2,015	169.8	146.5	66.7	69.8	18.6	3.9	10.3	4.6	16.1	19.1	48.6	113.0	687.0
53	2,016	104.0	153.1	54.3	24.4	3.0	0.0	4.5	0.5	7.0	79.5	28.0	89.8	548.1
54	2,017	111.2	130.7	122.8	47.5	11.2	5.9	0.0	8.4	19.0	33.7	61.4	101.7	653.5
55	2,018	154.8	162.5	146.3	20.3	0.2	16.0	11.6	7.1	9.1	84.8	80.8	95.0	788.4
N° Datos		55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Media		145.1	123.3	98.4	40.8	6.5	3.8	3.9	6.0	17.6	48.1	70.8	110.4	674.7
Desv. Estandar		45.46	31.53	34.60	23.23	6.05	6.15	6.44	7.20	12.55	24.69	33.50	34.06	109.33
Coef. Variacion		31.34	25.57	35.16	56.95	92.79	159.83	163.05	120.67	71.46	51.32	47.30	30.87	16.20
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				
										8/27/2020 22:00				

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 31: Histograma de Precipitación Estación – Kayra Completada



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 84: Análisis de Estadístico de Saltos – Kayra Completada

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS

Estacion : KAYRA			Codigo: 156323						Cuenca: VILCANOTA				
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
1964-1992	228.00	55.326	52.884	0.050	0.050	55.948	4.580	Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1993-2018	432	56.699	57.497					0.30	1.96	1.18	1.21	No	No

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.



Tabla 85: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Písaq

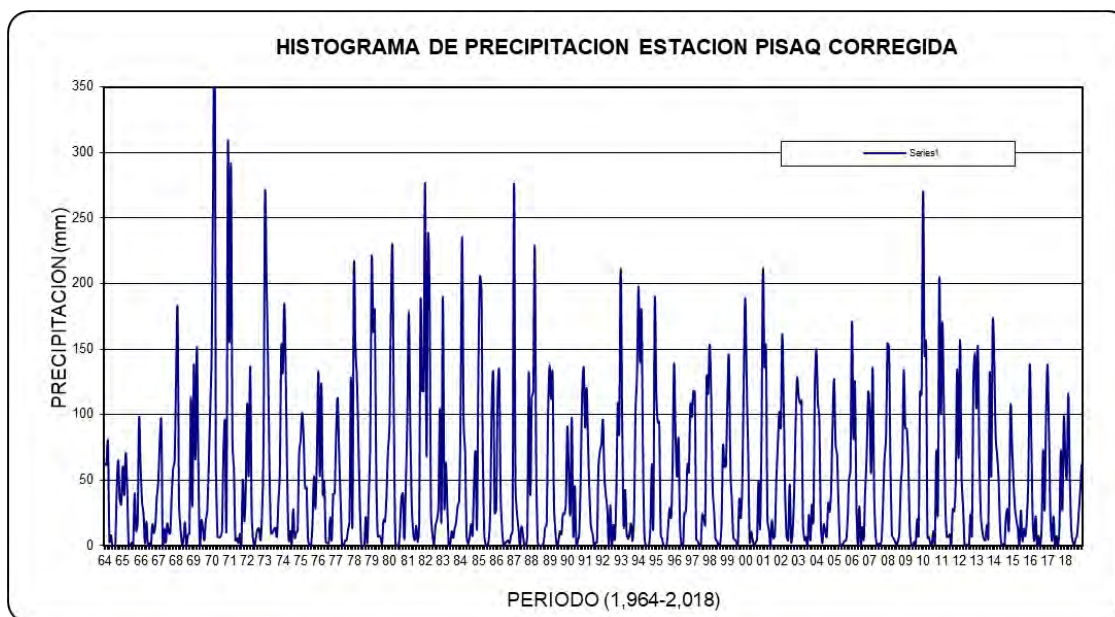
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL CORREGIDA														
(mm)														
Estacion : PISAC														
Tipo : CP														
Latitud : 13° 24' 57" S														
Longitud : 71° 51' 03" W														
Altitud : 2,950 msnm														
Departamento : Cusco														
Provincia : Calca														
Distrito : Písaq														
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	62.3	62.0	79.0	3.0	8.0	0.0	0.0	0.0	44.0	65.0	35.0	31.7	390.0
2	1,965	60.5	38.6	71.0	43.0	0.0	0.0	2.5	0.0	40.1	11.0	17.0	97.5	381.2
3	1,966	61.0	33.7	24.2	2.0	18.1	0.0	2.0	0.0	16.4	9.6	15.8	37.0	219.8
4	1,967	50.0	79.4	95.5	0.0	13.0	2.3	17.1	9.9	9.4	37.8	59.2	65.2	438.8
5	1,968	128.7	179.9	32.0	13.3	1.0	5.2	17.9	0.2	8.5	9.5	112.9	30.2	539.3
6	1,969	138.3	65.9	151.6	61.1	0.0	19.5	13.0	4.1	19.9	26.6	60.5	103.7	664.2
7	1,970	150.3	279.6	402.3	57.3	7.3	6.3	7.2	11.3	73.2	94.7	17.3	307.5	1,414.3
8	1,971	155.3	291.2	80.7	58.3	4.1	5.9	2.1	9.1	0.0	50.3	18.6	43.6	719.2
9	1,972	108.8	53.3	136.5	25.9	4.1	0.0	7.4	12.8	13.3	4.2	24.8	77.5	468.6
10	1,973	267.2	205.1	141.0	60.6	9.5	9.7	12.8	13.4	7.1	32.9	56.8	152.0	968.1
11	1,974	131.7	184.6	130.1	50.7	4.1	11.4	1.0	27.8	6.2	10.1	11.5	70.0	639.2
12	1,975	80.6	101.3	83.8	44.1	44.6	5.1	0.0	0.0	16.8	53.0	28.6	68.6	526.5
13	1,976	133.0	53.2	123.7	39.1	49.5	3.2	2.1	2.0	21.8	4.1	39.6	39.8	511.1
14	1,977	86.5	112.5	69.4	34.3	0.0	0.0	4.0	4.1	12.4	19.0	128.4	14.2	484.8
15	1,978	212.7	151.8	128.2	81.3	31.1	0.0	0.0	0.0	21.9	2.1	37.9	81.9	748.9
16	1,979	219.6	163.4	179.4	59.3	7.1	8.0	6.0	2.0	19.9	18.4	39.2	73.2	795.5
17	1,980	92.8	182.2	226.8	89.7	2.0	0.0	0.0	11.3	36.7	39.8	5.0	48.5	734.8
18	1,981	97.9	178.3	89.7	31.4	9.3	4.2	15.3	3.0	15.4	186.4	118.1	117.9	866.9
19	1,982	276.4	68.4	236.2	195.4	25.5	8.0	1.0	15.1	19.9	30.1	104.5	18.7	999.2
20	1,983	190.0	31.1	63.5	29.8	0.0	2.0	11.1	6.1	13.3	18.5	30.5	34.0	429.9
21	1,984	103.5	235.4	94.7	71.8	6.9	1.4	6.8	16.5	8.1	46.6	71.4	13.6	676.7
22	1,985	140.6	205.5	194.5	64.3	8.3	0.0	0.0	5.1	27.9	108.1	131.2	25.0	910.5
23	1,986	27.8	118.9	134.0	38.5	12.5	0.0	2.1	3.3	4.0	2.1	8.3	11.8	363.3
24	1,987	276.3	45.9	24.6	13.3	0.0	14.6	9.1	0.0	0.0	8.2	132.5	38.8	563.3
25	1,988	113.7	117.8	228.6	62.1	2.5	0.0	0.0	0.0	2.9	14.3	16.4	101.6	660.0
26	1,989	137.6	112.2	131.9	30.8	9.6	0.0	3.7	11.0	8.7	24.4	24.0	32.2	526.1
27	1,990	90.8	54.0	24.2	97.7	7.5	45.5	0.0	3.7	10.1	52.3	117.6	136.0	639.5
28	1,991	90.2	120.3	76.4	37.3	13.8	9.6	0.0	2.5	2.5	60.1	72.7	77.4	562.8
29	1,992	95.9	53.8	37.6	26.9	0.0	30.9	0.4	15.9	4.9	38.0	108.6	86.4	499.3
30	1,993	211.5	98.1	14.8	42.7	9.9	5.1	9.9	16.9	3.7	21.7	102.9	129.9	667.2
31	1,994	197.7	139.6	179.3	70.8	6.4	0.0	0.0	0.0	14.8	62.3	15.8	187.5	874.2
32	1,995	117.0	94.1	94.7	8.7	5.1	0.0	0.0	0.0	14.6	28.8	21.7	61.1	445.7
33	1,996	139.1	82.0	52.6	82.0	14.5	0.0	0.0	25.7	25.6	62.2	56.3	107.8	647.8
34	1,997	97.9	118.2	117.7	5.0	3.6	0.0	0.0	23.9	21.6	16.1	128.8	115.7	648.5
35	1,998	153.5	116.8	45.3	25.7	5.1	3.7	0.0	1.1	16.1	75.8	60.3	60.8	564.2
36	1,999	110.3	144.6	61.0	33.6	6.0	4.5	3.2	0.0	35.6	21.1	47.7	125.3	592.9
37	2,000	188.9	124.7	69.5	2.8	10.9	4.5	0.0	2.5	5.4	49.3	13.2	83.6	555.3
38	2,001	211.2	136.4	152.2	19.9	12.1	0.0	19.4	5.6	8.0	50.0	77.4	102.0	794.2
39	2,002	90.6	161.4	106.1	35.8	6.6	4.3	46.6	3.3	10.9	39.4	91.6	127.9	724.5
40	2,003	114.4	108.7	110.7	15.8	4.4	6.8	0.0	23.6	4.0	31.7	18.3	120.9	559.3
41	2,004	149.9	109.2	95.6	15.8	2.0	16.4	10.3	6.9	32.5	25.9	43.0	94.3	601.8
42	2,005	127.0	76.9	69.1	29.6	0.0	0.0	1.5	3.7	4.1	18.0	50.5	58.6	439.0
43	2,006	170.7	82.2	125.0	34.5	0.0	30.0	0.0	14.3	5.2	42.7	69.7	117.1	691.4
44	2,007	102.7	55.8	135.8	42.1	7.6	0.0	1.7	0.0	4.9	32.7	66.9	83.3	533.5
45	2,008	154.3	151.5	61.5	8.5	5.9	3.6	0.7	3.2	9.8	46.8	64.1	133.9	643.8
46	2,009	89.9	89.4	66.2	14.1	0.2	0.0	3.1	0.8	20.4	8.2	118.1	115.3	525.7
47	2,010	270.1	145.1	155.8	6.0	6.5	1.1	1.4	11.4	1.8	72.7	26.3	204.2	902.4
48	2,011	100.7	170.6	109.2	32.9	6.8	7.0	8.6	0.6	27.9	26.2	48.0	134.5	673.0
49	2,012	67.0	157.0	54.2	30.1	1.2	0.5	0.8	0.5	24.1	8.6	127.0	146.8	617.8
50	2,013	104.8	152.2	68.1	23.3	10.7	5.4	4.1	15.8	5.6	132.0	52.9	170.1	745.0
51	2,014	143.8	82.6	68.7	50.0	12.8	0.0	1.3	1.5	22.9	28.2	12.5	105.8	530.1
52	2,015	78.0	49.8	28.3	19.1	12.5	0.0	26.8	3.6	13.1	7.4	20.6	51.8	311.0
53	2,016	137.9	84.5	19.7	3.6	22.5	0.2	7.3	0.0	14.1	72.9	27.1	98.2	487.9
54	2,017	66.4	52.5	116.2	54.8	12.9	3.2	0.8	5.5	9.0	24.6	40.8	61.9	448.6
55	2,018	124.3	121.1	107.0	32.6	3.9	14.2	13.6	15.0	11.8	85.7	92.6	69.4	691.2
N° Datos	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Media	132.7	117.9	105.0	39.3	8.9	5.5	5.6	6.8	15.5	39.4	57.1	89.1	622.9	
Desv. Estandar	58.84	59.23	67.53	32.18	9.91	8.80	8.34	7.53	13.09	34.49	39.39	54.16	196.38	
Coef. Variacion	44.33	50.24	64.31	81.87	111.30	159.42	150.11	110.13	84.45	87.49	69.03	60.75	31.53	
Prec. Max	276.4	291.2	402.3	195.4	49.5	45.5	46.6	27.8	73.2	186.4	132.5	307.5	402.3	
Prec. Min.	27.8	31.1	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	5.0	11.8	0.0	

FUENTE : SENAMHI

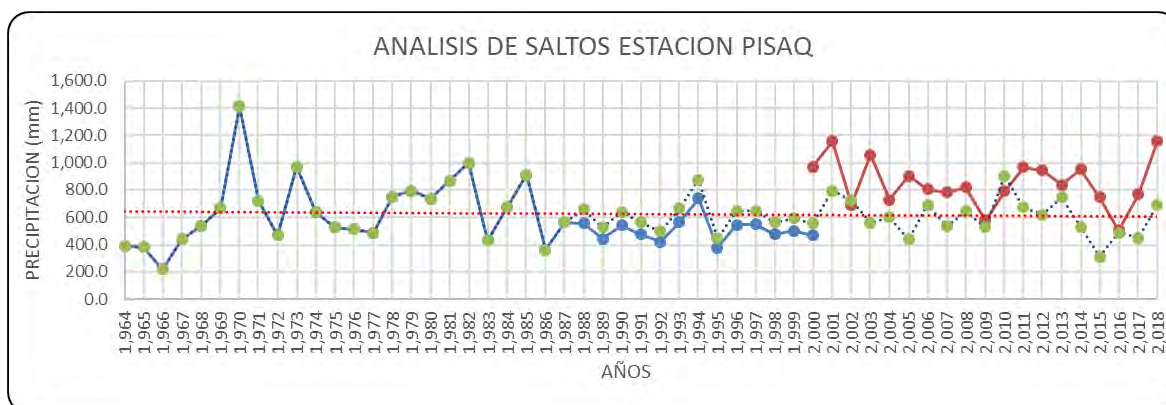
FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 32: Histograma de Precipitación Estación – PISAQ Corregida



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 86: Análisis de Estadístico de Saltos – PISAQ Corregido

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS

Estacion : PISAC			Codigo: 156304					Cuenca: VILCANOTA					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
1988-2000	156.00	42.651	45.380	0.050	0.050	50.324	5.288	Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
2001-2018	216	50.557	53.606					1.50	1.97	1.40	1.27	No	Si

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS CORREGIDO

Estacion : PISAC			Codigo: 156304					Cuenca: VILCANOTA					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
1988-2000	156.00	50.534	53.627	0.050	0.050	53.615	5.633	Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
2001-2018	216	50.557	53.606					0.00	1.97	1.00	1.27	No	No

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

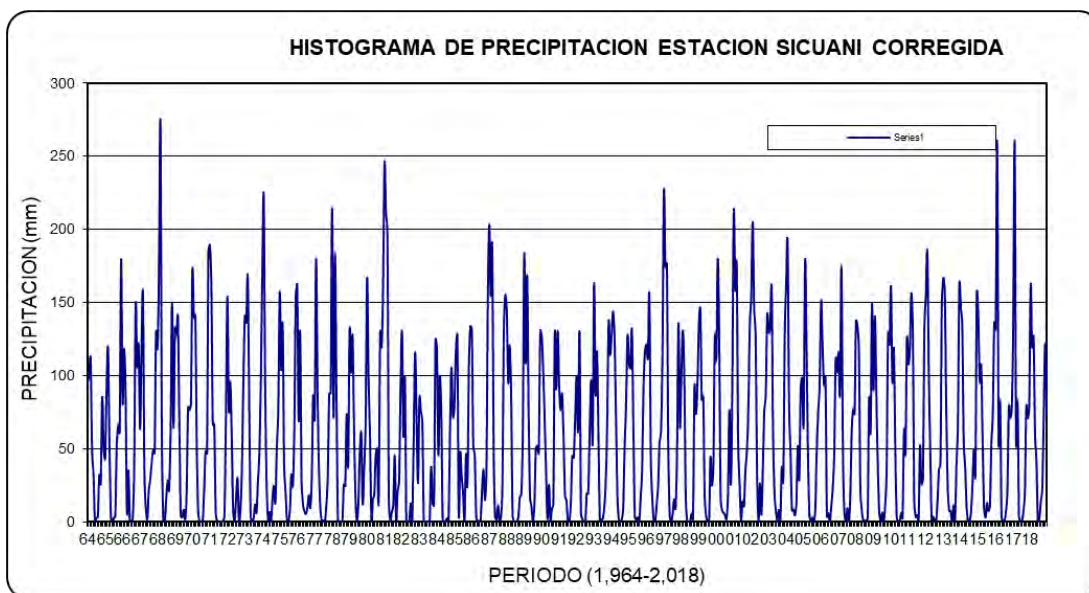


Tabla 87: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Sicuani

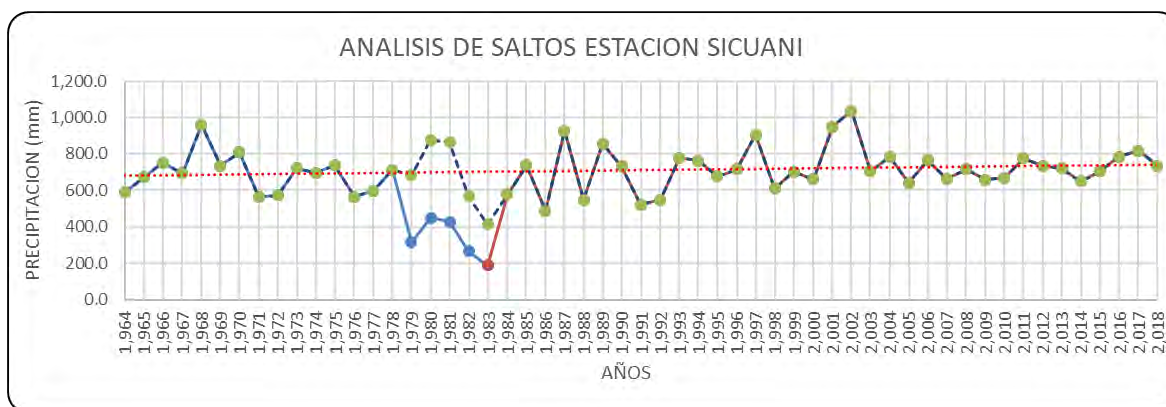
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETADA CORREGIDA (mm)														
Estacion : SICUANI Tipo : CO-759 Latitud : 14° 14' 14" S Longitud : 71° 14' 12" W Altitud : 3,564 msnm Departamento : Cusco Provincia : Canchis Distrito : Sicuani														
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	95.4	101.0	112.0	50.0	31.8	0.0	2.5	3.2	32.2	25.8	85.1	50.0	589.0
2	1,965	43.2	89.7	119.0	51.7	2.1	0.0	2.4	3.7	52.5	66.1	61.0	179.7	671.1
3	1,966	81.6	118.2	94.2	6.0	35.0	0.0	0.0	2.3	38.9	148.8	106.0	121.0	752.0
4	1,967	63.4	117.2	155.9	33.0	8.2	1.4	21.4	28.7	40.4	49.0	46.8	129.5	694.9
5	1,968	118.2	171.3	272.9	55.6	0.0	0.0	16.0	28.2	21.4	62.1	149.3	64.2	959.2
6	1,969	132.5	127.0	140.4	67.0	3.6	2.8	8.0	1.6	18.0	78.2	76.2	80.8	736.1
7	1,970	172.3	139.5	141.3	50.3	5.6	0.0	0.0	0.0	20.4	48.3	46.6	185.4	809.7
8	1,971	189.5	162.0	66.1	66.9	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	71.6	565.9
9	1,972	154.2	76.5	95.6	58.1	6.3	0.0	15.9	29.6	0.0	8.0	35.2	94.4	573.8
10	1,973	140.7	136.2	168.0	82.5	3.1	0.0	2.0	11.8	5.9	27.0	47.6	96.2	721.0
11	1,974	168.5	223.3	91.1	25.1	0.8	6.5	0.0	16.0	24.5	13.0	51.5	77.0	697.3
12	1,975	157.0	103.9	134.9	39.4	20.3	0.7	0.0	8.4	32.1	24.4	62.4	154.2	737.7
13	1,976	161.9	68.7	130.4	27.5	11.4	6.7	5.1	9.6	17.9	9.3	29.0	86.3	563.8
14	1,977	70.5	179.9	87.0	33.9	7.2	0.0	0.8	0.0	11.0	30.7	87.3	88.1	596.4
15	1,978	214.6	71.3	183.4	83.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.5	24.2	73.4	37.9	713.3
16	1,979	131.2	101.8	127.6	68.1	18.7	0.0	12.4	46.4	60.5	12.2	36.5	67.9	683.3
17	1,980	166.9	99.6	57.8	0.0	15.6	18.6	46.6	49.7	13.6	129.6	119.3	159.7	877.1
18	1,981	245.4	210.7	196.1	12.2	0.0	6.9	10.7	45.4	0.0	21.6	26.2	88.8	864.0
19	1,982	130.3	58.2	98.0	0.0	0.0	0.0	12.4	0.0	54.0	115.5	72.1	26.2	566.7
20	1,983	85.0	75.5	67.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.4	12.5	10.7	124.5	413.4
21	1,984	118.5	45.5	99.3	73.3	0.0	0.1	0.2	2.2	0.6	61.5	105.6	71.6	578.3
22	1,985	78.4	116.3	127.4	4.6	47.1	30.9	18.8	0.5	46.1	25.2	107.2	133.9	736.3
23	1,986	131.2	52.1	45.3	3.0	0.0	0.0	1.0	21.3	35.4	14.7	32.4	151.3	487.8
24	1,987	203.5	154.5	188.0	49.8	2.9	1.3	11.2	0.5	2.5	24.9	132.1	155.3	926.5
25	1,988	143.8	94.9	120.6	87.4	4.0	0.0	0.0	0.0	3.4	17.0	18.7	57.2	547.0
26	1,989	183.4	108.2	168.5	76.5	16.1	10.2	0.0	12.0	50.3	51.7	46.9	130.8	854.6
27	1,990	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	1,991	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	1,992	99.2	61.4	129.7	5.3	1.6	0.0	0.0	19.5	19.1	62.8	96.8	53.6	549.1
30	1,993	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	1,994	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	1,995	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	1,996	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	1,997	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	1,998	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	1,999	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	2,000	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	2,001	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	2,002	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	2,003	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	2,004	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	2,005	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	2,006	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	2,007	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	2,008	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	2,009	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	2,010	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	2,011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4	0.7	51.9	25.3	29.0	131.9	775.6
49	2,012	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	2,013	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	2,014	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	2,015	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	2,016	131.4	260.0	53.8	82.8	3.2	0.0	0.3	6.9	19.9	79.0	70.7	77.0	785.0
54	2,017	162.3	119.1	126.9	60.8	40.8	0.0	2.2	13.8	22.7	72.9	121.9	73.4	816.8
55	2,018	112.6	165.9	116.6	30.8	5.2	20.4	20.1	28.6	4.4	76.2	104.6	48.6	734.0
N° Datos	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Media	136.3	127.3	121.1	48.5	9.7	3.6	5.6	9.5	21.4	49.8	70.3	107.1	710.0	
Desv. Estandar	42.17	46.01	42.68	29.88	11.11	6.64	8.73	12.28	16.86	31.95	35.60	37.80	123.23	
Coef. Variacion	30.93	36.13	35.26	61.64	113.94	185.90	157.24	129.56	78.93	64.21	50.67	35.30	17.36	
Prec. Max.	245.4	260.0	272.9	132.7	47.1	30.9	46.6	49.7	60.5	148.8	149.3	185.4	272.9	
Prec. Min.	43.2	45.5	45.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	26.2	0.0
FUENTE : SENAMHI	FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00													

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 33: Histograma de Precipitación Estación – Sicuani Corregida



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 88: Análisis de Estadístico de Saltos – Sicuani Corregido

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS

Estacion : SICUANI			Codigo:					Cuenca: VILCANOTA					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1983	60.00	27.403	31.729	0.050	0.050	54.724	7.553	4.34	1.96	3.25	1.35	Si	Si
1984-2018	420	60.154	57.225										

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS CORREGIDO

Estacion : SICUANI			Codigo:					Cuenca: VILCANOTA					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1983	60.00	56.741	59.981	0.050	0.050	57.572	7.946	0.43	1.96	1.10	1.35	No	No
1984-2018	420	60.154	57.225										

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

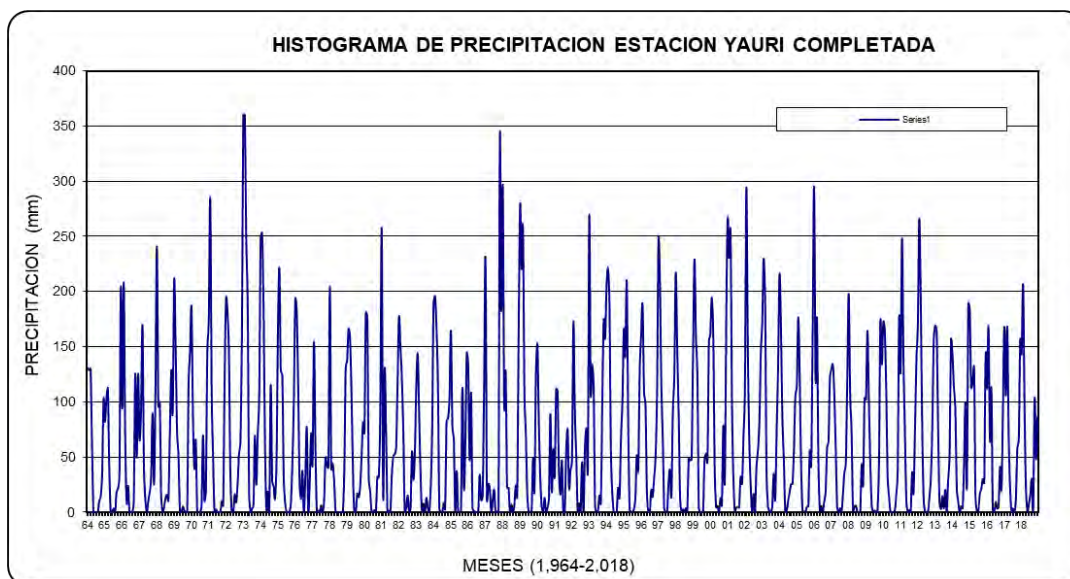


Tabla 89: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Yauri

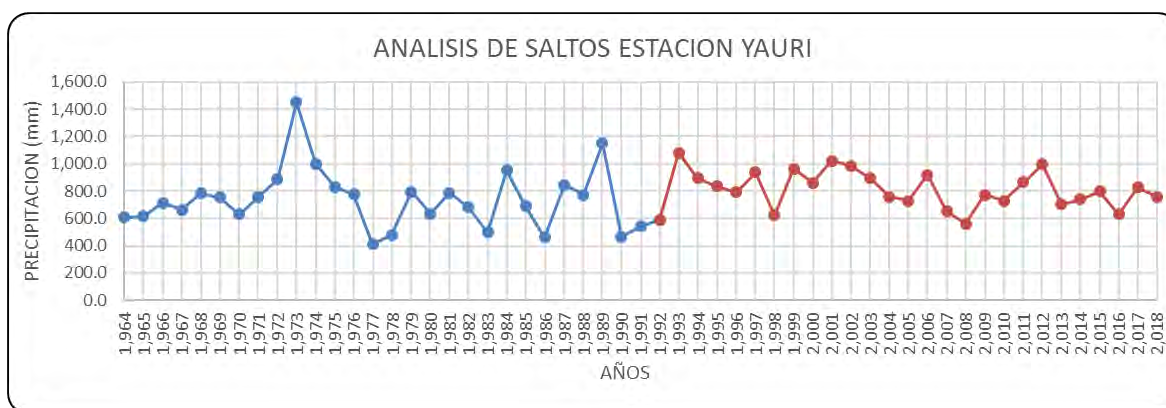
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETADA														
(mm)														
Estaci : YAURI														
Tipo : PLU														
Latitud : 14° 48' 10" S														
Longitud : 71° 25' 50" W														
Altitud : 3,940 msnm														
Departamento : Cusco														
Provincia : Espinar														
Distrito : Yauri														
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	130.4	129.0	130.0	59.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	14.0	33.4	102.2	608.0
2	1,965	81.9	103.1	111.8	37.8	0.0	0.0	3.2	0.0	17.9	21.3	33.1	203.9	614.0
3	1,966	93.9	208.2	69.9	8.9	24.0	0.0	0.0	0.0	10.3	125.3	49.4	125.5	715.4
4	1,967	65.4	92.6	169.1	41.4	11.2	0.0	9.9	18.3	31.4	89.5	25.2	107.2	661.2
5	1,968	240.7	95.9	99.9	14.0	0.0	4.5	13.0	15.7	10.5	70.4	128.7	90.1	783.4
6	1,969	210.7	149.9	73.0	51.0	0.0	0.0	5.0	1.2	0.0	0.0	117.1	144.9	752.8
7	1,970	186.0	89.2	39.6	65.0	0.0	0.0	0.0	5.5	69.5	10.0	19.5	144.2	628.5
8	1,971	174.3	284.4	111.7	49.6	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	10.1	6.0	119.3	757.9
9	1,972	193.7	180.3	144.7	34.0	0.0	0.0	16.2	8.6	25.4	53.2	64.4	163.7	884.2
10	1,973	360.3	360.1	248.4	186.6	15.6	0.0	3.3	5.9	69.2	24.8	71.1	104.7	1,450.0
11	1,974	248.9	253.4	187.9	63.8	2.6	18.6	0.0	115.4	28.2	23.3	12.2	45.0	999.3
12	1,975	166.5	221.0	128.2	124.6	32.6	7.8	0.0	0.0	0.0	9.0	43.4	99.4	832.5
13	1,976	192.8	182.4	119.1	26.4	11.8	37.4	0.0	31.8	77.0	1.6	23.6	71.6	775.5
14	1,977	43.8	154.6	60.8	0.0	1.4	0.0	6.2	0.0	10.2	49.2	42.0	40.2	408.4
15	1,978	204.2	39.0	44.0	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.7	131.5	479.8
16	1,979	136.9	166.2	158.3	109.0	39.0	0.0	0.5	16.6	13.5	22.7	48.8	81.5	793.1
17	1,980	72.0	181.1	176.8	31.0	18.5	0.0	0.4	1.7	0.1	32.3	31.7	89.6	635.0
18	1,981	257.1	13.2	129.8	72.7	0.0	1.1	0.3	33.4	50.7	52.3	58.3	116.5	785.3
19	1,982	177.2	150.0	120.8	71.0	0.0	4.1	15.2	0.0	2.9	54.8	29.3	55.4	680.6
20	1,983	114.3	143.4	85.7	31.5	0.3	7.6	0.0	13.2	3.9	0.4	22.5	75.4	498.2
21	1,984	190.5	195.9	167.4	114.4	3.0	0.1	0.0	8.2	2.8	83.4	84.5	102.9	952.9
22	1,985	164.6	79.2	65.3	0.8	37.3	1.3	0.0	0.0	112.7	21.1	62.3	143.9	688.5
23	1,986	134.0	47.1	108.1	3.5	1.0	0.1	0.0	0.7	33.9	10.6	14.5	108.5	461.9
24	1,987	230.0	11.1	25.7	21.0	0.0	11.0	20.4	0.0	0.6	0.3	342.0	182.5	844.6
25	1,988	295.9	95.3	128.1	22.3	21.9	0.2	6.8	0.0	6.3	24.3	13.7	158.4	773.2
26	1,989	279.3	220.5	258.0	111.0	70.5	15.7	0.1	0.2	1.3	49.3	19.2	124.9	1,150.1
27	1,990	152.3	81.7	32.2	4.4	0.8	13.0	0.1	4.4	12.2	88.9	18.4	57.0	465.4
28	1,991	32.2	111.6	109.6	34.1	15.8	47.0	0.0	0.0	55.9	74.8	21.6	38.5	541.0
29	1,992	46.2	172.4	92.8	50.2	0.0	8.0	0.0	45.3	0.0	59.8	75.6	37.8	588.0
30	1,993	269.3	107.2	133.6	116.5	5.5	0.0	0.8	15.0	7.7	93.7	173.7	157.1	1,080.1
31	1,994	205.6	221.6	191.1	56.6	16.7	0.0	0.0	0.0	22.2	13.1	66.4	100.6	893.9
32	1,995	165.8	141.2	209.4	81.7	2.7	0.0	0.0	2.8	13.0	51.6	37.6	128.2	834.0
33	1,996	160.4	187.8	109.2	96.9	16.9	0.0	0.0	20.3	13.6	31.0	51.1	105.0	792.2
34	1,997	246.5	209.7	116.4	66.7	3.2	0.0	0.0	26.2	38.4	14.6	91.7	122.6	936.0
35	1,998	217.1	150.4	89.8	13.8	0.0	2.5	0.0	3.6	0.8	48.3	47.0	48.0	621.3
36	1,999	141.6	229.3	159.1	125.5	3.6	0.0	0.0	0.8	47.8	52.9	45.3	155.3	961.2
37	2,000	160.7	194.6	161.8	41.1	4.2	5.6	0.0	12.7	6.2	78.5	26.8	167.8	860.0
38	2,001	265.9	230.5	254.9	99.5	32.0	0.9	4.3	4.8	4.2	32.2	25.8	67.5	1,022.5
39	2,002	111.4	294.3	148.0	67.6	24.7	0.5	16.7	0.0	40.5	56.0	80.7	142.8	983.2
40	2,003	171.1	230.0	193.3	36.9	5.7	0.8	0.0	5.5	34.8	11.1	73.4	129.2	891.8
41	2,004	215.7	166.5	84.5	48.4	0.0	1.8	10.7	17.7	25.6	25.7	56.7	105.4	758.7
42	2,005	114.3	176.5	123.2	43.1	1.1	0.7	0.0	4.8	5.6	55.9	41.9	162.2	729.3
43	2,006	295.0	119.9	175.6	45.8	1.4	5.4	0.0	9.7	18.6	59.1	64.1	122.6	917.2
44	2,007	129.7	133.6	108.1	58.6	4.6	0.0	3.4	0.0	16.3	36.3	43.5	117.7	651.8
45	2,008	197.9	107.5	72.5	1.2	4.9	5.8	0.0	0.0	0.2	43.4	24.8	103.3	561.5
46	2,009	102.0	164.6	102.2	44.5	5.5	0.0	1.4	0.0	2.0	43.8	172.6	133.9	772.5
47	2,010	172.6	165.7	114.9	32.0	13.6	0.0	0.0	0.0	1.7	16.2	36.0	176.7	729.4
48	2,011	127.0	248.2	138.8	73.7	10.0	0.0	1.9	0.1	36.1	16.9	74.9	137.6	865.2
49	2,012	171.5	266.1	191.4	76.4	11.4	0.0	0.1	0.0	13.7	31.3	76.2	156.2	994.3
50	2,013	169.0	165.1	81.6	8.6	2.7	14.4	3.4	20.1	0.0	28.6	53.0	156.1	702.6
51	2,014	142.8	113.1	92.3	21.2	9.1	0.0	5.5	3.5	41.4	99.7	22.2	189.2	740.0
52	2,015	184.2	112.7	117.3	131.4	13.7	0.5	1.5	17.3	20.6	30.1	26.4	142.6	798.3
53	2,016	112.1	168.2	64.6	112.0	1.7	0.1	9.2	3.2	4.7	40.9	20.5	91.6	628.8
54	2,017	168.0	105.7	168.1	68.4	22.6	0.1	3.2	0.0	12.1	57.7	66.3	156.4	828.6
55	2,018	143.1	206.1	93.2	19.2	1.1	6.9	16.4	30.1	2.3	103.3	48.1	86.2	756.0
Nº Datos		55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Media		171.6	160.5	125.3	55.5	9.6	4.1	3.3	9.5	19.8	40.9	56.2	116.9	773.1
Desv. Estandar		68.08	69.88	53.48	40.37	13.40	8.77	5.38	17.94	23.52	30.01	52.71	40.79	187.72
Coef. Variacion		39.68	43.54	42.68	72.72	140.10	213.42	165.26	188.20	119.08	73.40	93.76	34.90	24.28
Prec. Max.		360.3	360.1	258.0	186.6	70.5	47.0	20.4	115.4	112.7	125.3	342.0	203.9	360.3
Prec. Min.		32.2	11.1	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	37.8	0.0
FUENTE : SENAMHI										FECHA Y HORA				
										8/27/2020 22:00				

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 34: Histograma de Precipitación Estación – Sicuani Completada



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 90: Análisis de Estadístico de Saltos – Yauri Completada

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS													
Estacion : YAURI			Codigo: 156332					Cuenca: APURIMAC					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1992	228.00	62.477	73.166	0.050	0.050	72.785	5.958	0.50	1.96	1.02	1.21	No	No
1993-2018	432	65.449	72.583										

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

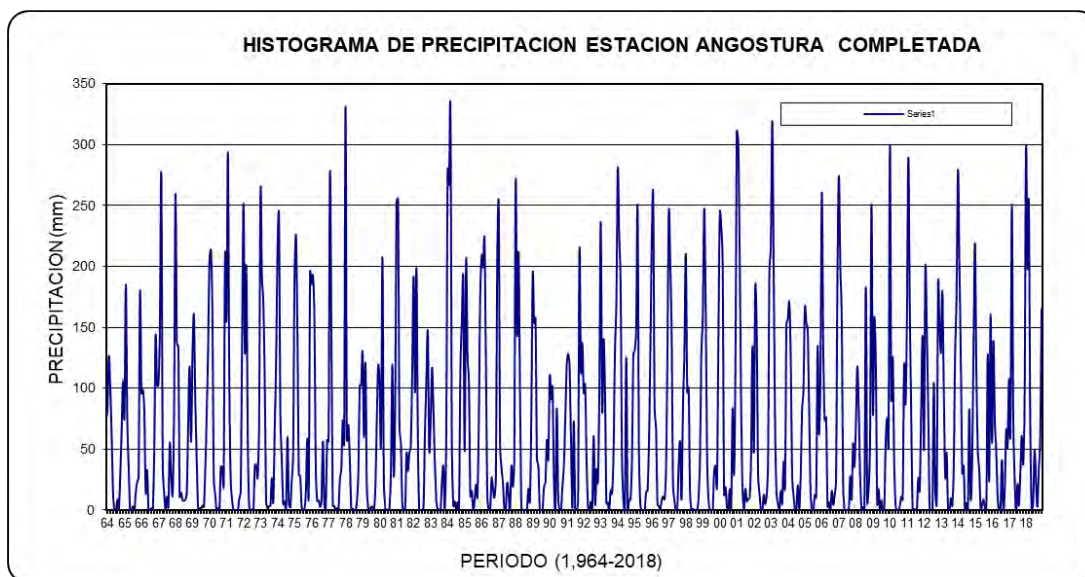


Tabla 91: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Angostura

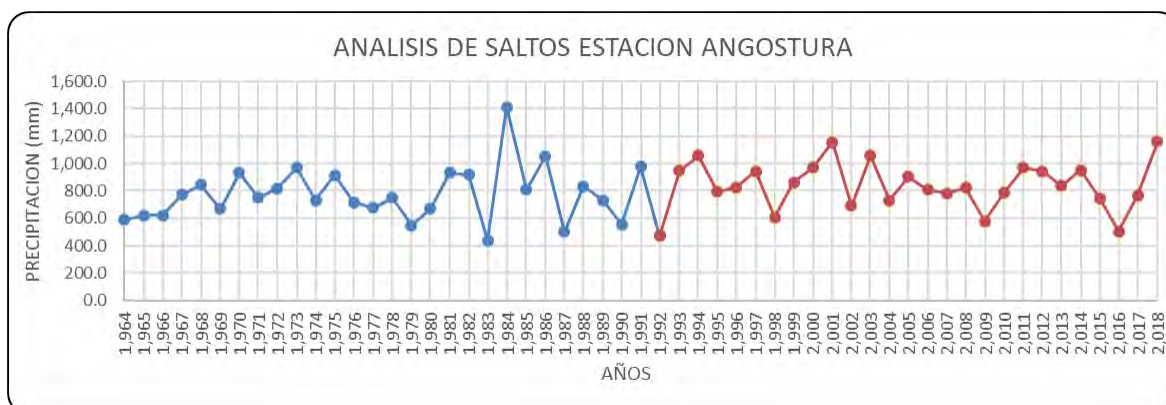
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETADA														
(mm)														
Estacio : ANGOSTURA														
Tipo : CO-754		Latitud : 15° 11' S		Departamento : Arequipa		Provincia : Caylloma		Distrito : Caylloma						
		Longitug : 71° 35' W												
		Altitud : 4,155 msnm												
Nº REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	78.8	126.5	101.2	61.3	13.6	0.0	0.0	8.9	0.0	27.2	64.7	106.5	588.7
2	1,965	76.8	185.3	75.8	35.3	0.0	0.0	3.5	0.0	14.8	23.7	27.6	179.6	622.4
3	1,966	96.3	99.2	83.1	15.4	33.2	0.0	0.0	2.0	1.1	46.0	143.4	102.4	622.2
4	1,967	103.2	149.2	276.0	37.9	14.0	1.0	11.3	3.0	55.5	26.0	13.1	80.3	770.5
5	1,968	259.2	136.8	134.8	11.3	14.7	8.2	8.2	8.9	15.0	72.5	118.2	56.4	844.2
6	1,969	125.5	160.7	89.9	41.6	0.0	2.2	1.5	4.1	3.2	32.3	77.6	131.6	670.2
7	1,970	206.8	214.1	168.8	27.3	13.2	0.0	2.1	0.0	36.1	35.6	20.0	208.9	932.9
8	1,971	156.6	293.8	104.5	24.2	8.0	0.1	0.0	0.1	0.1	9.9	16.0	137.2	750.5
9	1,972	251.8	129.3	200.6	59.3	3.3	0.0	1.0	0.1	37.5	37.6	27.3	72.2	820.0
10	1,973	262.9	192.3	170.3	105.4	6.5	1.7	3.6	4.3	26.7	6.9	65.9	123.6	970.1
11	1,974	215.5	242.6	80.1	42.1	5.4	7.4	0.4	60.2	4.5	2.6	24.0	46.5	731.3
12	1,975	190.3	226.2	151.7	29.8	28.0	3.7	0.1	1.1	15.8	59.0	12.7	195.8	914.2
13	1,976	185.8	193.1	158.0	33.5	7.8	8.5	2.7	8.3	56.6	3.9	1.0	58.1	717.3
14	1,977	56.7	277.6	144.5	4.1	3.7	0.0	2.0	0.0	26.1	34.3	74.1	55.3	678.4
15	1,978	331.4	58.1	70.2	41.8	1.4	1.6	0.1	0.1	8.0	31.4	102.8	102.8	749.7
16	1,979	130.0	60.3	121.0	20.4	1.2	0.0	2.9	3.1	0.2	18.8	72.2	119.2	549.3
17	1,980	104.9	54.3	208.0	25.6	2.2	0.0	0.6	2.7	34.2	119.9	28.0	87.5	667.9
18	1,981	253.2	256.0	69.3	55.5	5.9	0.1	0.0	47.0	32.6	47.5	52.7	113.9	933.7
19	1,982	192.2	96.9	198.7	57.7	0.0	0.1	0.1	3.4	64.7	106.8	146.7	50.2	917.5
20	1,983	72.3	117.3	81.7	39.0	8.2	1.2	0.8	0.1	23.7	36.3	1.6	55.1	437.3
21	1,984	279.8	267.2	329.4	55.2	3.8	7.5	1.2	6.9	0.2	116.0	153.8	190.0	1,411.0
22	1,985	48.8	206.3	126.6	104.7	12.0	16.2	0.0	8.8	21.2	11.0	74.4	177.2	807.2
23	1,986	209.3	199.9	222.7	122.2	11.1	0.0	0.0	26.5	17.7	10.7	26.5	207.4	1,054.0
24	1,987	252.3	53.6	35.0	21.9	1.1	2.2	22.9	13.1	0.9	36.9	19.6	40.4	499.9
25	1,988	270.9	143.8	211.9	103.1	3.1	0.0	0.0	0.0	1.9	18.0	7.3	75.2	835.2
26	1,989	194.1	153.7	157.8	43.3	36.3	0.6	0.0	1.6	20.1	23.5	58.2	42.3	731.5
27	1,990	110.0	91.3	101.3	23.6	1.6	83.9	8.7	0.7	0.2	20.5	37.7	76.3	555.8
28	1,991	119.2	128.7	119.2	59.4	2.1	73.3	0.6	0.0	7.2	214.3	114.6	137.8	976.3
29	1,992	96.4	103.4	41.4	3.5	0.0	7.2	1.7	61.1	4.8	34.1	23.1	95.9	472.6
30	1,993	236.9	82.4	140.8	98.9	5.8	6.7	0.4	16.9	13.8	45.9	129.5	169.5	947.5
31	1,994	280.8	226.3	186.9	43.5	7.8	0.0	125.5	0.0	9.0	8.8	39.6	128.4	1,056.6
32	1,995	131.2	148.7	249.2	45.1	3.9	0.0	0.0	0.0	15.3	16.2	54.9	130.5	795.0
33	1,996	222.1	258.6	85.0	67.7	4.9	3.9	0.6	8.8	11.4	9.1	30.9	123.6	826.6
34	1,997	244.9	205.3	147.5	20.5	8.2	0.0	0.0	39.0	56.2	9.3	86.1	127.7	944.7
35	1,998	210.4	96.9	101.1	14.6	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	10.4	43.9	129.1	608.0
36	1,999	159.6	247.7	170.2	46.5	8.8	0.3	0.0	0.0	32.1	36.9	19.4	142.3	863.8
37	2,000	245.1	233.7	203.1	13.1	19.3	4.1	0.5	17.4	2.8	83.8	29.0	116.4	968.3
38	2,001	311.0	303.1	211.4	91.9	17.6	0.5	18.0	7.7	9.7	10.2	40.3	134.8	1,156.1
39	2,002	47.7	183.9	149.4	29.7	13.4	0.0	0.1	13.0	5.4	11.8	38.8	196.8	690.1
40	2,003	217.3	319.8	195.2	69.8	14.9	5.0	0.9	16.3	5.8	40.4	19.0	152.9	1,057.2
41	2,004	157.2	171.2	127.9	29.5	12.1	0.7	1.8	20.7	1.7	25.3	82.1	99.7	729.8
42	2,005	166.8	154.4	147.9	83.5	16.2	0.3	0.4	13.2	10.6	134.6	62.7	112.3	902.9
43	2,006	261.1	128.5	74.0	76.5	3.3	6.8	0.1	16.2	4.8	12.9	25.0	197.5	806.6
44	2,007	274.8	199.9	158.6	19.7	0.2	0.0	0.6	1.4	28.1	9.2	54.7	36.3	783.5
45	2,008	72.1	118.3	82.9	28.1	0.6	3.0	0.3	183.2	6.6	18.5	57.1	251.0	821.5
46	2,009	80.3	158.2	123.8	5.6	17.4	0.0	8.2	0.0	1.4	55.1	76.0	53.2	579.2
47	2,010	300.1	92.9	125.9	39.1	4.1	0.0	0.0	3.9	11.2	8.8	118.6	87.4	791.9
48	2,011	160.4	289.9	166.9	79.1	0.7	1.4	0.8	0.9	27.0	16.4	81.3	143.1	967.8
49	2,012	50.1	198.6	149.4	82.9	2.3	0.0	0.3	104.8	14.1	4.7	186.0	150.7	943.7
50	2,013	130.2	179.9	97.7	27.4	47.1	0.3	0.0	10.4	4.3	36.7	129.2	176.2	839.2
51	2,014	279.6	202.8	124.1	30.9	37.0	0.0	6.1	0.6	83.0	9.4	41.7	135.0	950.1
52	2,015	219.5	113.7	49.0	33.0	1.3	4.5	8.9	2.0	0.5	128.5	23.9	160.8	745.5
53	2,016	55.6	139.1	73.2	48.8	10.1	0.0	1.6	41.4	0.0	17.7	66.3	51.6	505.2
54	2,017	107.9	63.4	251.1	77.5	25.7	0.1	21.8	4.1	30.7	61.5	38.1	86.2	768.1
55	2,018	297.6	198.7	252.8	70.1	0.0	6.2	49.1	24.9	3.5	34.4	57.9	165.6	1,160.5
Nº Datos		55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Media		179.1	169.7	143.2	46.9	9.5	4.9	5.9	15.0	16.7	38.5	58.8	119.7	808.0
Desv. Estandar		81.62	69.54	62.95	28.97	10.61	14.83	18.32	30.16	18.71	40.66	43.03	51.64	189.20
Coef. Variacion		45.57	40.98	43.95	61.79	111.30	299.84	313.07	201.63	111.92	105.53	73.12	43.14	23.42
Prec. Max.		331.4	319.8	329.4	122.2	47.1	83.9	125.5	183.2	83.0	214.3	186.0	251.0	331.4
Prec. Mn.		47.7	53.6	35.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	1.0	36.3	0.0
FUENTE : SENAMHI		FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00												

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 35: Histograma de Precipitación Estación – Angostura Completada



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 92: Análisis de Estadístico de Saltos – Angostura Completada

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS

Estacion : ANGOSTURA			Codigo: 156304					Cuenca: APURIMAC					
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1992	228.00	63.381	74.673	0.050	0.050	78.099	6.393	0.94	1.96	1.14	1.21	No	No
1993-2018	432	69.422	79.844										

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

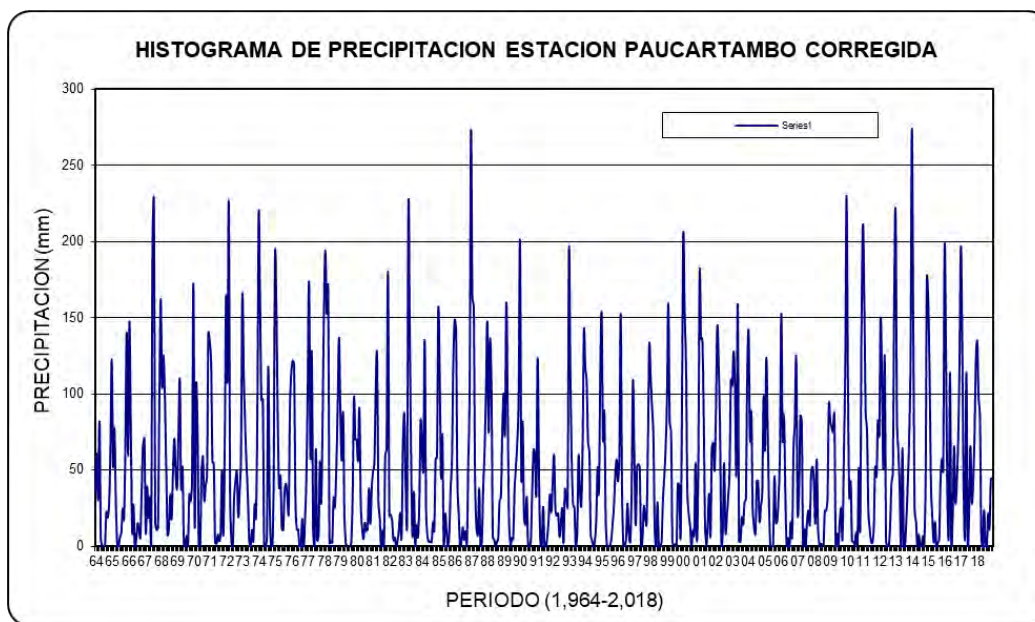


Tabla 93: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Paucartambo

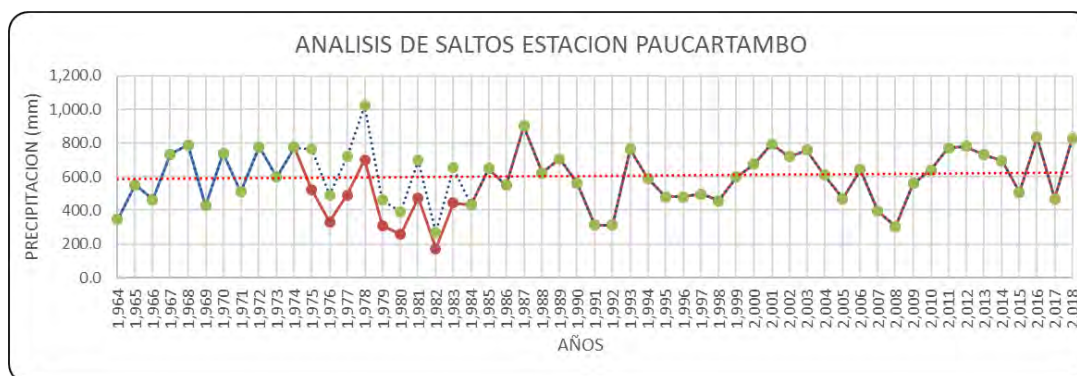
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL CORREGIDA														
(mm)														
Estacion : PAUCARTAMBO														
Tipo : 2001														
Latitud : 13° 16' S														
Longitud : 71° 37' W														
Altitud : 2,830 msnm														
Departamento : Cusco														
Provincia : Paucartambo														
Distrito : Paucartambo														
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	35.8	61.3	30.7	82.0	5.2	0.6	0.0	0.0	22.7	18.9	27.2	61.0	345.5
2	1,965	123.0	53.0	78.0	31.2	2.5	0.0	6.5	9.0	24.9	17.8	65.0	140.8	551.7
3	1,966	59.9	147.7	77.9	9.9	27.6	0.0	5.0	15.3	11.3	6.0	37.6	66.0	464.2
4	1,967	71.0	9.0	39.6	19.0	32.3	2.3	197.1	227.0	16.0	11.0	12.2	96.8	733.2
5	1,968	162.6	105.0	125.6	99.5	54.3	8.0	12.1	34.3	18.1	48.3	71.0	49.5	788.2
6	1,969	38.5	71.8	109.9	38.6	52.4	1.7	0.6	7.4	1.7	34.2	29.7	42.2	428.6
7	1,970	172.6	13.3	106.4	80.1	0.1	1.4	47.7	59.4	30.3	40.7	46.7	140.5	739.1
8	1,971	134.4	121.0	55.5	54.7	2.6	2.1	8.0	3.7	7.7	50.1	7.4	63.3	510.7
9	1,972	164.7	108.6	226.3	31.4	2.9	0.8	33.9	43.6	49.4	19.6	37.0	58.8	776.9
10	1,973	165.3	113.1	79.7	54.5	34.0	4.0	0.0	11.0	3.5	28.0	19.0	85.5	597.6
11	1,974	219.0	161.0	96.0	97.0	0.0	0.0	6.0	118.0	32.0	0.0	0.0	44.2	773.2
12	1,975	190.7	156.0	83.7	39.1	46.6	11.8	10.8	36.8	41.4	32.2	21.7	93.4	764.3
13	1,976	115.6	122.3	119.7	29.7	11.3	11.5	0.0	0.0	18.2	0.0	17.5	44.8	490.5
14	1,977	102.9	173.6	58.0	128.1	10.2	0.0	64.3	4.3	7.9	55.9	28.6	86.5	720.3
15	1,978	158.4	194.4	152.9	170.6	2.3	3.6	2.7	32.1	26.0	50.0	90.7	137.2	1,020.9
16	1,979	89.9	56.6	87.8	20.2	2.5	0.0	0.0	0.0	2.8	32.6	97.9	70.5	460.7
17	1,980	70.2	56.6	90.9	29.3	11.6	5.1	15.7	10.3	11.5	38.4	15.0	37.7	392.2
18	1,981	49.6	54.7	102.7	125.6	30.1	18.5	0.0	10.8	0.0	61.0	63.9	180.2	697.1
19	1,982	20.2	21.0	17.5	4.2	6.1	0.0	3.8	11.8	22.2	6.0	69.1	87.5	269.2
20	1,983	40.3	13.8	224.4	143.2	56.9	6.7	36.2	2.0	14.6	6.2	27.4	82.6	654.3
21	1,984	64.9	50.2	135.6	23.9	6.7	3.4	3.6	2.9	16.2	10.6	57.8	58.9	434.8
22	1,985	156.1	114.3	45.5	73.1	1.0	21.8	10.7	0.8	8.0	38.1	57.7	120.4	647.3
23	1,986	149.1	143.0	43.4	21.0	0.1	3.9	12.6	4.5	10.3	2.0	55.4	103.2	548.4
24	1,987	273.3	162.9	157.5	42.8	12.5	7.6	38.1	0.0	3.3	39.6	63.6	100.8	901.9
25	1,988	147.5	74.9	136.4	106.8	6.4	4.6	0.0	3.5	5.4	30.4	32.8	75.7	624.4
26	1,989	100.6	74.3	160.3	85.6	15.5	1.3	6.1	5.0	37.4	53.2	69.1	96.4	704.7
27	1,990	201.2	45.9	81.9	18.8	14.4	32.7	0.0	0.0	4.8	37.4	63.7	58.6	559.4
28	1,991	35.1	123.7	43.6	3.1	0.0	26.2	1.0	0.0	6.1	17.7	34.5	22.6	313.6
29	1,992	41.5	60.0	23.9	20.4	21.8	6.6	14.6	25.3	2.3	37.5	32.7	26.1	312.7
30	1,993	195.1	115.1	57.1	27.7	25.5	0.0	8.9	59.6	38.8	27.0	65.5	141.8	762.1
31	1,994	117.3	108.7	68.2	62.0	6.7	4.2	0.0	4.4	17.2	52.2	35.6	114.5	591.0
32	1,995	153.0	70.6	88.7	17.9	0.3	0.0	0.6	4.5	14.4	26.5	47.0	57.2	480.7
33	1,996	43.0	59.3	152.8	37.4	0.0	0.0	5.7	28.4	7.6	3.4	33.8	109.2	480.6
34	1,997	58.4	14.2	52.5	54.2	51.7	0.1	5.3	26.5	19.1	14.3	67.5	132.8	496.4
35	1,998	111.8	91.8	72.6	11.4	0.0	29.1	0.0	0.3	2.9	30.2	45.4	64.1	459.6
36	1,999	96.9	159.7	82.4	75.0	2.8	1.0	2.0	0.7	41.5	40.5	6.1	91.0	599.6
37	2,000	205.4	154.8	119.0	36.0	21.4	13.4	0.0	11.0	7.1	54.9	3.6	49.2	675.8
38	2,001	180.2	136.2	136.8	85.4	13.5	1.5	15.7	34.6	6.7	65.3	68.3	50.2	794.4
39	2,002	89.8	144.8	118.1	76.3	1.5	11.0	55.0	9.6	20.1	33.0	49.6	109.5	718.3
40	2,003	105.6	128.1	102.6	47.4	159.0	3.6	3.4	19.3	14.5	29.3	31.3	113.6	757.7
41	2,004	141.5	70.3	88.2	25.0	13.1	8.3	43.3	42.8	16.4	27.0	34.6	98.7	609.2
42	2,005	63.3	124.0	79.2	28.0	0.0	0.0	1.2	46.2	15.6	16.8	32.8	61.5	468.6
43	2,006	153.0	70.1	86.0	33.2	0.0	5.8	0.0	16.5	6.5	64.7	82.1	124.1	642.0
44	2,007	21.3	35.5	86.1	82.3	0.3	11.8	1.0	17.7	24.0	14.7	49.2	52.5	396.4
45	2,008	42.3	15.5	57.2	11.6	1.3	2.1	0.5	0.2	23.7	23.8	31.9	93.7	303.9
46	2,009	82.6	78.6	75.6	87.0	0.4	8.8	0.8	17.4	25.3	5.2	61.1	118.6	561.3
47	2,010	230.3	107.2	32.5	42.9	4.0	3.4	2.0	9.4	0.0	51.9	12.2	145.1	640.8
48	2,011	211.6	160.1	88.7	76.3	23.7	11.3	3.5	2.5	13.1	52.4	46.2	82.7	772.1
49	2,012	72.9	149.7	109.5	51.0	125.2	3.6	0.0	0.6	14.3	41.7	49.0	161.5	779.1
50	2,013	220.2	82.9	63.6	38.7	1.1	64.7	0.0	2.6	20.0	42.1	72.1	122.3	730.2
51	2,014	274.3	148.2	24.6	16.8	0.4	8.0	0.0	0.0	7.0	0.7	39.0	176.5	695.3
52	2,015	161.7	110.2	40.4	19.8	2.8	16.0	0.0	2.8	4.7	42.9	57.6	49.8	508.7
53	2,016	197.2	130.5	36.5	6.4	114.3	0.0	20.8	66.1	29.0	41.6	71.2	121.7	835.1
54	2,017	135.2	97.5	85.1	4.8	0.0	24.1	0.0	0.1	21.7	11.7	44.5	44.8	469.5
55	2,018	238.4	119.7	20.2	7.5	65.4	27.7	124.3	50.9	32.9	21.8	38.7	77.9	825.4
N° Datos		55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Media		126.5	97.2	87.6	49.9	20.1	8.1	15.1	21.0	16.4	30.2	44.1	89.0	605.1
Desv. Estandar		67.62	47.94	45.81	38.41	32.63	11.45	33.07	36.16	11.85	18.22	22.60	38.28	167.20
Coef. Variacion		53.47	49.33	52.32	76.96	162.57	141.33	218.90	172.44	72.43	60.42	51.19	43.01	27.63
Prec. Max.		274.3	194.4	226.3	170.6	159.0	64.7	197.1	227.0	49.4	65.3	97.9	180.2	274.3
Prec. Mn.		20.2	9.0	17.5	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6	0.0
FUENTE : SENAMHI														
FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00														

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 36: Histograma de Precipitación Estación – Paucartambo Completada



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 94: Análisis de Estadístico de Saltos – Paucartambo Corregido

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS

Estacion : PAUCARTAMBO			Codigo: 156317						Cuenca: MAPACHO				
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1974	132.00	50.825	53.324	0.050	0.050	46.870	6.081	2.71	1.97	2.02	1.36	Si	Si
1975-2983	108	34.358	37.484										

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS CORREGIDOS

Estacion : PAUCARTAMBO			Codigo: 156317						Cuenca: MAPACHO				
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1974	132.00	50.825	53.324	0.050	0.050	53.400	6.929	0.03	1.97	1.01	1.36	No	No
1975-2983	108	50.644	53.494										

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

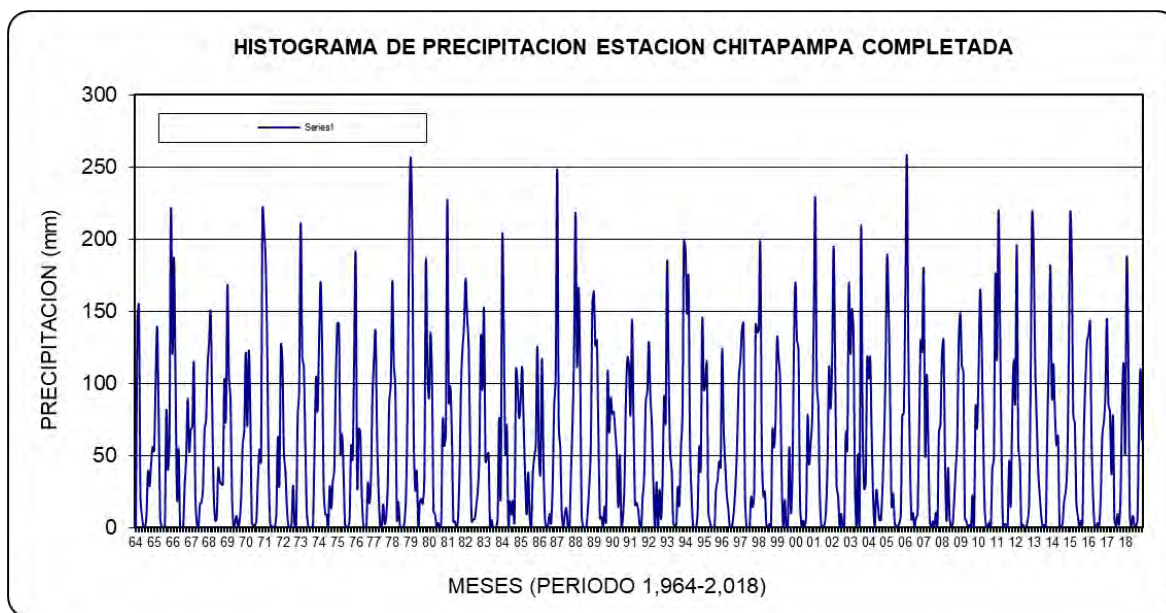


Tabla 95: Registro de Precipitación Media Mensual Corregida – Chitapampa

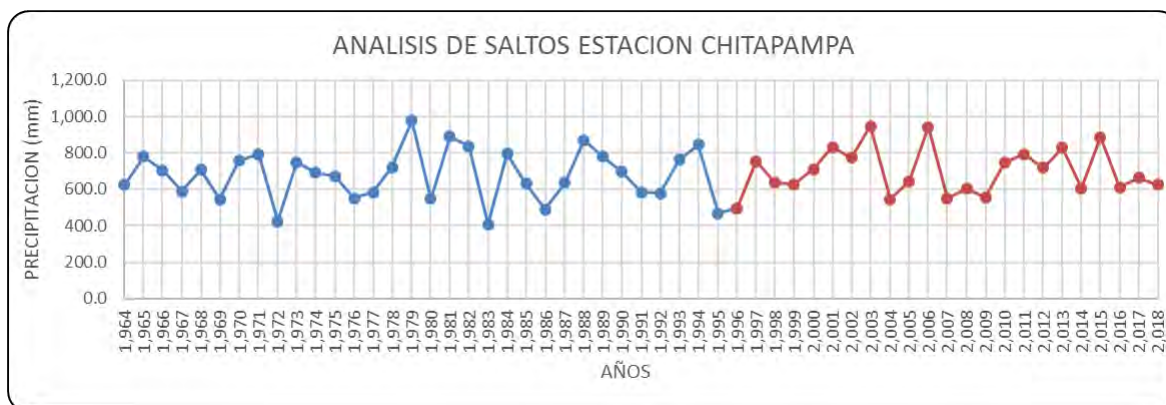
REGISTRO DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL COMPLETADA														
(mm)														
Estacion : CHITAPAMPA														
Latitud : 13° 32' S														
Departamento : Cusco														
Tipo : LU-6307														
Longitud : 71° 55' W														
Provincia : Cusco														
Altitud : 3,298 msnm														
Distrito : San Sebastian														
N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	123.0	142.5	154.0	21.0	8.0	0.0	0.0	8.9	39.0	28.5	43.8	55.9	624.6
2	1,965	53.0	102.0	139.0	76.5	6.5	0.0	0.0	0.0	81.0	39.9	58.4	221.0	777.3
3	1,966	120.5	187.0	102.0	18.9	54.7	0.0	0.0	0.0	29.5	48.6	89.3	52.6	703.1
4	1,967	68.2	69.2	114.1	21.3	2.5	0.0	16.2	17.3	27.7	66.9	75.5	111.4	590.3
5	1,968	129.4	148.8	83.3	24.6	4.5	6.6	40.4	32.1	29.9	29.6	102.4	74.4	706.0
6	1,969	167.9	104.5	88.8	22.0	0.0	3.4	7.8	0.0	4.9	21.5	58.5	66.6	545.9
7	1,970	121.1	70.3	122.7	78.2	3.4	1.2	1.2	4.7	34.0	54.0	45.4	220.7	756.9
8	1,971	206.2	185.6	130.0	40.8	2.4	0.9	0.0	0.0	9.0	62.6	29.4	126.0	792.9
9	1,972	114.7	52.0	39.0	12.9	0.0	0.0	2.1	29.0	2.2	0.0	76.6	96.0	424.5
10	1,973	211.3	117.9	111.9	59.1	10.7	0.0	0.0	0.0	1.5	52.1	104.1	80.6	749.2
11	1,974	126.9	170.2	127.6	30.1	9.3	8.8	0.0	28.6	13.1	31.6	40.6	103.2	689.9
12	1,975	141.7	141.4	51.4	64.7	40.4	2.1	0.0	0.1	6.1	56.8	47.3	119.6	671.6
13	1,976	189.3	30.4	68.2	66.3	23.9	2.0	0.0	0.0	30.8	16.6	32.8	90.6	550.9
14	1,977	117.2	134.8	64.1	25.2	0.3	0.0	15.9	2.3	7.9	29.6	87.5	99.9	584.7
15	1,978	170.9	113.7	95.1	5.6	17.5	1.0	0.0	0.0	3.5	24.5	88.8	199.8	720.4
16	1,979	256.6	208.8	63.3	25.6	39.0	0.0	18.0	19.7	16.5	33.9	185.0	110.0	976.4
17	1,980	89.7	135.1	102.0	11.0	9.0	0.0	3.0	0.0	3.0	74.2	56.4	65.0	548.4
18	1,981	227.2	86.8	97.9	62.8	4.0	4.0	0.0	5.3	36.6	98.0	124.4	140.3	887.3
19	1,982	172.5	145.5	125.3	58.1	4.0	5.6	6.0	15.3	25.9	50.3	133.0	95.4	836.9
20	1,983	151.7	45.5	49.5	51.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	6.0	76.0	22.0	407.2
21	1,984	200.1	138.7	52.1	70.3	1.0	18.0	9.0	18.5	4.0	109.4	99.3	76.0	796.4
22	1,985	87.5	111.3	71.5	36.0	9.0	38.0	7.3	0.0	36.0	49.0	58.5	125.5	629.6
23	1,986	51.0	37.0	117.0	45.0	5.0	0.0	2.0	9.3	3.0	29.9	84.5	106.5	490.2
24	1,987	248.1	72.4	55.0	8.3	0.5	9.0	13.0	0.0	0.0	37.0	72.3	120.0	635.6
25	1,988	218.4	112.0	166.1	110.0	9.0	0.0	0.0	0.0	12.0	30.2	57.5	154.0	869.2
26	1,989	163.7	126.0	129.8	63.8	6.0	7.2	0.0	14.5	4.0	107.4	65.9	89.7	778.0
27	1,990	78.8	80.2	66.0	50.6	14.0	50.1	0.0	6.8	29.7	89.9	118.0	113.0	697.1
28	1,991	77.9	144.1	76.0	15.5	17.0	12.1	2.0	0.0	21.5	36.5	87.7	94.3	584.6
29	1,992	128.8	91.7	70.7	28.5	0.0	31.5	0.0	26.2	5.5	32.0	90.8	73.0	578.7
30	1,993	185.0	105.5	51.3	40.0	3.2	1.0	2.0	28.0	15.3	55.3	77.8	198.3	762.7
31	1,994	193.1	148.1	172.9	56.6	21.8	0.0	0.0	0.0	11.7	56.1	40.0	144.5	844.8
32	1,995	95.5	99.6	113.6	10.7	4.0	0.0	0.0	0.0	25.7	32.4	45.7	41.7	469.0
33	1,996	123.6	68.0	44.8	23.5	13.0	0.0	0.0	4.3	15.8	34.5	63.5	104.1	495.1
34	1,997	116.5	137.9	141.8	23.0	0.0	0.0	0.0	21.1	14.0	23.5	140.5	135.1	753.4
35	1,998	137.3	196.6	53.0	21.5	25.0	2.0	0.0	2.5	0.5	67.6	55.4	73.4	634.8
36	1,999	130.9	117.0	102.6	36.4	0.0	19.0	0.0	0.0	55.5	10.0	33.5	122.5	627.4
37	2,000	170.0	129.5	123.8	19.2	0.2	4.7	0.7	7.2	77.4	44.0	58.5	75.9	711.1
38	2,001	142.8	228.7	100.8	84.4	22.1	0.0	0.4	1.6	11.6	44.1	111.2	82.3	829.9
39	2,002	113.4	194.9	116.3	29.1	21.7	0.4	9.4	0.1	0.6	66.1	53.7	168.3	773.9
40	2,003	120.3	151.6	137.0	30.4	0.9	50.7	0.6	208.7	73.6	26.6	29.7	117.3	947.4
41	2,004	103.5	117.2	62.0	17.9	0.3	25.6	16.4	5.0	5.2	25.5	60.0	105.3	543.9
42	2,005	187.8	154.3	90.0	14.8	23.3	3.5	0.3	0.9	2.9	9.0	77.6	79.4	643.7
43	2,006	160.2	258.0	125.7	50.4	5.6	10.1	0.1	6.7	8.9	63.0	129.6	122.0	940.2
44	2,007	178.6	50.3	106.1	58.1	4.2	0.0	4.2	0.6	10.0	0.0	66.3	71.0	549.3
45	2,008	119.1	129.3	49.4	4.4	41.2	6.8	0.0	2.2	18.8	41.0	60.7	129.6	602.6
46	2,009	148.6	111.8	108.0	6.5	4.2	0.0	1.6	0.0	22.4	1.2	83.3	68.6	556.1
47	2,010	106.7	164.5	126.9	63.7	12.9	0.0	0.4	3.5	0.8	41.3	49.0	175.4	745.1
48	2,011	116.3	219.6	146.1	51.5	0.6	1.9	2.2	0.4	46.2	14.6	75.9	116.1	791.4
49	2,012	87.5	195.4	57.3	45.7	0.5	1.9	0.0	0.0	4.3	14.4	95.5	216.6	718.9
50	2,013	195.6	116.2	75.4	40.5	22.4	7.9	0.0	1.7	0.8	69.3	117.7	181.4	828.7
51	2,014	90.7	113.2	79.6	56.5	63.2	0.0	0.4	3.0	18.6	24.3	41.7	113.6	604.8
52	2,015	217.5	187.3	77.4	72.3	17.9	7.5	0.7	4.6	1.7	68.5	102.3	129.2	886.8
53	2,016	133.7	142.4	57.9	21.4	0.0	0.2	3.2	1.5	22.3	64.5	72.9	91.5	611.5
54	2,017	144.7	84.8	80.8	36.8	77.4	5.2	0.5	9.3	2.1	22.3	85.1	113.1	661.9
55	2,018	52.1	186.2	122.6	8.3	0.1	7.9	1.4	1.2	5.3	69.3	109.8	60.7	624.8
N° Datos		55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Media		141.5	129.3	95.6	38.7	12.5	6.6	3.4	10.0	18.0	42.5	76.8	111.6	686.6
Desv. Estandar		49.73	50.42	34.24	23.82	16.75	11.68	7.00	28.75	19.55	25.82	31.74	45.14	133.98
Coef. Variacion		35.14	38.98	35.83	61.57	134.02	177.05	204.52	286.05	108.65	60.82	41.30	40.44	19.51
Prec. Max.		256.6	258.0	172.9	110.0	77.4	50.7	40.4	208.7	81.0	109.4	185.0	221.0	258.0
Prec. Min.		51.0	30.4	39.0	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.4	22.0	0.0
FUENTE : SENAMHI														
FECHA Y HORA 8/27/2020 22:00														

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 37: Histograma de Precipitación Estación – Chitapampa Completada



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 96: Análisis de Estadístico de Saltos – Chitapampa Corregido

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SALTOS

Estacion : CHITAPAMPA			Codigo:				156307		Cuenca: VILCANOTA				
Periodos	N	Media	Desv. Est.	T-student	F-fisher	Sp	Sd	Prueba Estadística 95%				Cambios	
								Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est.
1964-1996	396.00	55.999	56.959	0.050	0.050	58.398	4.640	0.66	1.96	1.13	1.21	No	No
1997-2018	264	59.043	60.494										

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis estadístico de homogeneidad de series hidrometeorológicas.

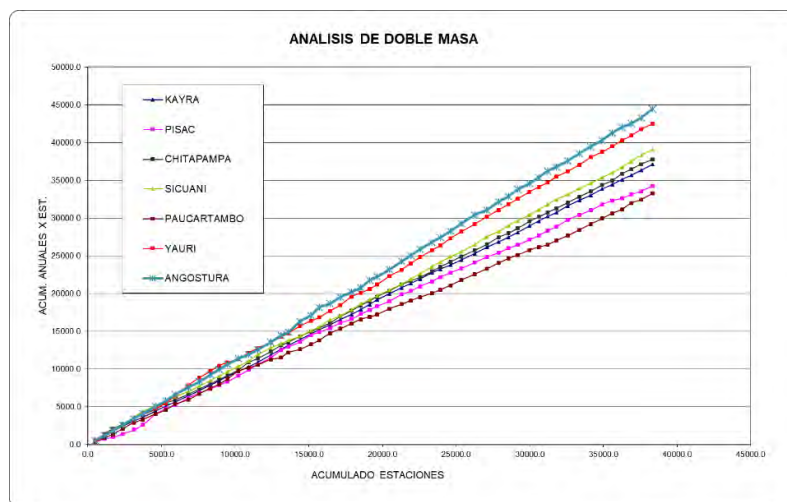


Tabla 97: Análisis de Doble Masa

ANALISIS DE DOBLE MASA																
Años	KAYRA		PISAC		SICUANI		YAURI		ANGOSTURA		PAUCARTAMBO		CHITAMPAMPA		PROMEDIO	
	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.	Precp.	Prec. Acum.
1964	468.9	468.9	390.0	390.0	589.0	589.0	608.0	608.0	588.7	588.7	345.5	345.5	624.6	624.6	516.4	516.4
1965	693.3	1162.2	381.2	771.2	671.1	1260.1	614.0	1222.0	622.4	1211.1	551.7	897.2	777.3	1401.9	615.9	1132.2
1966	597.4	1759.6	219.8	991.0	752.0	2012.1	715.4	1937.4	622.1	1833.2	464.2	1361.4	703.1	2105.0	582.0	1714.2
1967	655.7	2415.3	438.8	1429.8	694.9	2707.0	661.2	2598.6	770.5	2603.7	733.2	2094.6	590.3	2695.3	649.2	2363.5
1968	668.2	3083.5	539.3	1969.1	959.2	3666.2	783.4	3382.0	844.2	3447.9	788.2	2882.8	706.0	3401.3	755.5	3119.0
1969	524.6	3608.1	664.2	2633.3	736.1	4402.3	752.8	4134.8	670.2	4118.1	428.6	3311.4	545.9	3947.2	617.5	3736.5
1970	806.0	4414.1	1414.3	4047.6	809.7	5212.0	628.5	4763.2	932.9	5051.0	739.1	4050.5	756.9	4704.1	869.6	4606.1
1971	659.1	5073.2	719.2	4766.8	565.9	5777.9	757.9	5521.1	750.5	5801.5	510.7	4561.1	792.9	5497.0	679.5	5285.5
1972	553.5	5626.7	468.6	5235.4	573.8	6351.7	884.2	6405.3	820.0	6621.5	776.9	5338.0	424.5	5921.5	643.1	5928.6
1973	816.8	6443.5	968.1	6203.5	721.0	7072.7	1450.0	7855.3	970.1	7591.6	597.6	5935.6	749.2	6670.7	896.1	6824.7
1974	681.7	7125.2	639.2	6842.7	697.3	7770.0	999.3	8854.6	731.3	8322.9	773.2	6708.8	689.9	7360.6	744.6	7569.3
1975	721.6	7846.8	526.5	7369.2	737.7	8507.7	832.5	9687.1	914.2	9237.1	764.3	7473.1	671.6	8032.2	738.3	8307.6
1976	560.3	8407.1	511.1	7880.3	563.8	9071.5	775.5	10462.6	717.3	9954.4	490.5	7963.6	550.9	8583.1	595.6	8903.3
1977	613.1	9020.2	484.8	8365.1	596.4	9667.9	408.4	10871.0	678.4	10632.8	720.3	8683.9	584.7	9167.8	583.7	9487.0
1978	664.1	9684.3	748.9	9114.0	713.3	10381.2	479.8	11350.8	749.7	11382.5	1020.9	9704.8	720.4	9888.2	728.2	10215.1
1979	600.8	10285.1	795.5	9909.5	683.3	11064.5	793.1	12143.9	549.3	11931.8	460.7	10165.5	976.4	10864.6	694.1	10909.3
1980	619.6	10904.7	734.8	10644.3	877.1	11941.5	635.0	12778.9	667.9	12599.7	382.2	10557.8	548.4	11413.0	639.3	11548.6
1981	922.9	11827.6	866.9	11511.3	864.0	12805.6	785.3	13664.2	933.7	13533.4	697.1	11254.9	887.3	12300.3	851.0	12399.6
1982	786.8	12614.4	999.2	12510.5	566.7	13372.2	680.6	14244.8	917.5	14450.9	269.2	11524.1	836.9	13137.2	722.4	13122.0
1983	483.7	13098.1	429.9	12940.3	413.4	13785.7	498.2	14743.0	437.3	14888.2	654.3	12178.4	407.2	13544.4	474.9	13596.9
1984	800.5	13898.6	676.7	13617.0	578.3	14364.0	952.9	15695.9	1411.0	16299.2	434.8	12613.2	796.4	14340.8	807.2	14404.1
1985	728.3	14626.9	910.5	14527.5	736.3	15100.3	688.5	16384.5	807.2	17106.4	647.3	13260.6	629.6	14970.4	735.4	15139.5
1986	569.1	15196.0	363.3	14890.8	487.8	15588.1	461.9	16846.4	1054.0	18160.4	548.4	13809.0	490.2	15460.6	568.4	15707.3
1987	630.6	15826.6	563.3	15454.1	926.5	16514.6	844.6	17691.0	499.9	18660.3	901.9	14710.9	635.6	16096.2	714.6	16422.0
1988	725.5	16552.1	660.0	16114.1	547.0	17061.6	773.2	18464.2	835.2	19495.5	624.4	15335.3	869.2	16965.4	719.2	17141.2
1989	686.3	17238.4	526.1	16640.2	854.6	17916.2	1150.1	19614.3	731.5	20227.0	704.7	16040.0	778.0	17743.4	775.9	17917.1
1990	641.1	17879.5	639.5	17279.6	733.4	18649.6	465.4	20079.6	555.8	20782.8	559.4	16599.4	697.1	18440.5	613.1	18530.2
1991	682.4	18561.9	562.8	17842.4	520.6	19170.2	541.0	20620.6	976.3	21759.1	313.6	16913.0	584.6	19025.1	597.3	19127.5
1992	609.3	19171.2	499.3	18341.7	549.1	19719.2	588.0	21208.6	472.6	22231.7	312.7	17225.7	578.7	19603.8	515.7	19643.1
1993	799.9	19971.1	667.2	19008.8	779.9	20499.1	1080.1	22288.7	947.5	23179.2	762.1	17987.8	762.7	20366.5	828.5	20471.6
1994	798.4	20769.5	874.2	19883.0	763.1	21262.2	893.9	23182.6	1056.6	24235.8	591.0	18578.8	844.8	21211.3	831.7	21303.3
1995	560.0	21329.5	445.7	20328.7	677.3	21939.5	834.0	24016.6	795.0	25030.8	480.7	19059.5	469.0	21680.3	608.8	21912.1
1996	610.2	21939.7	647.8	20976.5	715.8	22655.3	792.2	24808.8	826.6	25857.4	480.6	19540.1	495.1	22175.4	652.6	22564.8
1997	805.3	22745.0	648.5	21625.0	905.7	23561.0	936.0	25744.8	944.7	26802.1	496.4	20036.5	753.4	22928.8	784.3	23349.0
1998	493.9	23238.9	564.2	22189.2	612.4	24173.4	621.3	26366.1	608.0	27410.1	459.6	20496.1	634.8	23563.6	570.6	23919.6
1999	543.1	23782.0	592.9	22782.1	703.1	24876.5	961.2	27327.3	863.8	28273.9	599.6	21095.7	627.4	24191.0	698.7	24618.4
2000	652.0	24434.0	555.3	23337.5	660.0	25536.5	860.0	28187.3	968.3	29242.2	675.8	21771.5	711.1	24902.1	726.1	25344.5
2001	864.1	25298.1	794.2	24131.7	948.4	26484.9	1022.5	29209.8	1156.1	30398.3	794.4	22565.9	829.9	25732.1	915.7	26260.1
2002	822.1	26120.2	724.5	24856.2	1037.8	27522.7	983.2	30193.0	690.1	31088.4	718.3	23284.2	773.9	26505.9	821.4	27081.5
2003	713.7	26833.9	559.3	25415.5	705.7	28228.4	891.8	31084.8	1057.2	32145.6	757.7	24041.9	947.4	27453.3	804.7	27886.2
2004	632.0	27465.9	601.8	26017.3	784.3	29012.7	758.7	31843.5	729.8	32875.4	609.2	24651.1	543.9	27997.2	665.7	28551.9
2005	638.9	28104.8	439.0	26456.3	641.8	29654.5	729.3	32572.8	902.9	33778.2	468.6	25119.7	643.7	28640.9	637.7	29189.6
2006	856.3	28961.1	691.4	27147.7	765.1	30419.6	917.2	33490.0	806.6	34584.9	642.0	25761.7	940.2	29581.1	802.7	29992.3
2007	644.5	29605.6	533.5	27681.2	663.1	31082.7	651.8	34141.8	783.5	35368.4	396.4	26158.1	549.3	30130.4	603.2	30595.4
2008	592.4	30198.0	643.8	28325.0	716.5	31799.2	561.5	34703.3	821.5	36189.9	303.9	26461.9	602.6	30732.9	606.0	31201.5
2009	525.5	30723.5	525.7	28850.7	659.1	32458.3	772.5	35475.8	579.2	36769.2	561.3	27023.2	556.1	31289.0	597.1	31798.5
2010	881.1	31604.6	902.4	29753.1	668.4	33126.7	729.4	36205.2	791.9	37561.1	640.8	27664.0	745.1	32034.1	765.6	32564.1
2011	740.5	32345.1	673.0	30426.1	775.6	33902.3	865.2	37070.3	967.8	38528.9	772.1	28436.1	791.4	32825.5	797.9	33362.0
2012	689.4	33034.5	617.8	31043.9	735.6	34637.9	994.3	38604.6	943.7	39472.6	779.1	29215.2	718.9	33544.4	782.7	34144.7
2013	808.7	33843.2	745.0	31788.9	721.4	35359.3	702.6	38767.2	839.2	40311.8	730.2	29945.3	828.7	34373.1	768.0	34912.7
2014	588.1	34431.3	530.1	32319.0	650.6	36009.9	740.0	39507.2	950.1	41261.9	695.3	30640.7	604.8	34977.9	679.9	35592.6
2015	687.0	35118.3	311.0	32630.0	704.4	36714.3	798.3	40305.5	745.5	42007.3	508.7	31149.4	886.8	35864.7	663.1	36255.6
2016	548.1	35666.4	487.9	33117.9	785.0	37499.4	628.8	40934.3	505.2	42512.5	835.1	31984.4	611.5	36476.2	628.8	36884.5
2017	653.5	36319.9	448.6	33566.5	816.8	38316.2	828.6	41762.9	768.1	43280.6	469.5	32454.0	661.9	37138.0	663.9	37548.3
2018	788.4	37108.3	691.2	34257.7	734.0	39050.2	756.0	42518.9	1160.5	44441.2	825.4	33279.3	624.8	37762.8	797.2	38345.5

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 38: Análisis de Doble Masa



Fuente: Elaboración propia



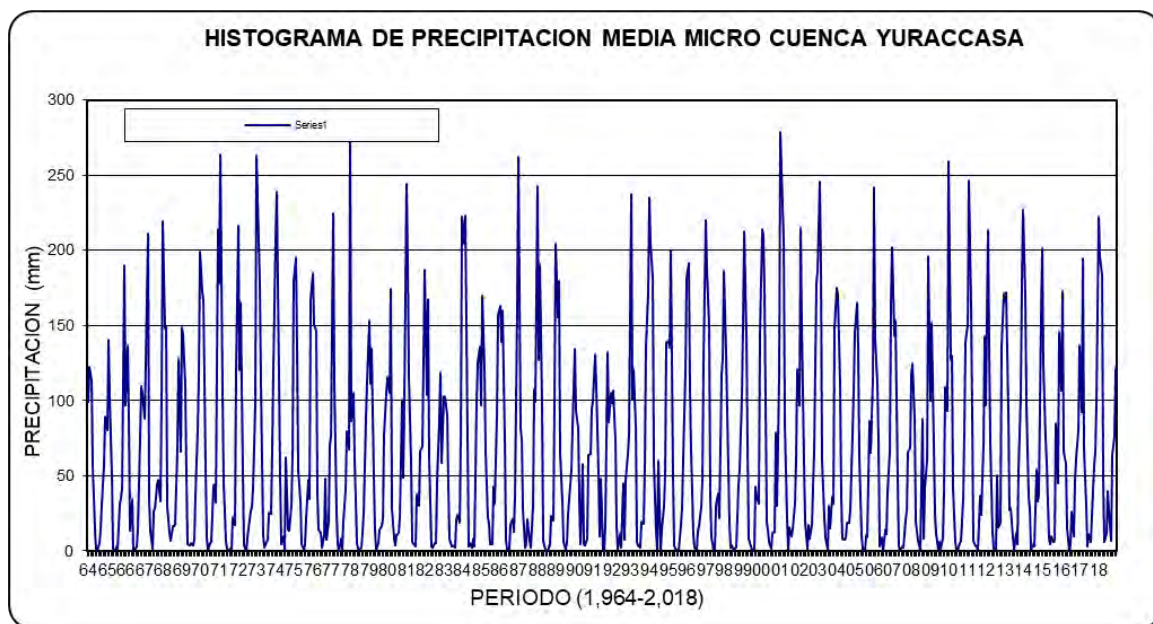
PRECIPITACIÓN REGIONALIZADA

Tabla 98: Precipitación Media de la Microcuenca Yuraccasa

PRECIPITACION MEDIA DE LA MICROCUENCA YURACCASA (mm)														
SECTOR : CHAUIBANDA														
CUENCA : APURIMAC		Latitud :	14°20'49.00"		S	Departamento :		CUSCO						
		Longitud :	71°33'22.20"		W	Provincia :		CANAS						
TIPO : ESTUDIO		Altitud :	4,174		msnm	Distrito :		QUEHUE						
N° REG.	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1,964	99.35	122.28	113.06	55.48	14.12	0.04	0.44	5.46	14.68	30.37	58.07	89.30	602.7
2	1,965	80.01	140.05	102.02	48.90	1.47	0.00	3.18	1.34	31.70	35.40	41.74	190.27	676.1
3	1,966	96.73	136.46	86.65	13.26	34.08	0.00	0.48	2.52	15.44	74.85	109.20	104.04	673.7
4	1,967	87.42	125.22	211.25	33.93	13.10	1.09	27.08	27.77	44.26	47.36	33.16	105.20	756.8
5	1,968	219.01	148.07	149.71	29.31	11.54	6.34	16.04	16.76	17.70	67.93	127.73	65.92	876.1
6	1,969	148.57	143.06	109.50	48.64	4.38	3.58	4.94	3.50	8.40	37.33	81.56	117.90	711.4
7	1,970	199.33	172.43	166.48	52.91	8.24	0.71	5.11	6.19	43.53	44.05	31.97	214.03	945.0
8	1,971	177.75	263.34	102.60	44.24	5.64	1.03	0.69	1.40	1.51	22.11	17.11	121.14	758.6
9	1,972	216.28	120.19	164.81	50.44	3.44	0.05	9.00	14.61	26.76	28.90	42.00	98.16	774.6
10	1,973	263.15	205.96	176.69	108.82	10.66	1.78	4.16	7.57	25.30	24.68	69.64	120.54	1,019.0
11	1,974	208.40	239.05	114.99	48.40	4.34	9.36	0.74	62.19	14.40	13.20	30.79	66.07	811.9
12	1,975	180.22	195.09	133.57	54.19	32.54	4.33	0.80	4.54	21.62	47.56	34.08	167.55	876.1
13	1,976	184.46	150.05	146.35	37.55	14.49	12.22	2.39	10.38	47.91	7.22	19.06	70.62	702.7
14	1,977	76.47	224.67	111.63	24.62	4.55	0.00	8.09	0.76	20.12	40.94	79.78	67.79	659.4
15	1,978	276.27	86.41	105.42	59.91	5.26	1.08	0.49	2.21	12.97	25.52	88.75	112.99	777.3
16	1,979	152.87	111.06	134.06	47.98	13.33	0.58	5.47	14.22	16.40	21.71	77.41	104.57	699.7
17	1,980	115.74	105.33	174.25	27.55	8.25	3.63	10.27	11.89	23.33	100.30	49.03	99.58	729.1
18	1,981	244.24	190.24	115.92	58.43	5.94	3.56	3.04	37.10	29.93	66.99	69.26	128.32	953.0
19	1,982	187.08	103.29	167.31	60.59	2.56	2.32	5.37	5.02	46.68	88.09	118.24	58.19	844.7
20	1,983	102.95	102.08	90.30	40.85	8.04	3.08	3.66	2.52	20.80	23.77	18.92	76.09	493.1
21	1,984	222.62	204.09	222.84	73.50	3.25	5.43	2.10	8.46	2.88	98.74	125.37	135.89	1,105.2
22	1,985	97.03	169.81	120.01	65.59	21.73	18.54	4.65	4.70	42.40	31.47	89.74	156.65	822.3
23	1,986	163.08	139.00	160.03	71.82	7.19	0.28	1.47	18.04	21.16	13.01	36.38	164.14	795.6
24	1,987	262.09	80.85	73.67	27.60	2.08	5.13	20.60	6.32	1.82	30.08	107.06	98.76	716.1
25	1,988	242.36	126.83	190.90	95.92	6.85	0.34	0.94	0.24	4.61	23.07	20.04	99.75	811.9
26	1,989	204.04	155.08	179.78	65.20	32.57	5.60	0.70	5.60	24.45	44.27	54.63	82.85	854.8
27	1,990	134.07	93.24	82.09	33.62	4.26	57.87	4.17	3.74	8.07	63.51	64.82	94.58	644.0
28	1,991	99.93	130.63	109.61	51.01	9.51	47.69	0.62	0.18	17.25	132.34	85.84	105.19	789.8
29	1,992	97.98	106.59	73.11	16.14	1.75	11.07	1.83	45.25	7.20	47.18	64.49	78.21	550.8
30	1,993	237.03	100.70	120.63	82.70	6.26	3.85	2.33	19.70	17.77	57.54	136.08	171.90	956.5
31	1,994	234.91	204.91	181.99	58.80	12.80	0.34	59.74	0.51	14.09	30.24	51.99	138.87	989.2
32	1,995	139.68	135.21	199.42	48.14	3.47	0.21	0.58	0.78	18.19	29.56	61.23	119.85	756.3
33	1,996	181.71	191.43	105.92	65.86	10.42	1.86	0.67	13.69	16.69	30.03	47.53	127.03	792.8
34	1,997	219.94	187.09	148.29	35.91	9.07	0.00	1.27	30.51	38.47	21.81	117.58	128.03	938.0
35	1,998	186.10	131.45	91.67	18.23	2.36	3.63	0.00	1.90	2.14	44.33	55.80	103.21	640.8
36	1,999	150.26	212.35	142.47	68.12	8.52	2.78	0.50	0.16	42.52	35.64	31.73	145.25	840.3
37	2,000	213.86	209.67	172.10	19.57	13.49	5.82	1.28	12.15	12.93	78.60	29.79	116.32	885.6
38	2,001	278.54	253.55	205.49	83.55	21.70	0.68	15.46	9.83	14.82	32.10	62.19	121.05	1,099.0
39	2,002	96.93	214.70	150.34	57.38	19.05	1.36	16.84	8.20	17.74	42.89	66.62	177.85	869.9
40	2,003	186.96	245.58	184.09	59.86	22.43	8.67	0.69	30.11	14.89	36.31	31.42	147.52	968.5
41	2,004	174.90	169.35	109.37	34.81	8.35	7.28	9.26	18.86	18.98	28.29	77.89	107.55	764.9
42	2,005	145.27	164.99	135.02	61.35	10.63	0.51	0.97	10.70	9.09	86.47	65.13	114.63	804.8
43	2,006	242.11	141.04	111.39	71.89	2.77	8.67	0.04	14.35	11.04	40.08	65.88	166.32	875.6
44	2,007	202.28	143.68	153.09	45.60	3.02	0.80	3.17	1.90	21.12	27.19	66.26	68.29	736.4
45	2,008	117.25	124.87	87.27	19.66	6.46	3.40	0.31	88.01	8.40	41.70	59.83	195.97	753.1
46	2,009	100.05	151.38	112.28	24.45	10.83	0.61	5.83	1.29	8.92	39.64	108.55	93.07	656.9
47	2,010	258.98	127.07	129.58	40.95	6.09	0.31	0.37	4.97	6.81	34.80	79.14	139.11	828.2
48	2,011	151.10	246.59	161.23	87.88	6.69	2.84	2.71	0.78	36.37	24.08	71.07	142.95	934.3
49	2,012	96.71	212.93	134.55	71.40	11.62	1.09	0.37	49.96	15.55	18.99	136.25	171.33	920.7
50	2,013	165.80	172.18	92.41	26.70	28.54	9.18	0.92	12.09	4.65	53.83	104.63	180.59	851.5
51	2,014	226.96	169.32	96.99	35.78	26.99	0.54	4.08	2.64	54.04	32.74	37.36	157.84	845.3
52	2,015	200.91	122.98	74.10	57.14	7.85	4.60	9.45	5.74	7.53	84.58	44.97	145.84	765.7
53	2,016	106.43	172.76	65.67	57.49	15.14	0.05	4.60	25.95	9.34	47.09	61.22	79.91	645.6
54	2,017	136.57	92.64	194.84	67.79	30.14	2.78	11.29	6.13	24.05	56.97	65.87	99.43	788.5
55	2,018	222.23	195.67	183.38	46.52	5.78	12.21	39.53	26.21	6.92	63.51	76.43	121.46	999.8
N° Datos		55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Media		173.0	159.7	135.1	50.8	11.0	5.3	6.2	13.2	19.4	44.6	66.5	121.4	806.2
Desv. Estandar		58.01	47.26	40.40	20.85	8.65	10.15	10.39	16.86	13.17	24.98	31.49	37.21	128.44
Prec. al 75%		133.8	127.8	107.9	36.7	5.2	0.0	0.0	1.9	10.5	27.7	45.3	96.3	593.1
P. Max.		278.5	263.3	222.8	108.8	34.1	57.9	59.7	88.0	54.0	132.3	136.2	214.0	278.5
P. Min.		76.5	80.9	65.7	13.3	1.5	0.0	0.0	0.2	1.5	7.2	17.1	58.2	0.0
FUENTE : ELABORACION PROPIAS												FECHA Y HORA :		
												17/01/2021 12:06		

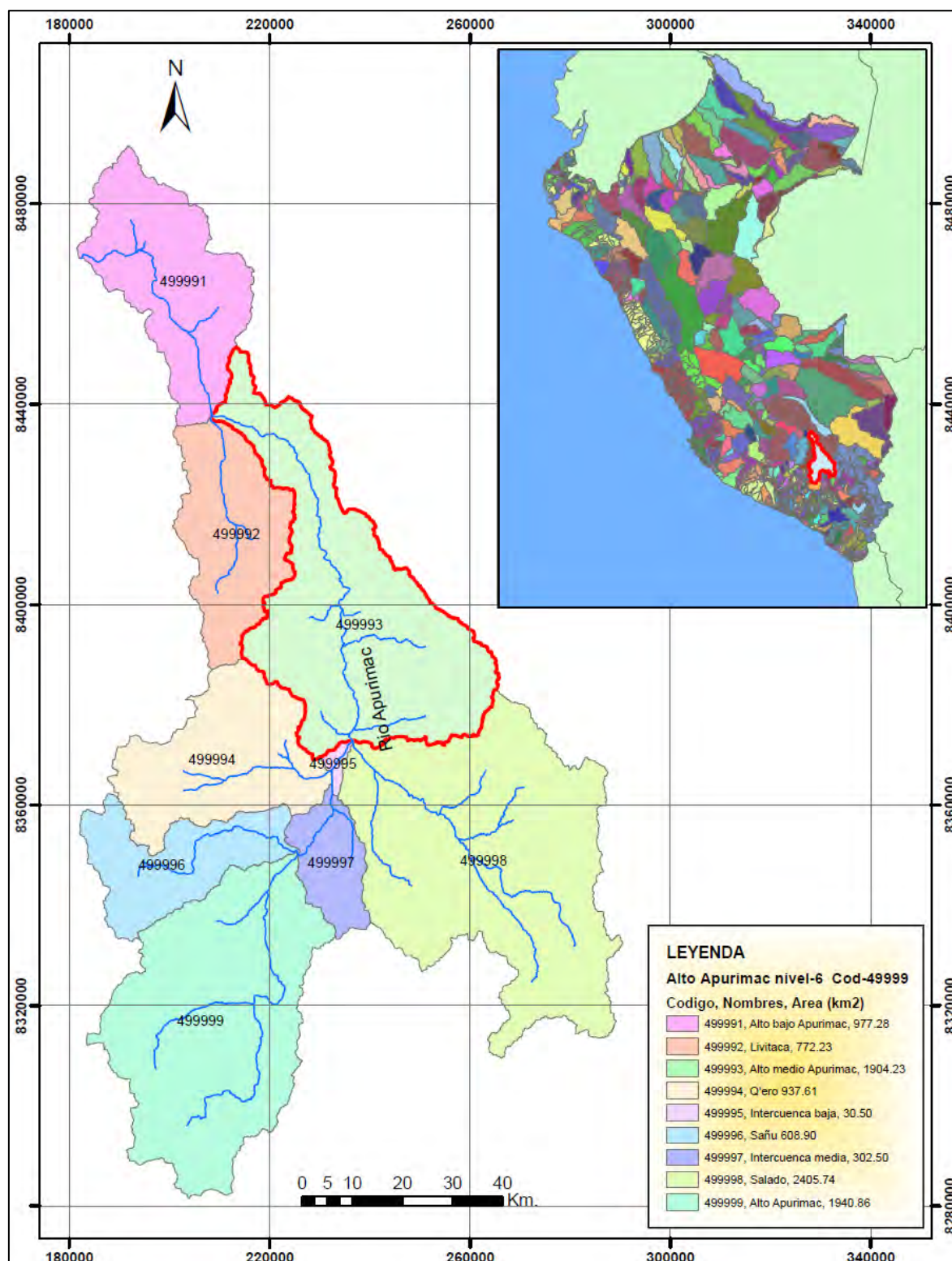
Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de precipitación del SENAMHI.

Gráfico 39: Histograma de Precipitación Media Microcuenca Yuraccasa



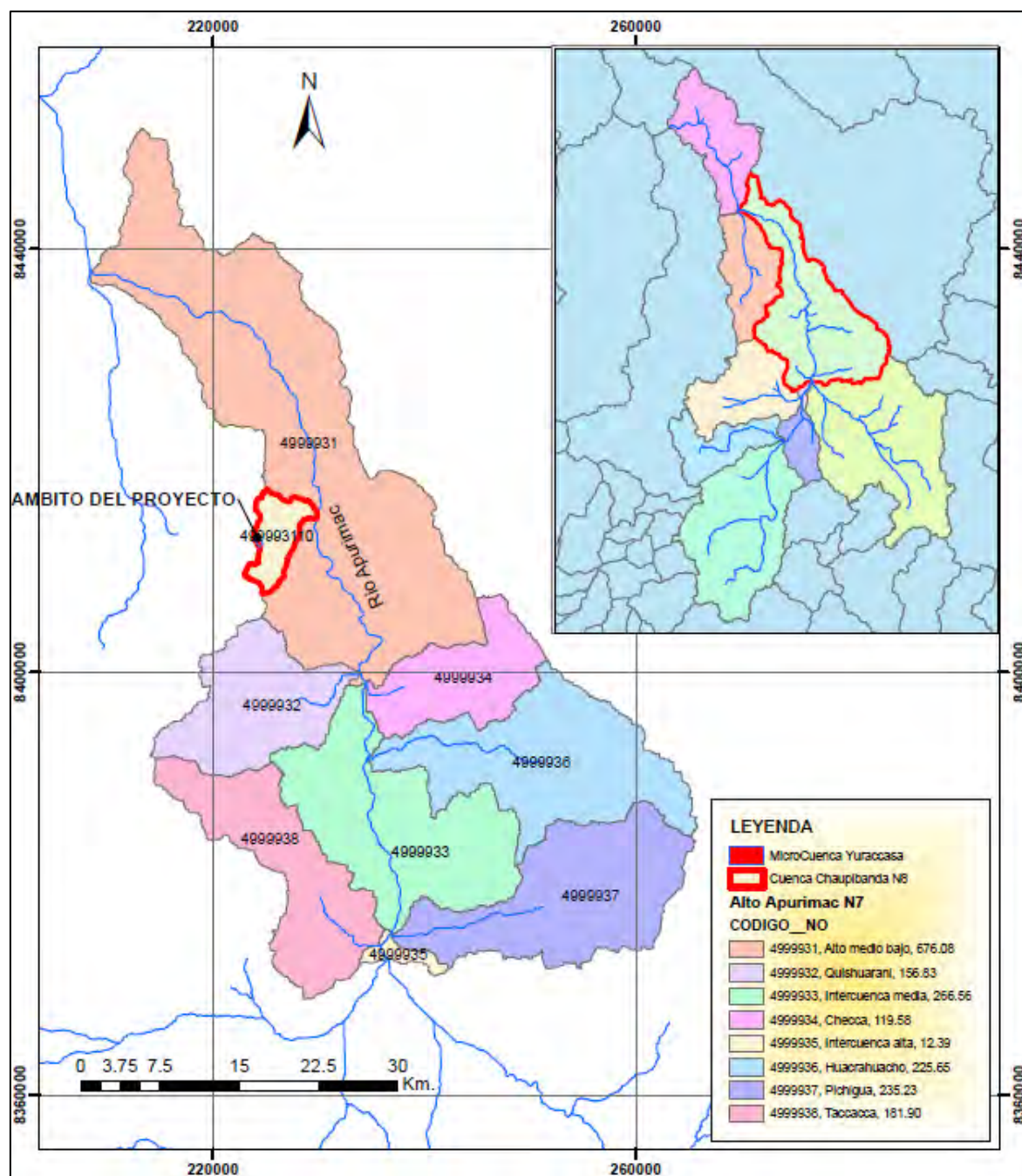
Fuente: Elaboración propia

Figura 30: Mapa de unidad Hidrográfica



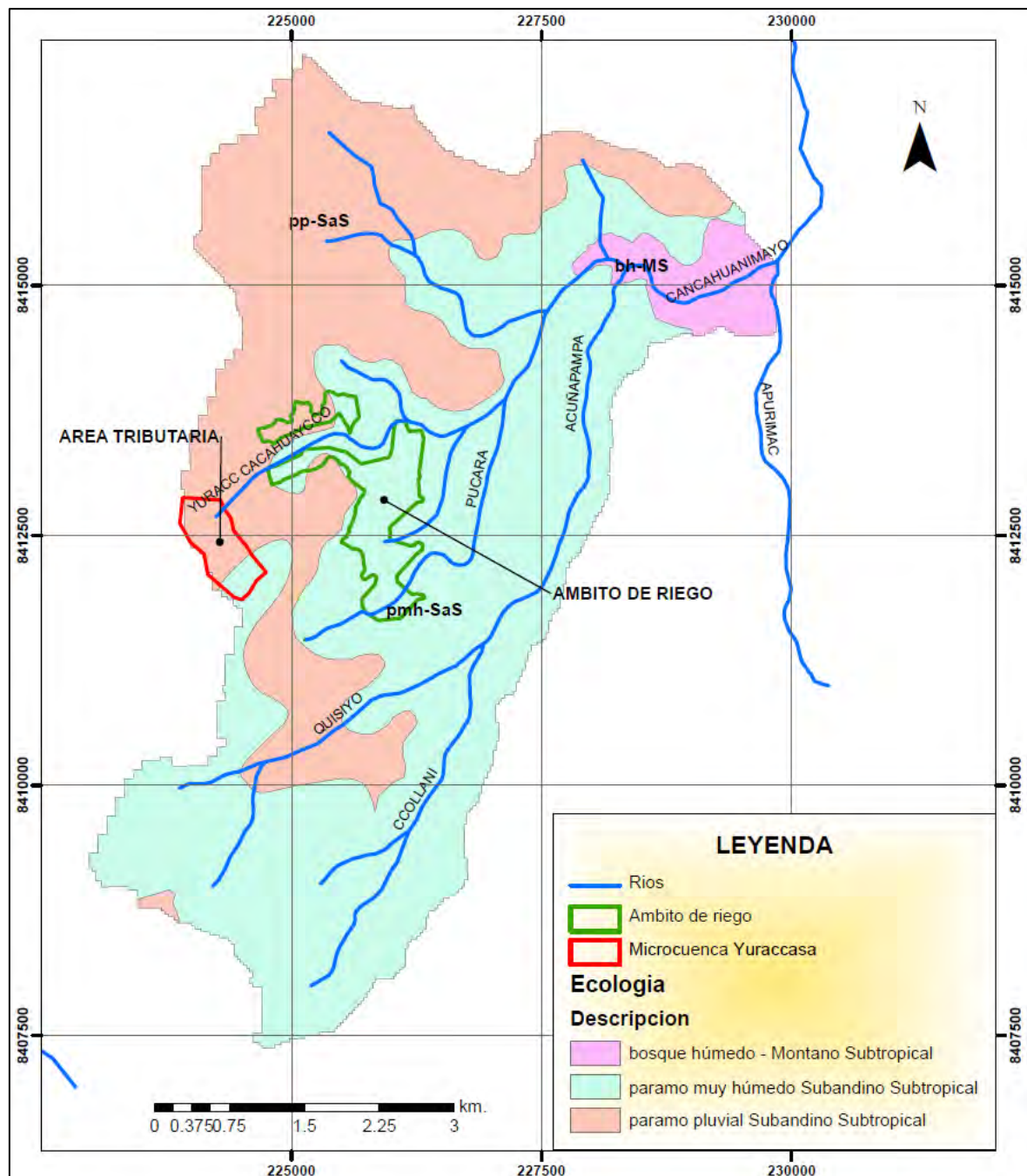
Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Mapa fundamental de la cuenca y unidad hidrográfica del proyecto



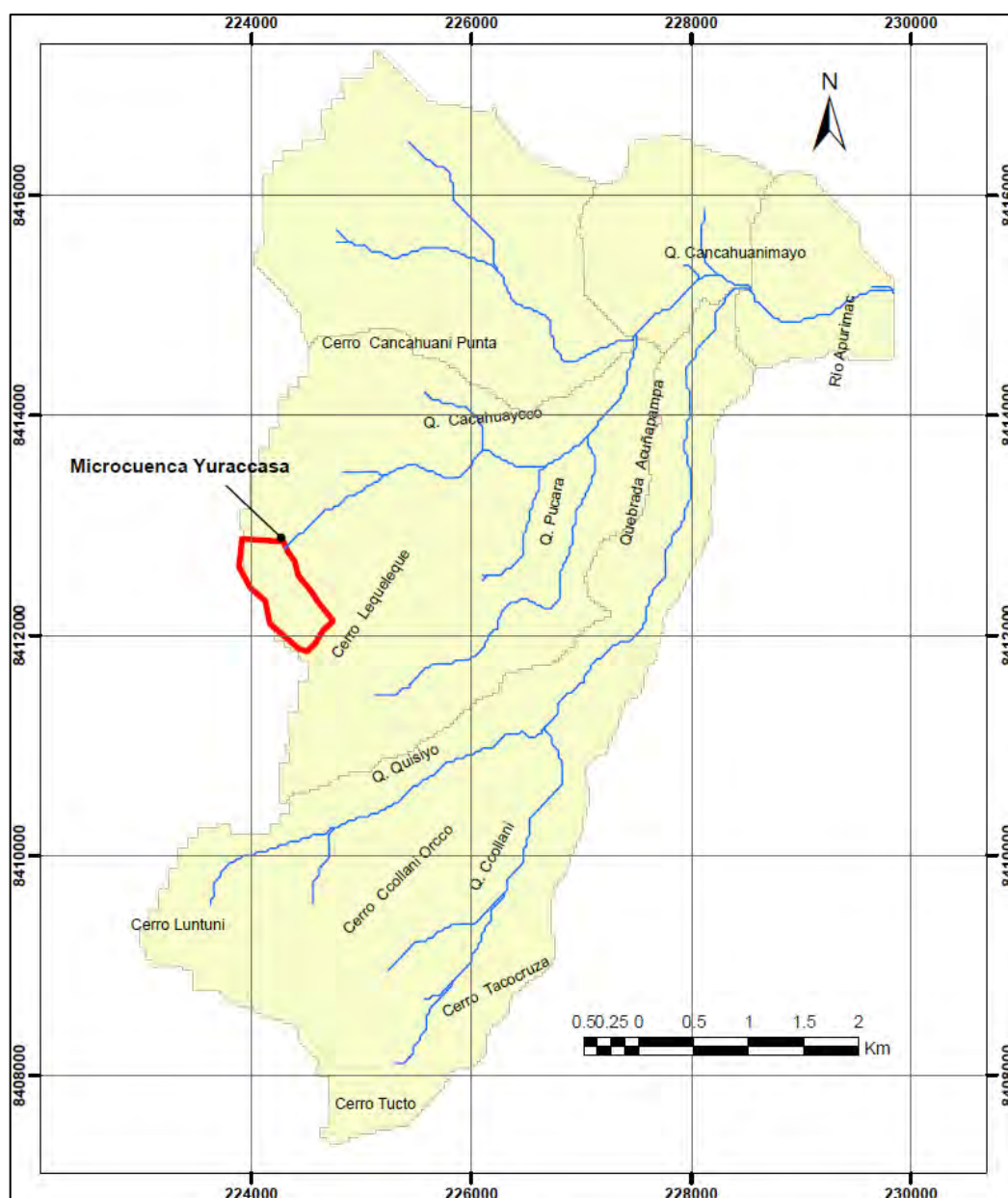
Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Clasificación ordinal de ríos, mapa ecológico e hidrográfico: Cuenca Chaupibanda



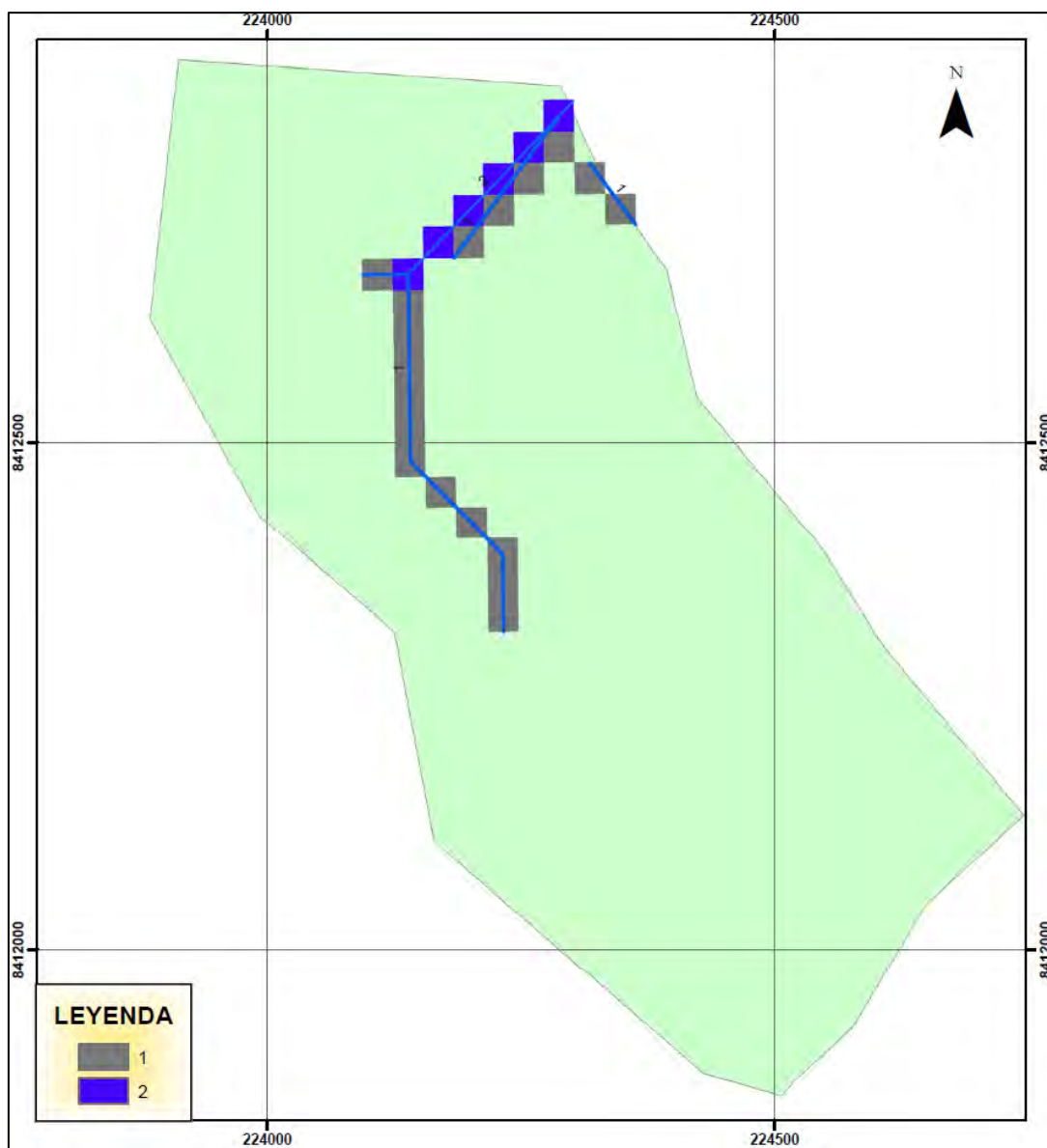
Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Hidrografía cuenca Chaupibanda



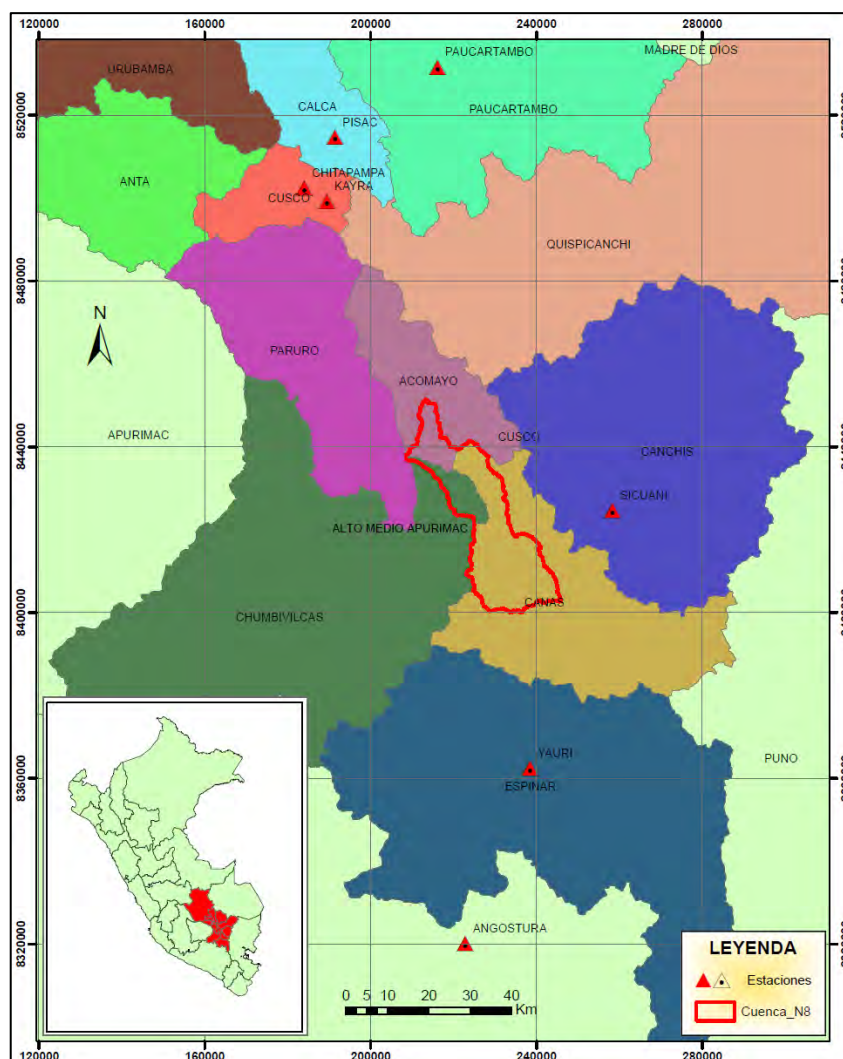
Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Orden de ríos microcuenca Yuraccasa



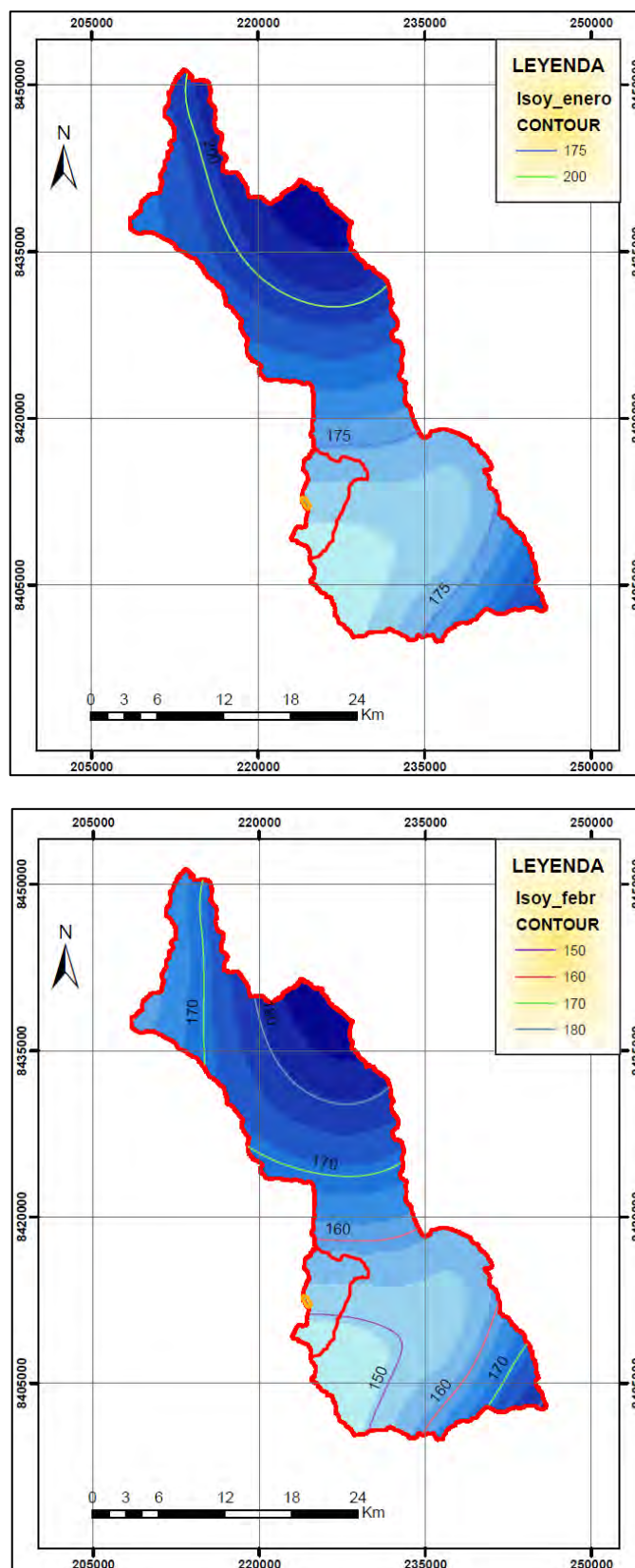
Fuente: Elaboración propia

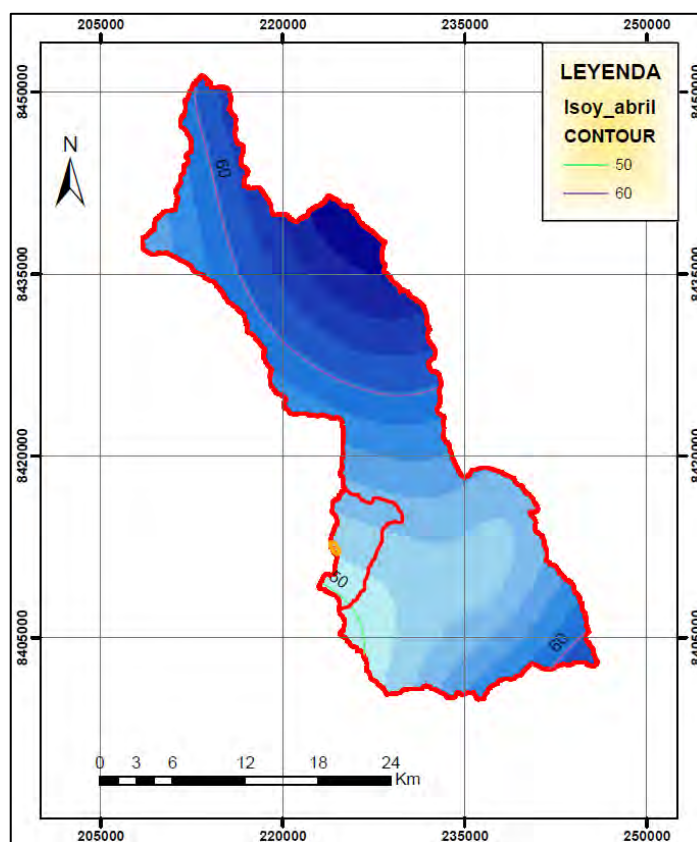
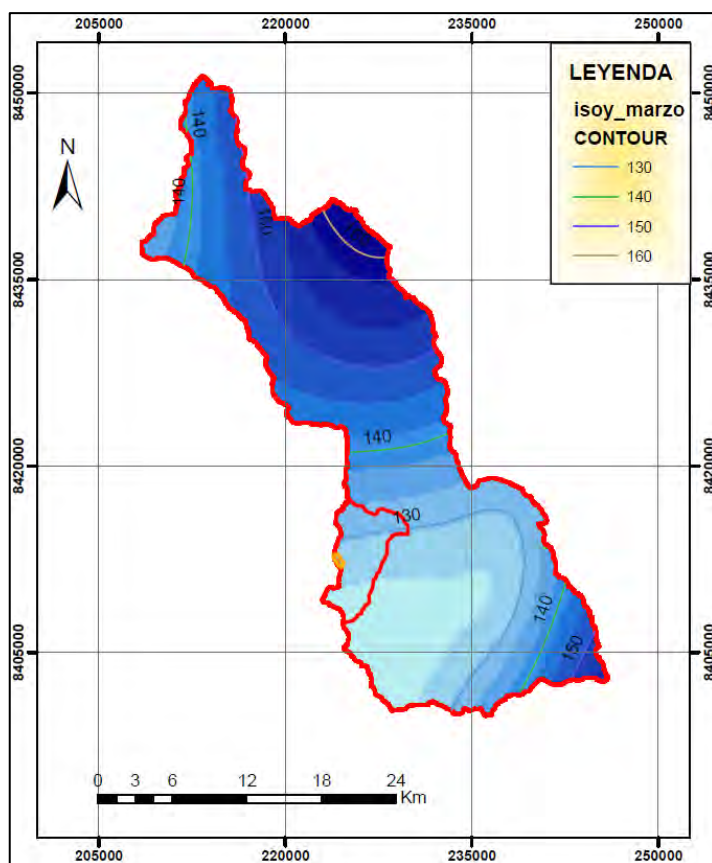
Figura 35: Mapa con información de las estaciones pluviométricas e hidrográficas

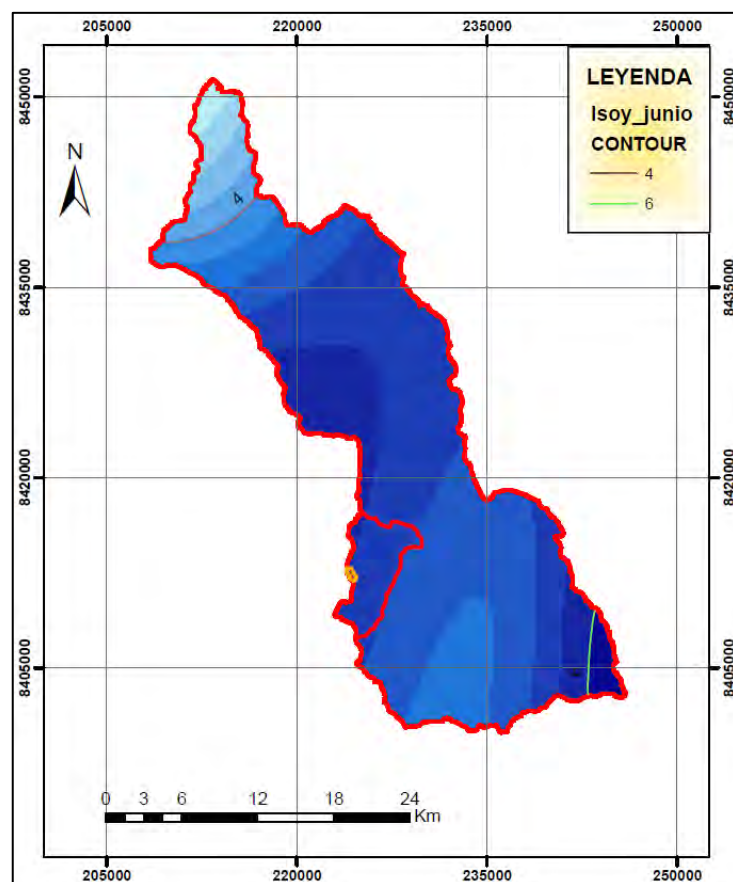
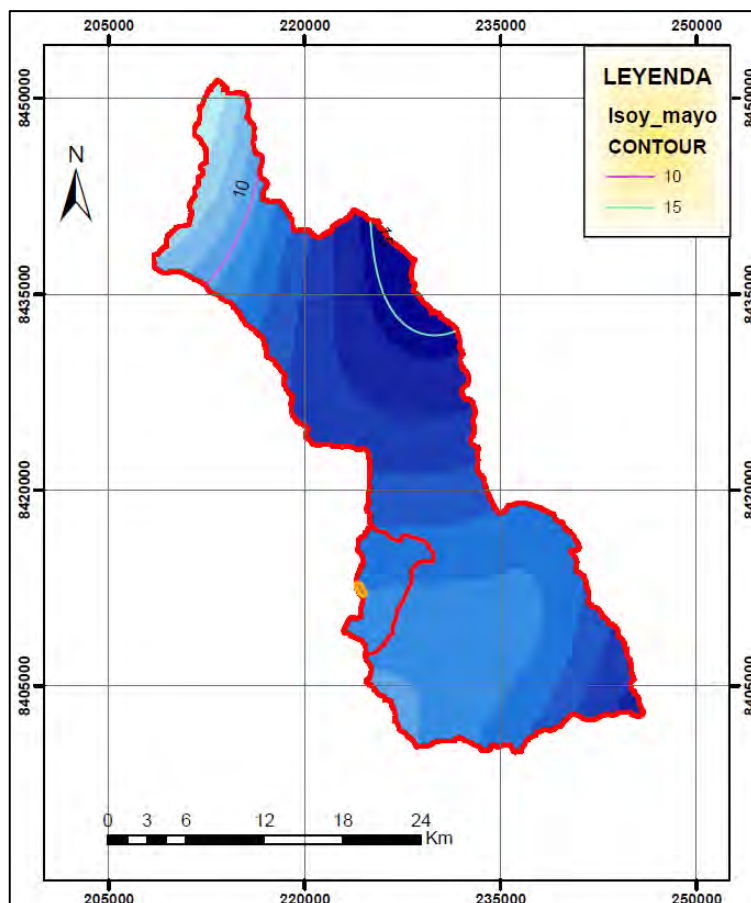


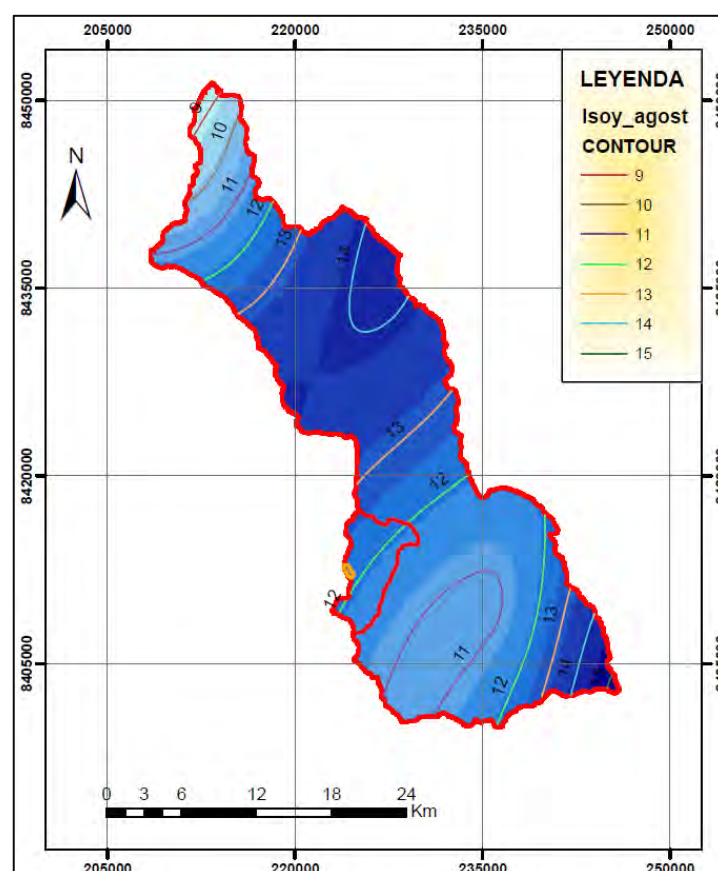
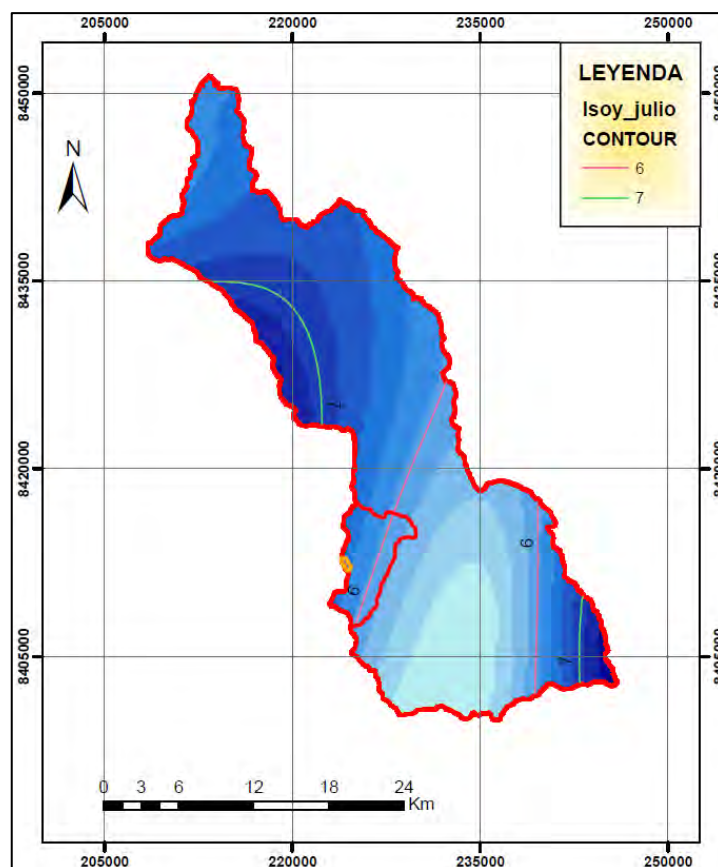
Fuente: Elaboración propia

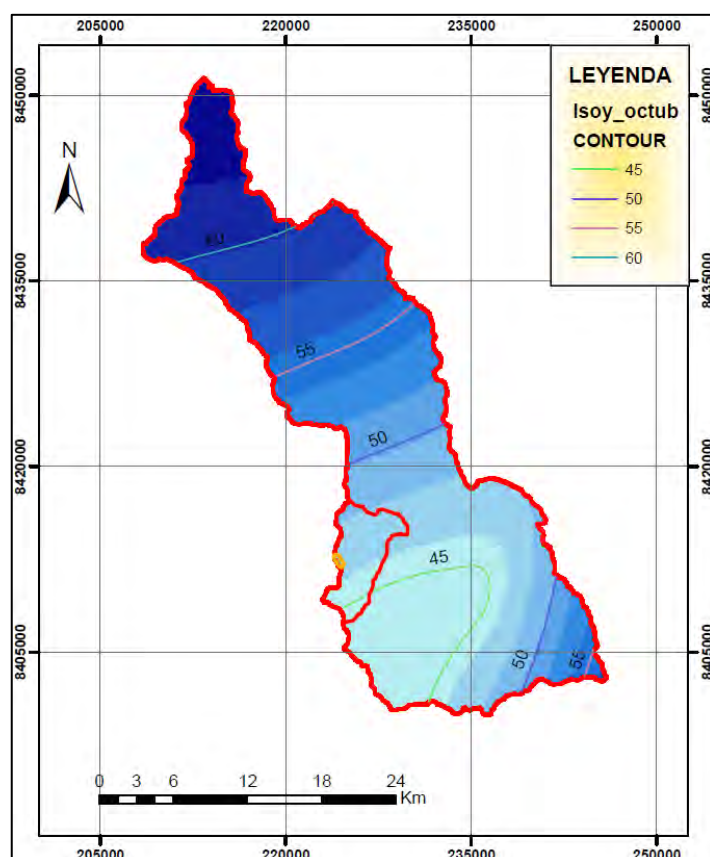
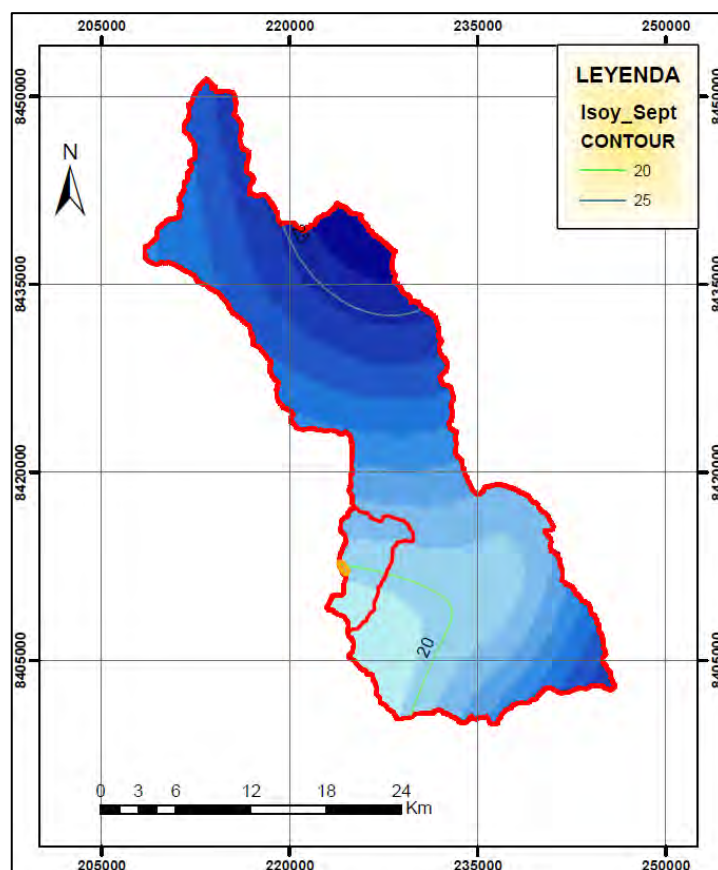
Figura 36: Mapa con isotermas, isoyetas, isotermas anuales y mensuales promedio; isoyetas mensuales promedio.

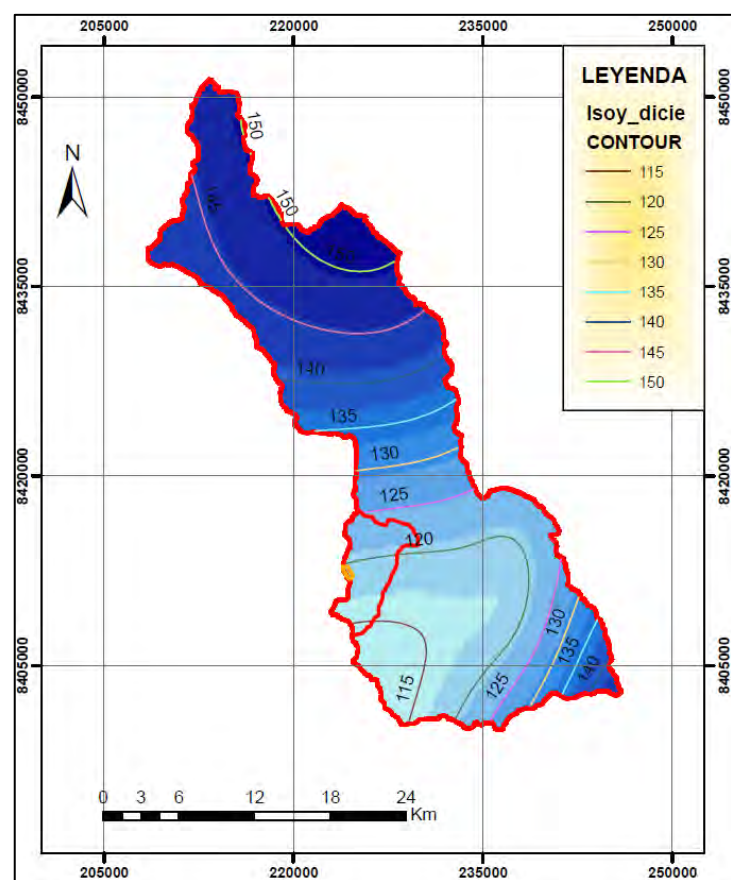
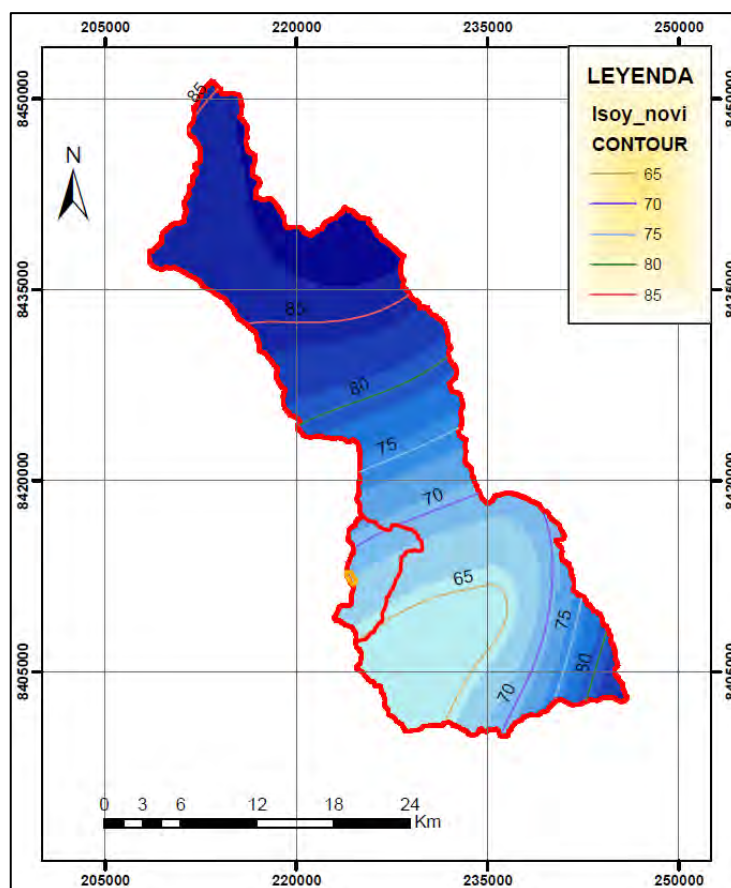












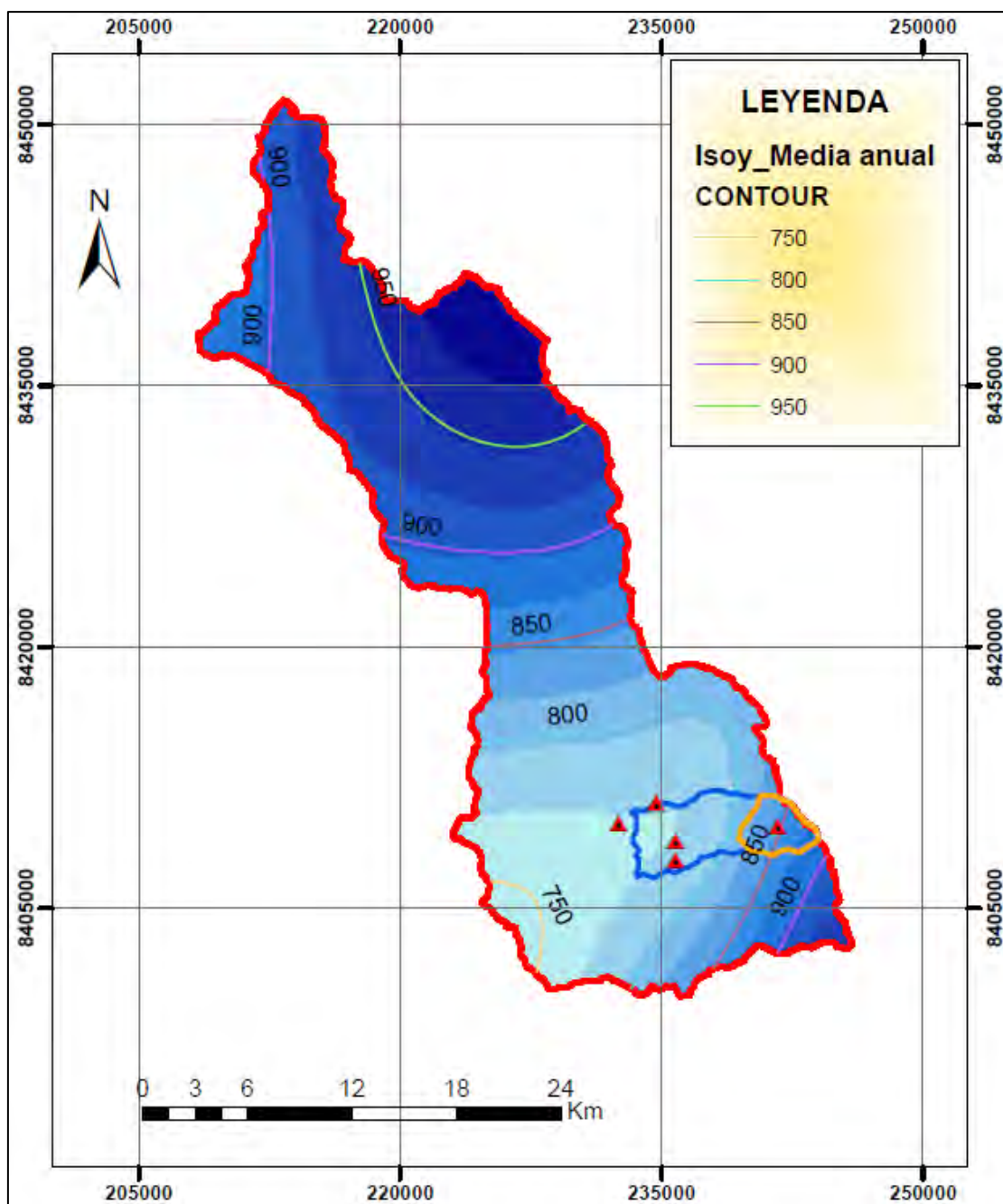
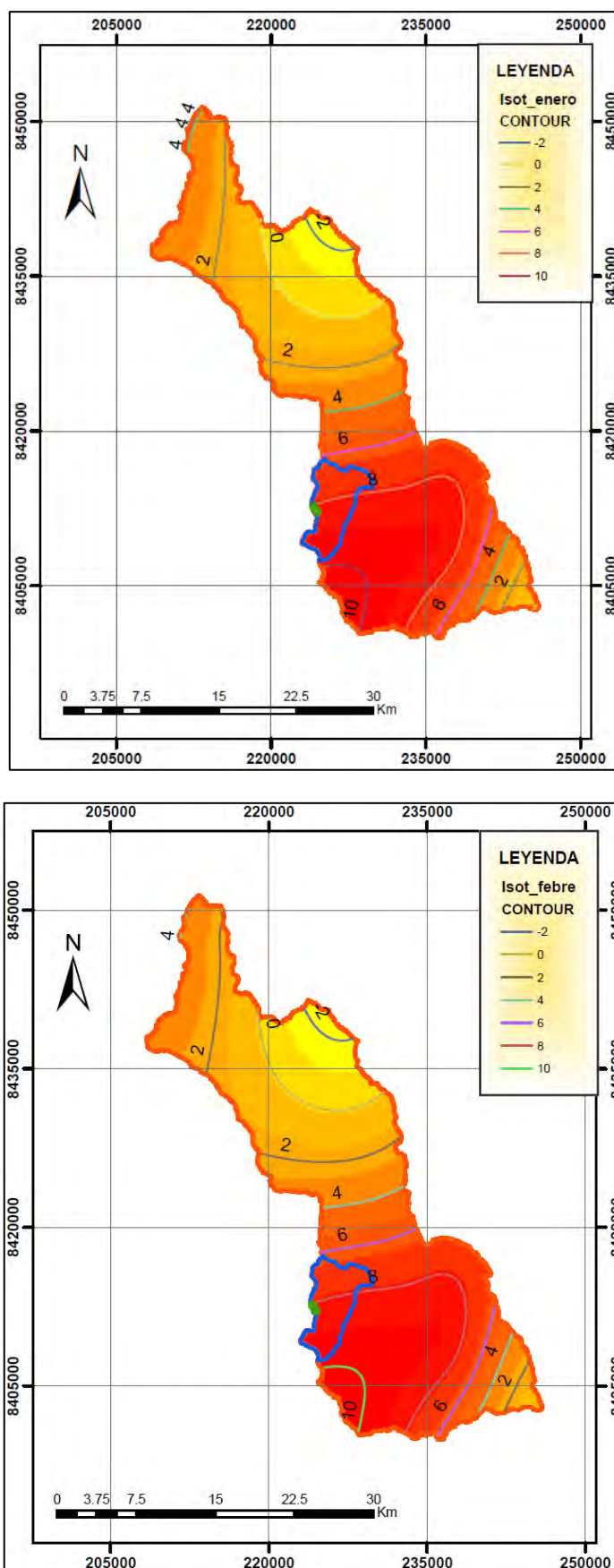
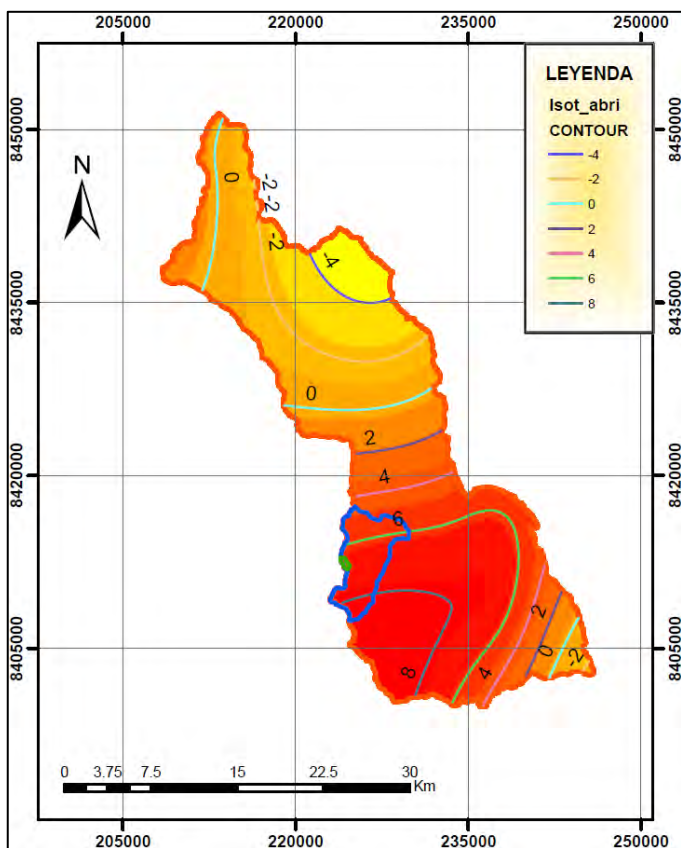
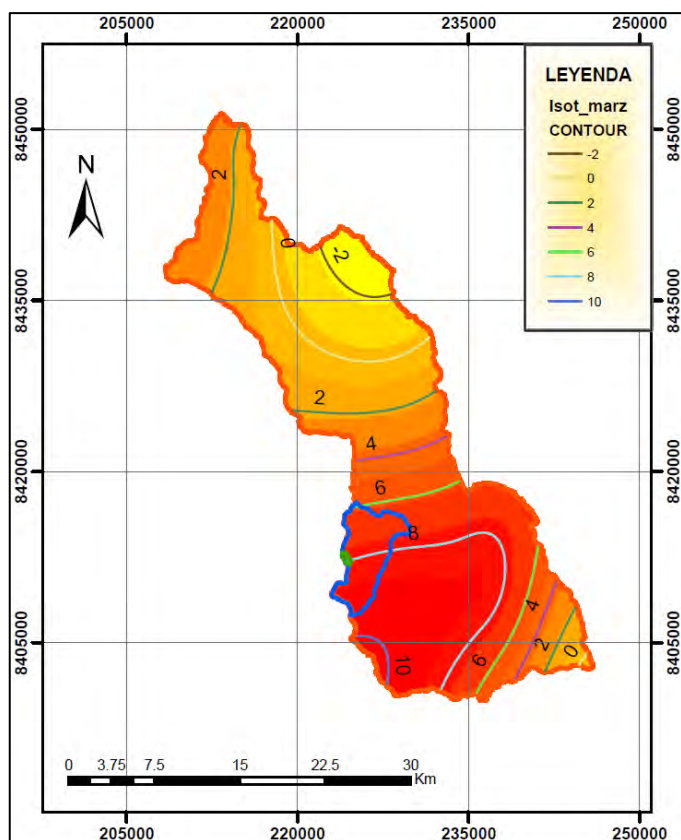
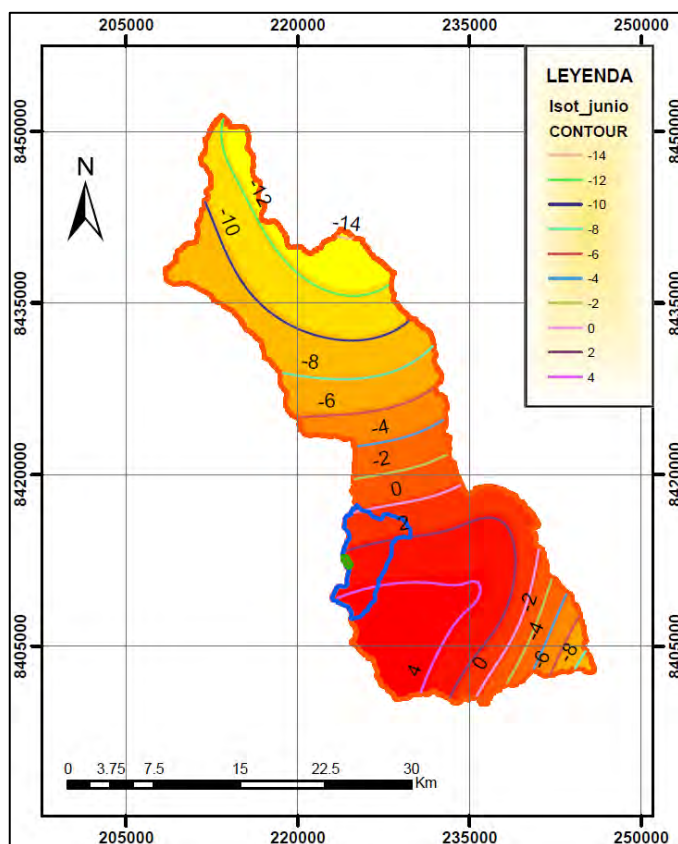
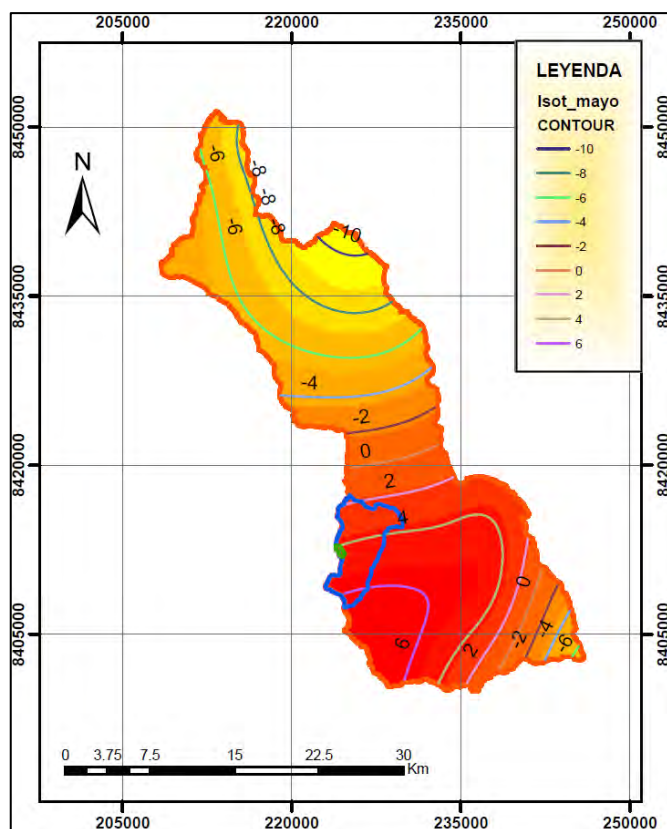
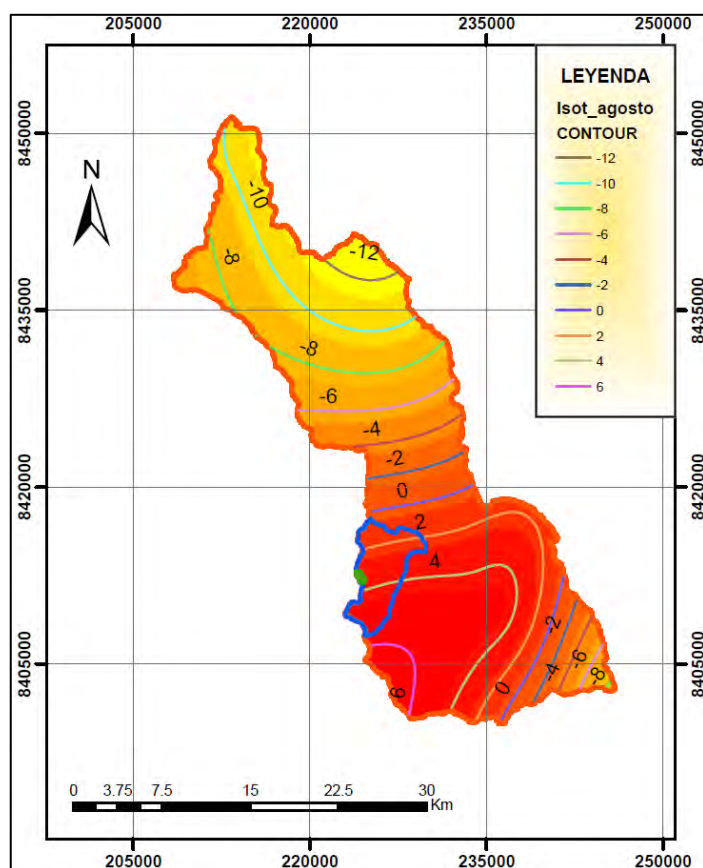
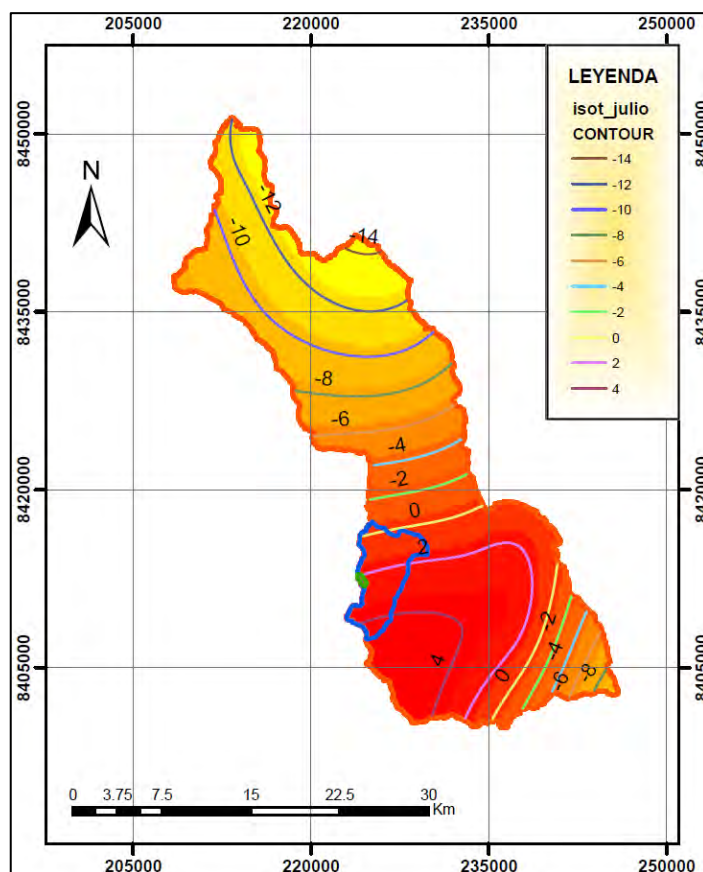


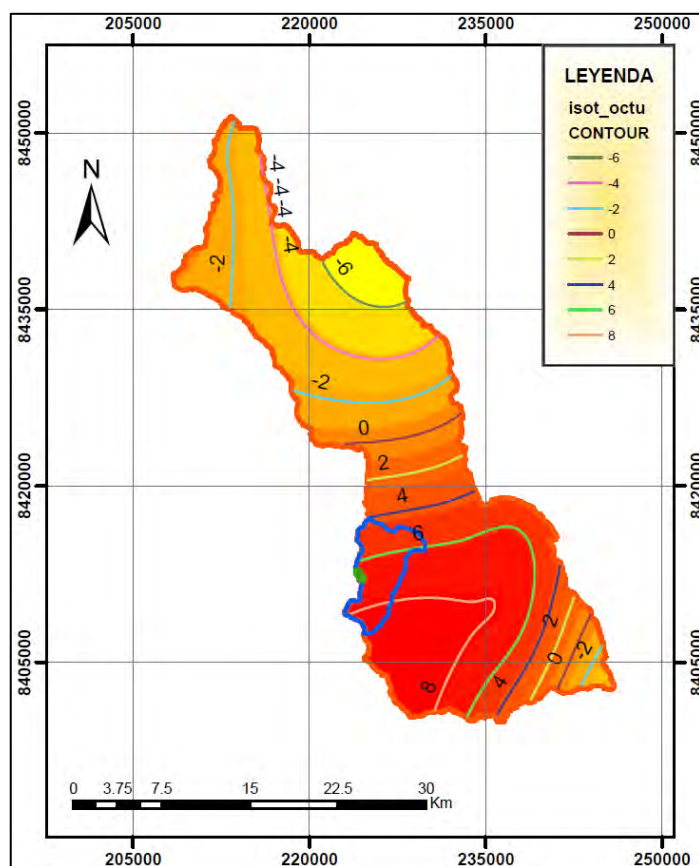
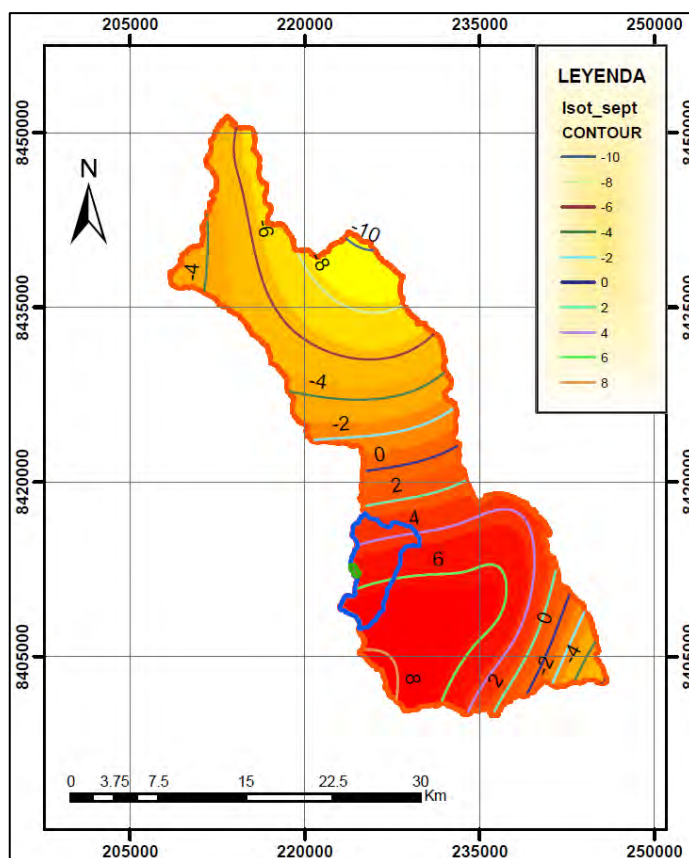
Figura 37: Isotermas, Isoterma media anual











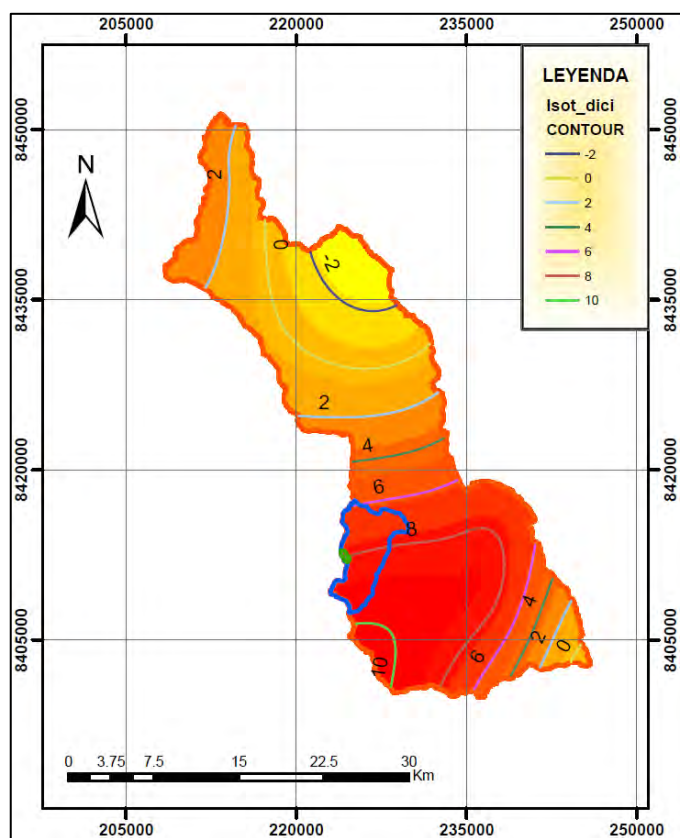
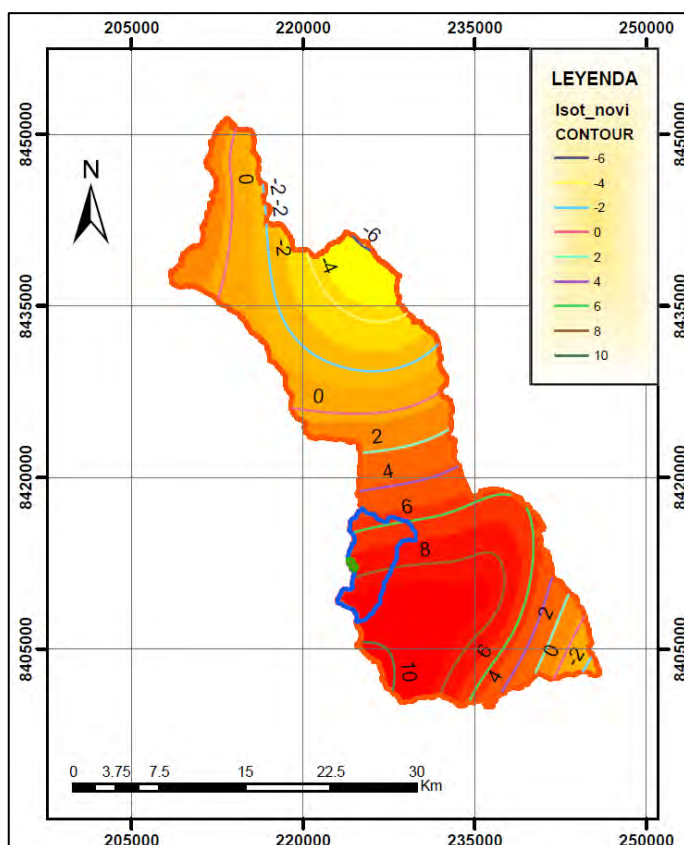
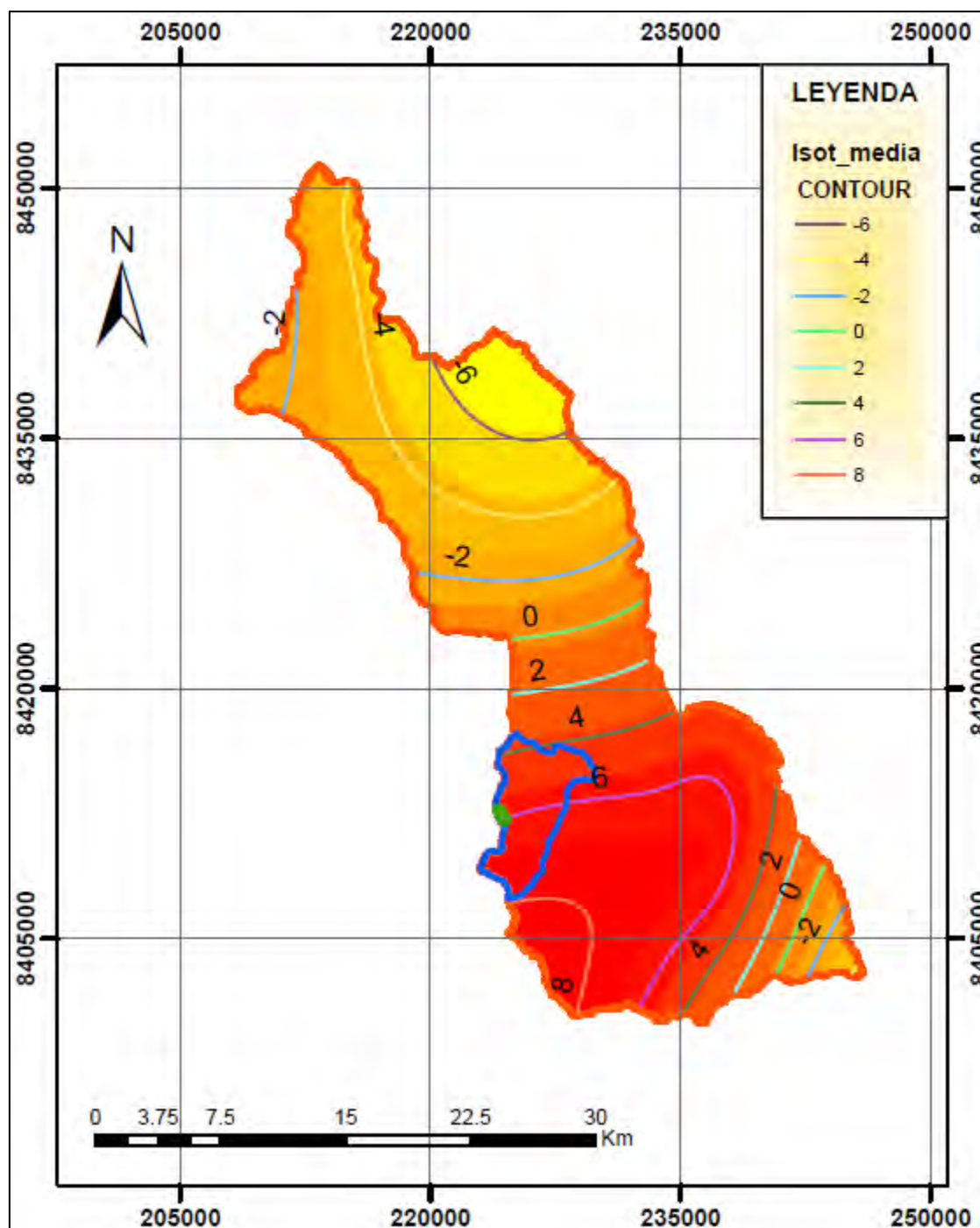


Figura 38: Isoterma media anual





ANEXOS GEOTÉCNICOS

	Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01	
	ALLPA LABORATORIO	
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	
	Form. Aprob. por: L.C.C.	
REGISTRO DE EXCAVACIÓN		Fecha: 03/06/2024
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 101 y ASTM D 420		
		V. Br 3.5

DATOS GENERALES	
PROYECTO :	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
SOLICITA :	HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
UBICACIÓN :	Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco

DATOS ESPECÍFICOS	
PUNTO :	C-01
POSICIÓN :	Zona: 19 L, N: 8412803 y E: 224299
FECHA :	sábado, 25 de mayo de 2024
HECHO POR :	H.A.P.F. O.O.J.E

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	IMAGEN	
-0.20	E-02		Suelo orgánico	O		
-0.40						
-0.60						
-0.80						
-1.00						
-1.20						
-1.40						
-1.60	E-01		Roca Piroclástica muy alterada	GP		
-1.80						
-2.00						
-2.20						
-2.40						
-2.60						
-2.80						

Observaciones: No existe presencia de nivel freático.
El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
Los estratos, cuyos suelos tienen ensayos de laboratorio, están con formato **negrita**.
En fondo de calicata se encontró roca volcánica de flujo



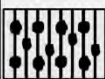
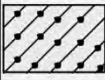
	Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01					
	Form. Aprob. por: L.C.C.					
	Fecha: 03/06/2024					
	V. Br 3.5					
ALLPA LABORATORIO						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO						
REGISTRO DE EXCAVACIÓN						
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 101 y ASTM D 420						
DATOS GENERALES						
PROYECTO : EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024						
SOLICITA : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO						
UBICACIÓN : Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco						
DATOS ESPECÍFICOS						
PUNTO : C-02		HECHO POR : H.A.P.F. O.O.J.E				
POSICIÓN : Zona: 19 L, N: 8412763 y E: 224350						
FECHA : sábado, 25 de mayo de 2024						
PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS	IMAGEN	ENSAYOS IN SITU
-0.20	E-05		Suelo orgánico	O		
-0.40	E-04		Grava limosa color gris	GM		
-0.60						
-0.80						
-1.00	E-03		Arena limosa color pardo	SM		
-1.20						
-1.40						
-1.60						
-1.80	E-02		Arcilla arenosa de baja plasticidad color gris	CL		
-2.00						
-2.20						
-2.40						
-2.60	E-01		Arena arcillosa color gris	SC		
-2.80						
-3.00						
-3.20						
Observaciones: No existe presencia de nivel freático. El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC. Los estratos, cuyos suelos tienen ensayos de laboratorio, están con formato negrita . En fondo de calicata se encontró roca volcánica de piroclastos						



	Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01	
	ALLPA LABORATORIO	
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	
	REGISTRO DE EXCAVACIÓN	
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 101 y ASTM D 420		Form. Aprob. por: L.C.C.
V. Br 3.5		Fecha: 03/06/2024

DATOS GENERALES	
PROYECTO :	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
SOLICITA :	HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
UBICACIÓN :	Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco

DATOS ESPECÍFICOS	
PUNTO :	C-03
POSICIÓN :	Zona: 19 L, N: 8412726 y E: 224391
FECHA :	sábado, 25 de mayo de 2024
HECHO POR : H.A.P.F. O.O.J.E	

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN		ENSAYOS IN SITU	
				SUCS	IMAGEN		
-0.20	E-04		Suelo orgánico	O			
-0.40	E-03		Grava limosa color gris	GM			
-0.60							
-0.80							
-1.00	E-02		Arena arcillosa	SC			
-1.20							
-1.40							
-1.60							
-1.80							
-2.00							
-2.20							
-2.40							
-2.60	E-01		Piroclasto				

Observaciones: No existe presencia de nivel freático.
El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
Los estratos, cuyos suelos tienen ensayos de laboratorio, están con formato **negrita**.
En el fondo de calicata se encontró Roca Piroclástica



	Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01	
	ALLPA LABORATORIO	
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	
	REGISTRO DE EXCAVACIÓN	
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 101 y ASTM D 420	
	V. Br 3.5	

DATOS GENERALES	
PROYECTO :	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
SOLICITA :	HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
UBICACIÓN :	Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco

DATOS ESPECÍFICOS	
PUNTO :	C-04
POSICIÓN :	Zona: 19 L, N: 8412694 y E: 224407
FECHA :	sábado, 25 de mayo de 2024
HECHO POR :	H.A.P.F. O.O.J.E

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	IMAGEN	
-0.20	E-05		Suelo orgánico	O		
-0.40	E-04		Grava limosa color gris	GM		
-0.60						
-0.80						
-1.00	E-03		Arena limosa gris	SM		
-1.20						
-1.40						
-1.60	E-02		Arena arcillosa gris verdosa	SC		
-1.80						
-2.00						
-2.20						
-2.40						
-2.60	E-01		Roca piroclástica			
-2.80						
-3.00						

Observaciones: *No existe presencia de nivel freático.*
El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
*Los estratos, cuyos suelos tienen ensayos de laboratorio, están con formato **negrita**.*
En fondo de calicata se encontró Roca Piroclástica



	Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01				
	ALLPA LABORATORIO				
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO				
	REGISTRO DE EXCAVACIÓN				
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 101 y ASTM D 420				
	V. Br 3.5				
DATOS GENERALES					
PROYECTO : EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024					
D : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO					
UBICACIÓN : Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco					
DATOS ESPECÍFICOS					
PUNTO : C-05					
POSICIÓN : Zona: 19 L, N: 8412755 y E: 224264					
FECHA : sábado, 25 de mayo de 2024					
HECHO POR : H.A.P.F. O.O.J.E					
PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN	ENSAYOS IN SITU
-0.20	E-02		Suelo orgánico	O	
-0.40					
-0.60	E-01		Roca volcánica de piroclastos gris verdoso	R	
-0.80					

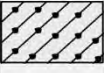
Observaciones: No existe presencia de nivel freático.
El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
Los estratos, cuyos suelos tienen ensayos de laboratorio, están con formato **negrita**.
En fondo de calicata se encontró Roca Piroclástica



	Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01					
	ALLPA LABORATORIO					
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO					
	REGISTRO DE EXCAVACIÓN					
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 101 y ASTM D 420					
	V. Br 3.5					
DATOS GENERALES						
PROYECTO : EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024						
SOLICITA : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO						
UBICACIÓN : Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco						
DATOS ESPECÍFICOS						
PUNTO : C-06						
POSICIÓN : Zona: 19 L, N: 8412724 y E: 224286						
FECHA : sábado, 25 de mayo de 2024						
HECHO POR : H.A.P.F. O.O.J.E						
PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN SUCS	IMAGEN	ENSAYOS IN SITU
-0.20	E-03		Suelo orgánico	O		
-0.40						
-0.60	E-02		Grava limosa color gris	GM		
-0.80						
-1.00	E-01		Arena con grava color gris verdoso	SP		
-1.20						

Observaciones: No existe presencia de nivel freático.
El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
Los estratos, cuyos suelos tienen ensayos de laboratorio, están con formato **negrita**.



	Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01				
	ALLPA LABORATORIO				
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO				
	REGISTRO DE EXCAVACIÓN				
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 101 y ASTM D 420				
	V. Br 3.5				
DATOS GENERALES					
PROYECTO : EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024					
SOLICITA : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO					
UBICACIÓN : Presa Chaupibanda - distrito de Quehuc, provincia de Canas, departamento de Cusco					
DATOS ESPECÍFICOS					
PUNTO : C-07					
POSICIÓN : Zona: 19 L, N: 8412675 y E: 224335					
FECHA : sábado, 25 de mayo de 2024					
HECHO POR : H.A.P.F. O.O.J.E					
PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN	ENSAYOS IN SITU
-0.20	E-05		Suelo orgánico	O	
-0.40	E-04		Grava mal gradada color pardo	GP	
-0.60					
-0.80					
-1.00					
-1.20					
-1.40	E-03		Arena arcillosa color marrón	SC	
-1.60					
-1.80					
-2.00	E-02		Arena mal gradada con grava color pardo	SP	
-2.20					
-2.40	E-01		Roca piroclástica		

Observaciones: No existe presencia de nivel freático.
El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
Los estratos, cuyos suelos tienen ensayos de laboratorio, están con formato **negrita**.
En fondo de calicata se encontró roca piroclástica



	Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01	
	ALLPA LABORATORIO	
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	
	REGISTRO DE EXCAVACIÓN	
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 101 y ASTM D 420		Form. Aprob. por: L.C.C.
V. Br 3.5		Fecha: 03/06/2024

DATOS GENERALES	
PROYECTO :	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
SOLICITA :	HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
UBICACIÓN :	Presa Chaupibanda - distrito de Quehuc, provincia de Canas, departamento de Cusco

DATOS ESPECÍFICOS	
PUNTO :	C-08
POSICIÓN :	Zona: 19 L, N: 8412656 y E: 224368
FECHA :	sábado, 25 de mayo de 2024
HECHO POR :	H.A.P.F. O.O.J.E

PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN		ENSAYOS IN SITU
				SUCS	IMAGEN	
-0.20	E-05		Suelo orgánico	O		
-0.40						
-0.60						
-0.80	E-04		Grava limosa con arena	GM		
-1.00						
-1.20						
-1.40	E-03		Arcilla de baja plasticidad color gris verdoso	CL		
-1.60						
-1.80						
-2.00						
-2.20	E-02		Arena arcillosa color gris amarillento	SC		
-2.40						
-2.60						
-2.80						
-3.00	E-01		Roca	R		

Observaciones: No existe presencia de nivel freático.
El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
Los estratos, cuyos suelos tienen ensayos de laboratorio, están con formato **negrita**.
En fondo de calicata se encontró roca piroclástica



GRUPO ALLPA
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.C.R.L.
MÓDULO DE ELASTICIDAD EN ADOBE POR COMPRESIÓN SIMPLE

ASTM D 3148 - 96

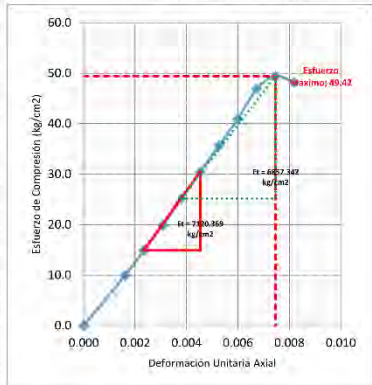
V. Br 1.0

Proyecto : EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA
PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
Ubicación : Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco
Solicita : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
Muestra : Roca C-01
Fecha : sábado, 25 de mayo de 2024
Hecho por : A.P.F. - O.O.J.E.

DATOS DEL TESTIGO	
Tipo de Testigo	Roca
Elemento	-
Diámetro del testigo	7.34 cm
Altura del testigo	13.67 cm
Área transversal	43 cm ²

Número de Lectura	Lectura del dial		Carga (kg)	Deformación		Esfuerzo axial (kg/cm ²)	Deformación Unitaria	
	Axial	Radial		Axial (cm)	Radial (cm)		Axial	Radial
00	0.0		0.0	0.00		0.00	0.0000	
01	22.0		424.2	0.02		9.92	0.0016	
02	32.0		637.3	0.03		14.90	0.0023	
03	42.0		849.4	0.04		19.86	0.0031	
04	52.0		1076.8	0.05		25.17	0.0038	
05	62.0		1304.2	0.06		30.49	0.0045	
06	72.0		1525.5	0.07		35.66	0.0053	
07	82.0		1751.8	0.08		40.95	0.0060	
08	92.0		2003.7	0.09		46.84	0.0067	
09	102.0		2113.8	0.10		49.42	0.0075	
10	112.0		2061.8	0.11		48.20	0.0082	
11								
12								
13								
14								
15								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								

Constante del dial de deformaciones	axial (mm/und)		0.01
	radial (mm/und)		0.01



Esfuerzo Máximo	(kg/cm ²)	49.42
Def. Unit. al Esfuerzo Máx.	(%)	0.0075
Mód. Elast. Axial (al 45%)	(kg/cm ²)	7120.37
Mód. Elast. Axial (Tr. lineal)	(kg/cm ²)	6857.34
Módulo de Elasticidad Axial	(kg/cm ²)	6857.34
Coefficiente de Poisson (al 45%)		
Coefficiente de Poisson (Tr. lineal)		

OBSERVACIONES

1.0. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente entre 14°C y 17°C



Allpa Laboratorio

GRUPO ALLPA

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.C.R.L.

MÓDULO DE ELASTICIDAD EN ADOBE POR COMPRESIÓN SIMPLE

ASTM D 3148 - 96

V. Br 1.0

Proyecto : EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA
PRESA CHAUPIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024

Ubicación : Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco

Solicita : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO

Muestra : Roca C-01

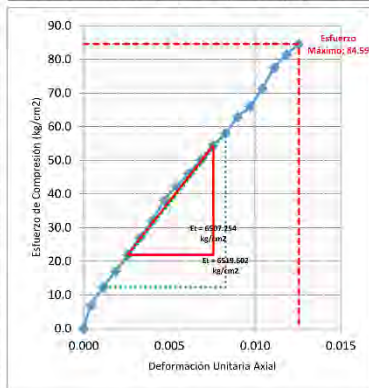
Fecha : sábado, 25 de mayo de 2024

Hecho por : A.P.F. - O.O.J.E.

DATOS DEL TESTIGO		II
Tipo de Testigo	:	Roca
Elemento	:	-
Diámetro del testigo:		7.31 cm
Altura del testigo	:	7.42 cm
Área transversal	:	43 cm ²

Número de Lectura	Lectura del dial		Carga (kg)	Deformación		Esfuerzo axial (kg/cm ²)	Deformación Unitaria	
	Axial	Radial		Axial (cm)	Radial (cm)		Axial	Radial
00	0.0		0.0	0.00		0.00	0.0000	
01	6.0		291.6	0.01		6.85	0.0004	
02	16.0		525.1	0.02		12.33	0.0011	
03	26.0		724.0	0.03		16.99	0.0019	
04	36.0		932.0	0.04		21.88	0.0026	
05	46.0		1150.2	0.05		27.00	0.0033	
06	56.0		1366.4	0.06		32.07	0.0040	
07	66.0		1619.3	0.07		38.01	0.0047	
08	76.0		1800.8	0.08		42.27	0.0054	
09	86.0		1963.9	0.09		46.10	0.0061	
10	96.0		2141.4	0.10		50.27	0.0068	
11	106.0		2314.7	0.11		54.34	0.0076	
12	116.0		2472.8	0.12		58.05	0.0083	
13	126.0		2673.7	0.13		62.76	0.0090	
14	136.0		2814.4	0.14		66.06	0.0097	
15	146.0		3038.7	0.15		71.33	0.0104	
16	156.0		3300.8	0.16		77.48	0.0111	
17	166.0		3467.0	0.17		81.38	0.0118	
18	176.0		3603.6	0.18		84.59	0.0126	
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								

Constante del dial de deformaciones	axial (mm/und)		0.01
	axial	radial	0.01

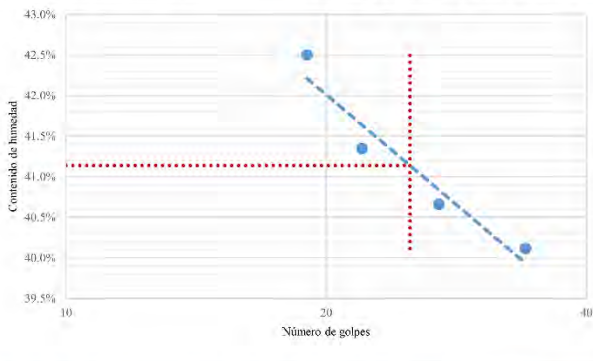


Esfuerzo Máximo	(kg/cm ²)	84.59
Def. Unit. al Esfuerzo Máx.	(%)	0.0126
Mód. Elast. Axial (al 45%)	(kg/cm ²)	6507.25
Mód. Elast. Axial (Tr. lineal)	(kg/cm ²)	6519.60
Módulo de Elasticidad Axial	(kg/cm ²)	6507.25
Coefficiente de Poisson (al 45%)		
Coefficiente de Poisson (Tr. lineal)		

OBSERVACIONES

1.0. Los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente entre 14°C y 17°C



 Grupo Allpa Sociedad Laboratoria		Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01			
		Form. Aprob. por: B.C.H.C. Fecha: 03/06/2024			
ALLPA LABORATORIO LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO		CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DE UN SUELO NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108 y ASTM D 2216			
		V. Br Pr 4.2			
DATOS GENERALES					
PROYECTO : EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024					
SOLICITA : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO					
UBICACIÓN : Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco					
DATOS ESPECÍFICOS					
POSICIÓN : Cantera 01		PUNTO : C-03			
FECHA : sábado, 25 de mayo de 2024		MUESTRA : E-02 y E-03			
HECHO POR : A.P.F. - O.O.J.E.		PROFUNDIDAD : -			
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL		M1	M2	M3	
Peso del Contenedor (gr.)					
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)					
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)					
Peso del Agua (gr.)					
Peso del Suelo Seco (gr.)					
Contenido de Humedad (%)					
Variación respecto de la media*					
* La variación respecto de la media de cada muestra debe ser menor al 7.8 % para cumplir con la precisión exigida por el MTC.					
LÍMITE PLÁSTICO		M1	M2	M3	
Peso del Contenedor (gr.)		8.35	8.65	7.23	
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)		18.54	17.14	18.35	
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)		16.70	15.70	16.30	
Peso del Agua (gr.)		1.84	1.44	2.05	
Peso del Suelo Seco (gr.)		8.35	7.05	9.07	
Contenido de Humedad (%)		22%	20%	23%	
Rango (%)**			2.2%		
** El rango debe ser menor al 2.6 % para cumplir con la precisión exigida por el MTC.					
LÍMITE LÍQUIDO		M1	M2	M3	M4
Número de Golpes		34	27	22	19
Peso del Contenedor (gr.)		9.32	21.22	19.73	18.87
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)		31.43	46.37	39.90	42.14
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)		25.10	39.10	34.00	35.20
Peso del Agua (gr.)		6.33	7.27	5.90	6.94
Peso del Suelo Seco (gr.)		15.78	17.88	14.27	16.33
Contenido de Humedad (%)		40%	41%	41%	42%
RESULTADOS					
Contenido de humedad		N.P.			
Límite plástico		22%			
Límite líquido		41%			
N.P.: No presenta.					
OTROS DATOS					
Índice plástico		19%			
Límite de contracción***		16%			
Estado natural del suelo		Semilíquido			
*** Estimado					
					
Observaciones:		Los ensayos se han realizado según las exigencias del MTC. El ensayo de contenido de humedad cumple con la precisión exigida por el MTC. El ensayo de límite plástico cumple con la precisión exigida por el MTC.			



“EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA
PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024”



 Grupo Allpa Servicios Laboratorios	Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01
	ALLPA LABORATORIO
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO
	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DE UN SUELO

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108 y ASTM D 2216

V. Br Pr 4.2

DATOS GENERALES	
PROYECTO :	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
SOLICITA :	HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
UBICACIÓN :	Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco

DATOS ESPECÍFICOS	
POSICIÓN :	Cantera 02
FECHA :	sábado, 25 de mayo de 2024
HECHO POR :	A.P.F. - O.O.J.E.
PUNTO :	C-07 y C-8
MUESTRA :	E-02 y E-03
PROFUNDIDAD :	-

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	M1	M2	M3
Peso del Contenedor (gr.)			
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)			
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)			
Peso del Agua (gr.)			
Peso del Suelo Seco (gr.)			
Contenido de Humedad (%)			
Variación respecto de la media*			

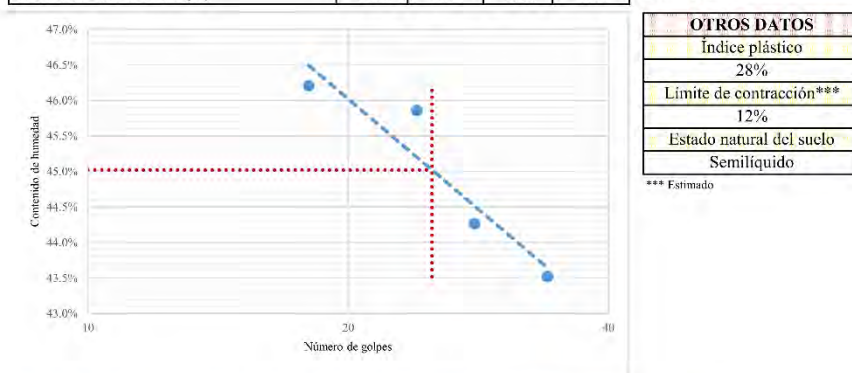
* La variación respecto de la media de cada muestra debe ser menor al 7.8 % para cumplir con la precisión exigida por el MTC.

LÍMITE PLÁSTICO	M1	M2	M3
Peso del Contenedor (gr.)	21.94	21.32	21.78
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	29.33	31.38	30.20
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	28.26	29.90	29.05
Peso del Agua (gr.)	1.07	1.48	1.15
Peso del Suelo Seco (gr.)	6.32	8.58	7.27
Contenido de Humedad (%)	17%	17%	16%
Rango (%)**		1.4%	

** El rango debe ser menor al 2.6 % para cumplir con la precisión exigida por el MTC.

LÍMITE LÍQUIDO	M1	M2	M3	M4
Número de Golpes	34	28	24	18
Peso del Contenedor (gr.)	23.27	22.58	22.80	22.46
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	36.00	35.03	35.30	39.42
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	32.14	31.21	31.37	34.06
Peso del Agua (gr.)	3.86	3.82	3.93	5.36
Peso del Suelo Seco (gr.)	8.87	8.63	8.57	11.60
Contenido de Humedad (%)	44%	44%	46%	46%

RESULTADOS
Contenido de humedad
N.P.
Límite plástico
17%
Límite líquido
45%
N.P.: No presenta.



Observaciones: Los ensayos se han realizado según las exigencias del MTC.
El ensayo de contenido de humedad cumple con la precisión exigida por el MTC.
El ensayo de límite plástico cumple con la precisión exigida por el MTC.



**"EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA
PRESA CHAUPIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024"**



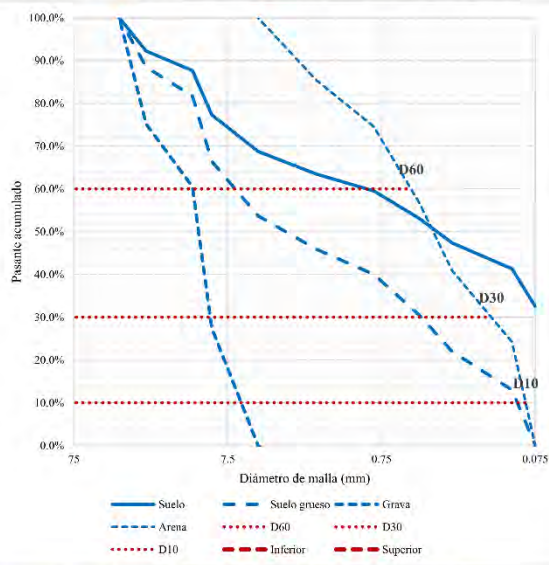
 Grupo Allpa Sección Laboratorio	ALLPA LABORATORIO		Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO		Form. Aprob. por: B.C.H.C.
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO		Fecha: 03/06/2024
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422 y AASHTO T 88		V. Br Pr 4.2

DATOS GENERALES	
EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUPIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024	
PROYECTO : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO	
SOLICITA : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO	
UBICACIÓN : Presa Chaupibanda - distrito de Quehuc, provincia de Canas, departamento de Cusco	

DATOS ESPECÍFICOS	
POSICIÓN : Cantera 01	PUNTO : C-03
FECHA : sábado, 25 de mayo de 2024	MUESTRA : E-02 y E-03
HECHO POR : A.P.F. - O.O.J.E.	PROFUNDIDAD : -

Tamiz	Malla	Tamaño (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	Especificaciones		
							Inferior (%)	Superior (%)	
	3"	76.20	0.00	0.0%	0.0%	100.0%			Peso total seco (gr.) 3594.90
	2"	50.80	0.00	0.0%	0.0%	100.0%			Peso después de lavar (g) 2473.30
									Pérdida por lavado (gr.) 1121.60
	1½"	38.10	0.00	0.0%	0.0%	100.0%			Fraciones de suelo
	1"	25.40	278.90	7.8%	7.8%	92.2%			% de suelo grueso 67.5%
	¾"	19.00	164.73	4.6%	12.3%	87.7%			% de suelo fino 32.5%
	3/8"	9.525	371.95	10.3%	22.7%	77.3%			% de grava 31.2%
	Nº 4	4.760	307.40	8.6%	31.2%	68.8%			% de arena 36.2%
	Nº 10	2.000	189.09	5.3%	36.5%	63.5%			Fraciones de suelo
	Nº 20	0.840	142.71	4.0%	40.5%	59.5%			% que pasa tamiz 1½" 100.0%
	Nº 40	0.425	231.77	6.4%	46.9%	53.1%			% que pasa tamiz ¾" #N/D
	Nº 60	0.260	206.57	5.7%	52.7%	47.3%			% que pasa tamiz Nº 4 68.8%
	Nº 140	0.106	217.53	6.1%	58.7%	41.3%			% que pasa tamiz Nº 10 63.5%
	Nº 200	0.075	315.23	8.8%	67.5%	32.5%			% que pasa tamiz Nº 40 53.1%
	< Nº 200 Cazucla	47.13	1.3%						Tamaños máximos
	Lavado	1121.6	31.2%						Tamaño máximo 1"
	Peso Total	3594.61	100.0%						Tamaño máximo nomin 1½"
				Error*	0.0%				Gradación Ninguna

* La variación entre el peso total y la suma de los pesos de las fracciones debe ser menor al 1% para cumplir con la precisión exigida por el MTC.



PARÁMETROS	
Suelo	
Diámetro al 60%	0.930
Diámetro al 30%	
Diámetro al 10%	
Coef. de uniformidad	
Coef. de curvatura	
Suelo grueso	
Diámetro al 60%	6.717
Diámetro al 30%	0.413
Diámetro al 10%	0.098
Coef. de uniformidad	68.63
Coef. de curvatura	0.26
Grava	
Diámetro al 60%	12.645
Diámetro al 10%	6.133
Coef. de uniformidad	2.06
Arena	
Diámetro al 60%	0.481
Diámetro al 10%	0.087
Coef. de uniformidad	5.56

Observaciones: El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
El ensayo cumple con la precisión exigida por el MTC.



**"EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA
PRESA CHAUIPANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024"**



 Grupo Allpa Sección Laboratorio	ALLPA LABORATORIO		Código del Proyecto: 1311-AL-SR-01
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO		Form. Aprob. por: B.C.H.C.
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO		Fecha: 03/06/2024
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422 y AASHTO T 88		V. Br Pr 4.2

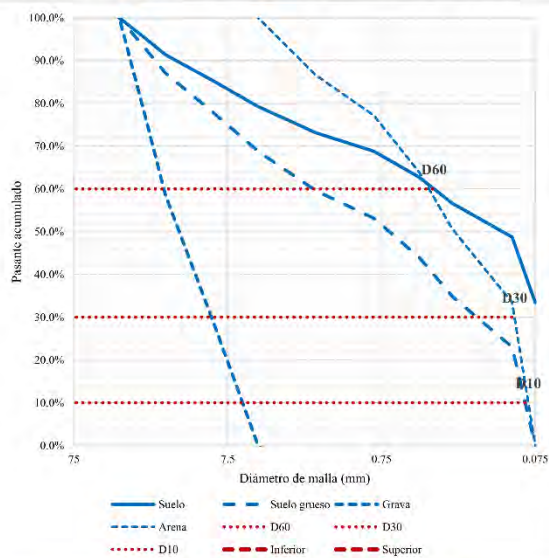
DATOS GENERALES	
PROYECTO :	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIPANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
SOLICITA :	HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
UBICACIÓN :	Presa Chaupibanda - distrito de Quehuc, provincia de Canas, departamento de Cusco

DATOS ESPECÍFICOS			
POSICIÓN :	Cantera 02	PUNTO :	C-07 y C-8
FECHA :	sábado, 25 de mayo de 2024	MUESTRA :	E-02 y E-03
HECHO POR :	A.P.F. - O.O.J.E	PROFUNDIDAD :	-

Tamiz	Malla	Tamaño (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasante acumulado (%)	Especificaciones	
							Inferior (%)	Superior (%)
	3"	76.200	0.00	0.0%	0.0%	100.0%		
	2"	50.800	0.00	0.0%	0.0%	100.0%		
	1½"	38.100	0.00	0.0%	0.0%	100.0%		
	1"	25.400	152.36	4.9%	4.9%	95.1%		
	¾"	19.050	113.33	3.7%	8.6%	91.4%		
	3/8"	9.525	183.05	5.9%	14.6%	85.4%		
	Nº 4	4.760	190.70	6.2%	20.8%	79.2%		
	Nº 10	2.000	189.50	6.2%	26.9%	73.1%		
	Nº 20	0.840	132.37	4.3%	31.2%	68.8%		
	Nº 40	0.425	188.21	6.1%	37.3%	62.7%		
	Nº 60	0.260	186.11	6.0%	43.4%	56.6%		
	Nº 140	0.106	242.76	7.9%	51.2%	48.8%		
	Nº 200	0.075	472.19	15.3%	66.6%	33.4%		
	< Nº 200 Cazucla		66.58	2.2%				
	Lavado		966.5	31.4%				
	Peso Total		3083.46	100.1%	Error*	-0.1%		

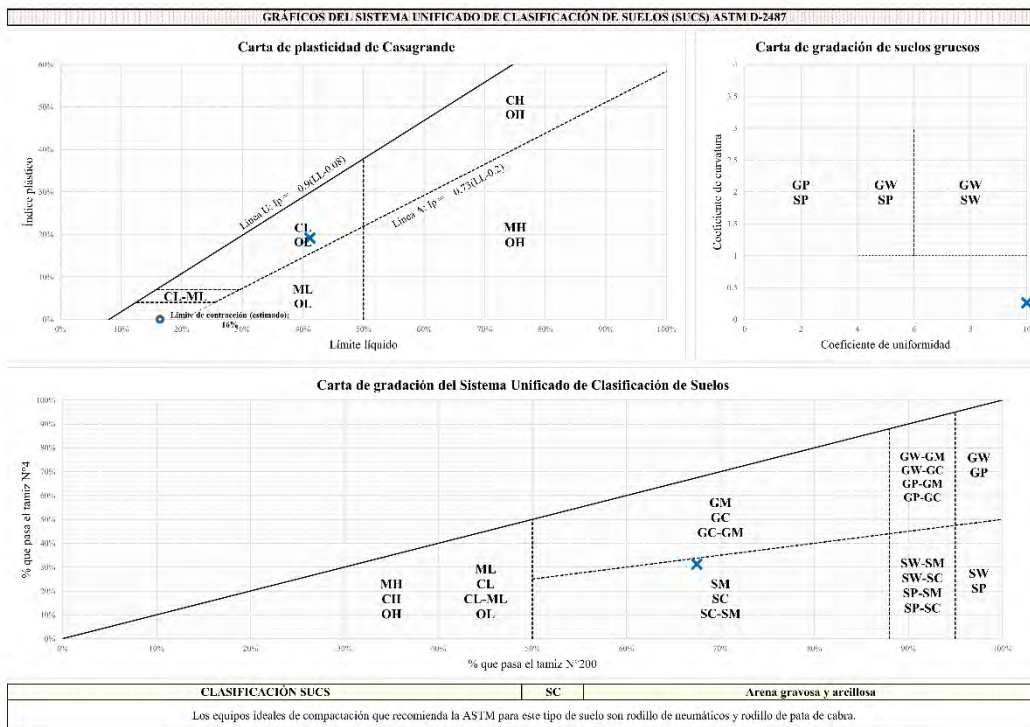
GRANULOMETRÍA	
Peso total seco (gr.)	3080.70
Peso después de lavar (g)	2114.20
Pérdida por lavado (gr.)	966.50
Fraciones de suelo	
% de suelo grueso	66.6%
% de suelo fino	33.4%
% de grava	20.8%
% de arena	45.8%
Fraciones de suelo	
% que pasa tamiz 1½"	100.0%
% que pasa tamiz ¾"	91.4%
% que pasa tamiz Nº 4	79.2%
% que pasa tamiz Nº 10	73.1%
% que pasa tamiz Nº 40	62.7%
Tamaños máximos	
Tamaño máximo	¾"
Tamaño máximo nomin	1"
Gradación	
	Ninguna

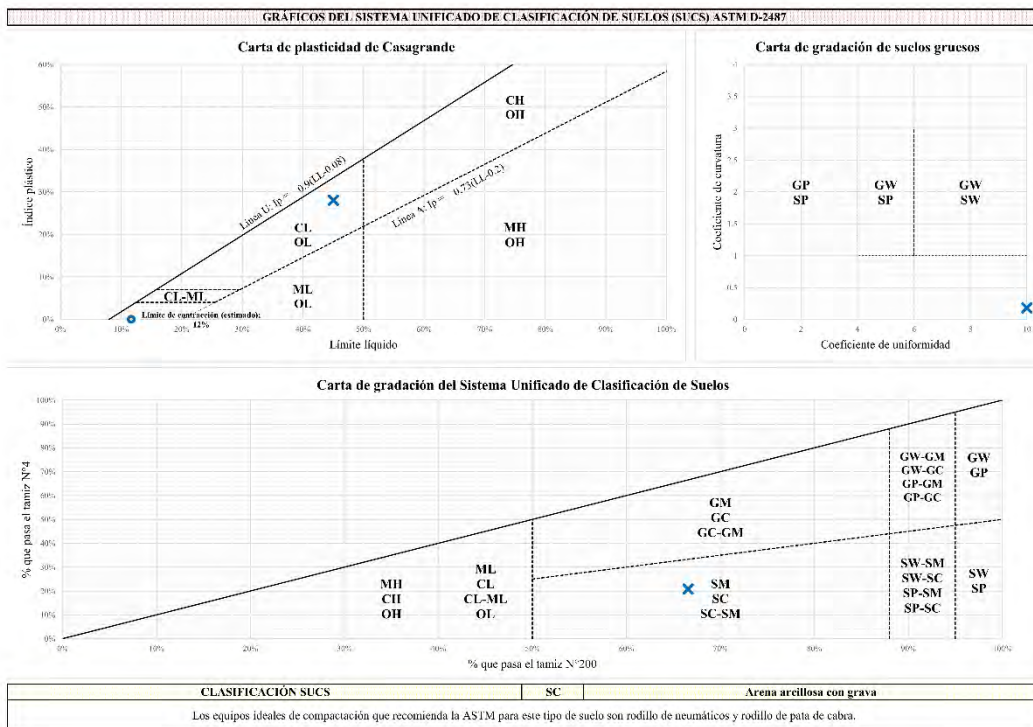
* La variación entre el peso total y la suma de los pesos de las fracciones debe ser menor al 1% para cumplir con la precisión exigida por el MTC.



PARÁMETROS	
Suelo	
Diámetro al 60%	0.342
Diámetro al 30%	
Diámetro al 10%	
Coef. de uniformidad	
Coef. de curvatura	
Suelo grueso	
Diámetro al 60%	2.081
Diámetro al 30%	0.180
Diámetro al 10%	0.087
Coef. de uniformidad	23.88
Coef. de curvatura	0.18
Grava	
Diámetro al 60%	19.535
Diámetro al 10%	6.007
Coef. de uniformidad	3.25
Arena	
Diámetro al 60%	0.368
Diámetro al 10%	0.083
Coef. de uniformidad	4.43

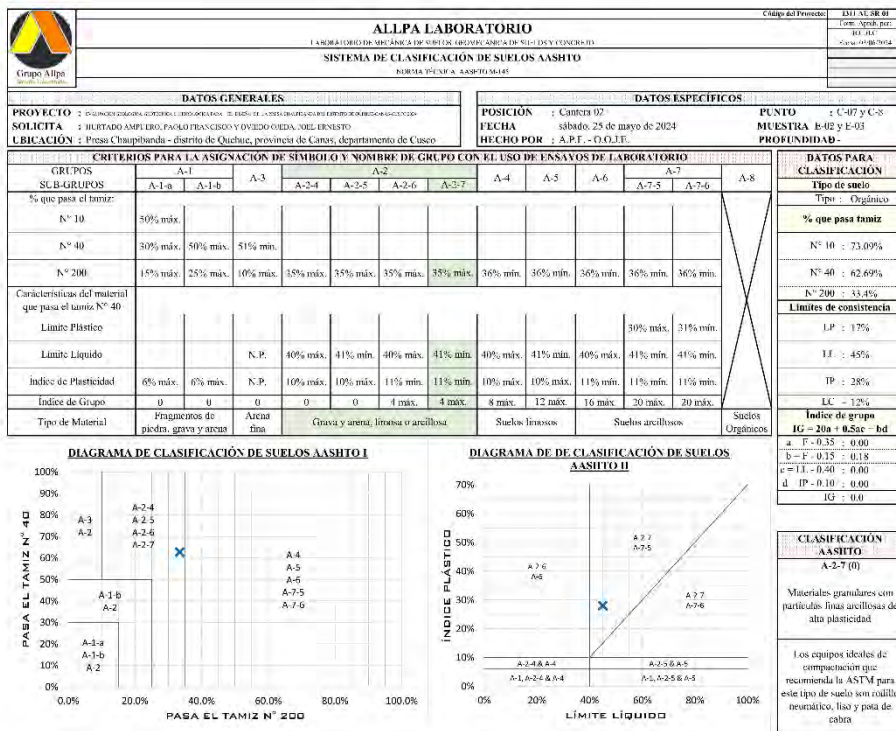
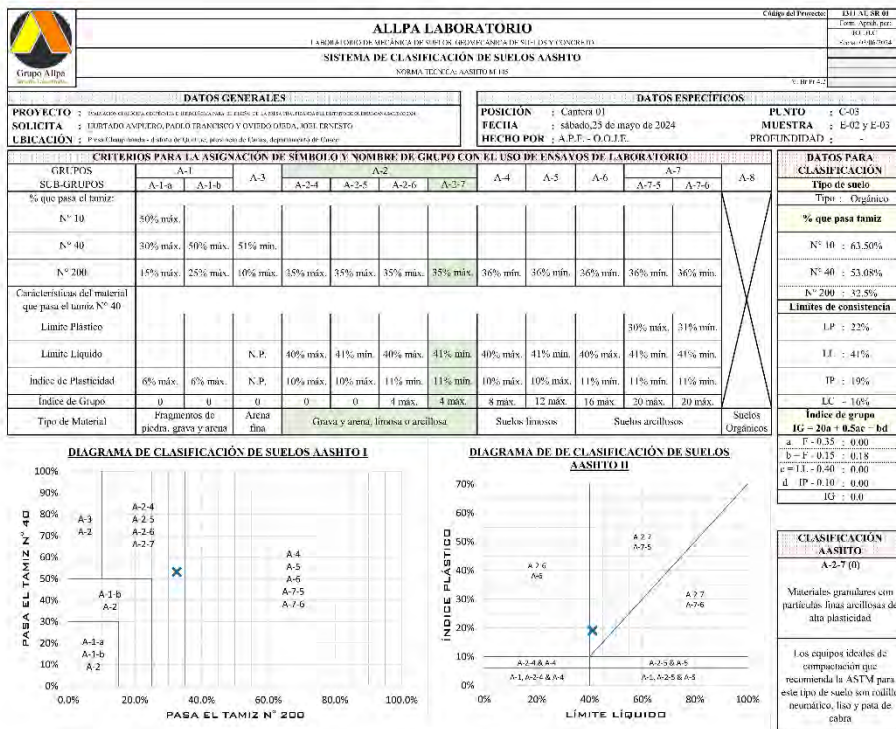
Observaciones: El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
El ensayo cumple con la precisión exigida por el MTC.

[illegible]

[illegible]



**"EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA
PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024"**





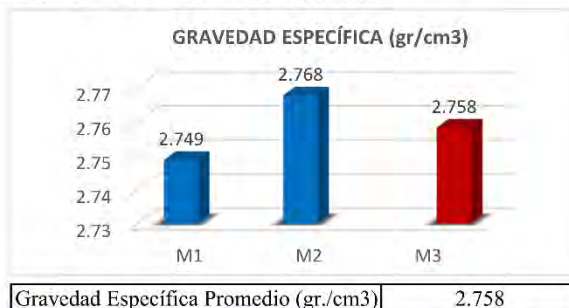
	Código del Proyecto:	1312-AL-RC-01
	ALLPA LABORATORIO	
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	
	GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO	
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 113, NTP 339.131 y ASTM D 854		Form. Aprob. por: L.C.C.
V. Br 3.3		Fecha: 03/06/2024

DATOS GENERALES	
PROYECTO :	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
SOLICITA :	HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
UBICACIÓN :	Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco

DATOS ESPECÍFICOS			
UBICACIÓN :	Material a compactar	CALICATA :	C-03 y C-07
FECHA :	sábado, 25 de mayo de 2024	MUESTRA :	-
HECHO POR :	A.P.F. - O.O.J.E.	PROFUNDIDAD :	-

MUESTRA	M1	M2
Número de Picnómetro	1	1
Volumen del Picnómetro (ml)	250	250
Peso del Contenedor (gr.)	108.38	110.37
Peso del Contenedor + Muestra Seca (gr.)	164.50	165.37
Peso de la Muestra Seca (gr.)	56.12	55.00
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	404.66	404.07
Temperatura del Agua (°C)	18.7	19.1
Peso del Picnómetro + Agua (gr.)	368.96	368.95
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	35.70	35.12
Peso del Agua Desplazada (gr.)	20.42	19.88
Gravedad Específica a Temperatura de Ensayo (gr./cm3)	2.748	2.767
Factor de corrección por Temperatura	1.00026	1.00018
Peso Específico (gr./cm3)	2.749	2.768
Rango de los resultados* (gr./cm3)	0.019	

* El rango debe ser menor a 0.02 para cumplir con la precisión exigida por el MTC.



Gravedad Específica Promedio (gr./cm3)	2.758
--	-------

Observaciones: El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.
El ensayo cumple con la precisión exigida por el MTC.

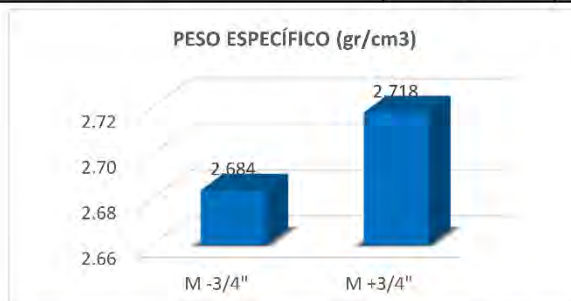


	Código del Proyecto:	1312-AL-RC-01
	ALLPA LABORATORIO	Form. Aprob. por:
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	L.C.C.
	PESO ESPECÍFICO DEL SUELO	Fecha: 03/06/2024
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 206 y NTP 400.021	
	V. Br 3.3	

DATOS GENERALES	
PROYECTO :	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUPIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
SOLICITA :	HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
UBICACIÓN :	Presas Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco

DATOS ESPECÍFICOS	
UBICACIÓN :	Material a compactar
CALICATA :	C-03 y C-07
FECHA :	sábado, 25 de mayo de 2024
MUESTRA :	-
PROFUNDIDAD :	-
HECHO POR :	A.P.F. - O.O.J.E.

MUESTRA	T. Máx. < 3/4"	T. Máx. > 3/4"
Peso del Contenedor (gr.)	0.00	0.00
Peso del Contenedor + Muestra Seca (gr.)	322.00	277.30
Peso de la Muestra Seca (gr.)	322.00	277.30
Peso de la Muestra Saturada con Sup. Seca (gr.)	324.10	277.90
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	204.32	176.02
Temperatura del Agua (°C)	19.0	18.0
Peso del Agua Desplazada (gr.)	119.78	101.88
Peso del Agua Desplazada por los Sólidos (gr.)	117.68	101.28
Densidad del Agua a Temperatura de Ensayo (gr./cm3)	0.99843	0.99862
Volumen del Agua Desplazada (cm3)	119.97	102.02
Volumen de las Partículas Sólidas (cm3)	117.87	101.42
Peso Específico (gr./cm3)	2.684	2.718
Peso Específico Saturado (gr./cm3)	2.702	2.724
Gravedad Específica (gr./cm3)	2.732	2.734
Absorción (%)	0.7	0.2



Observaciones: El ensayo se ha realizado según las exigencias de la MTC.



“EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA
PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024”

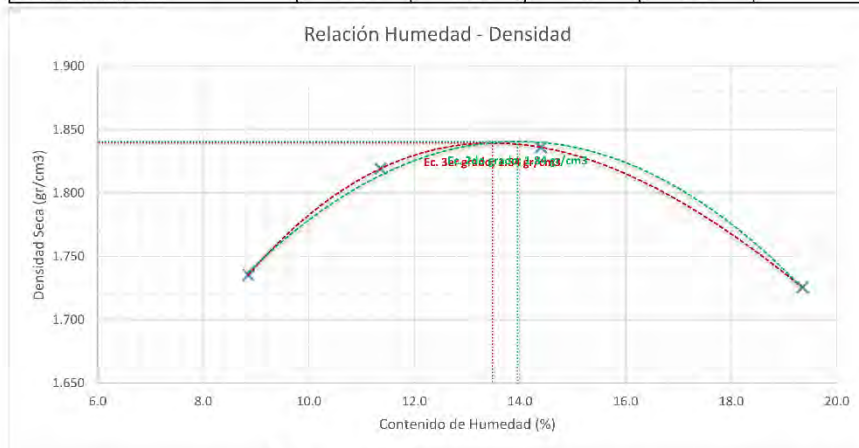


	Código del Proyecto:	1312-A1-RC-01
	Form. Aprob. por:	L.C.C.
	Fecha:	03/06/2024
	ALLPA LABORATORIO	
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO		
PROCTOR MODIFICADO		
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, NTP 339.141 y ASTM D 1557		

DATOS GENERALES	
PROYECTO :	EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024
SOLICITA :	HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO
UBICACIÓN :	Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco

DATOS ESPECÍFICOS			
UBICACIÓN :	Material a compactar	MUESTRA :	-
FECHA :	sábado, 25 de mayo de 2024	PROFUNDIDAD :	-
HECHO POR :	J.H.A.P.F. - O.O.J.E.	CALICATA :	C-03 y C-07

ENSAYO	M1	M2	M3	M4	M5
Número de Capas (gr.)	5				
Golpes por Capa (gr.)	56	56	56	56	
Número de Molde	2	2	2	2	
Peso del Molde (gr.)	6734.8	6734.8	6734.8	6734.8	
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr.)	10742.0	11033.0	11191.0	11104.0	
Peso del Suelo Húmedo Compactado (gr.)	4007.2	4298.2	4456.2	4369.2	
Volumen del Molde (cm ³)	2121.65	2121.65	2121.65	2121.65	
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.889	2.026	2.100	2.059	
Peso del Contenedor (gr.)	71.0	59.7	79.9	108.6	
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	773.2	661.6	753.6	1044.9	
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	716.1	600.2	668.8	893.1	
Peso del Agua (gr.)	57.1	61.4	84.8	151.8	
Peso del Suelo Seco (gr.)	645.1	540.5	588.9	784.5	
Contenido de Agua (%)	8.9	11.4	14.4	19.3	
Contenido de Agua Promedio (%)	8.9	11.4	14.4	19.3	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.735	1.819	1.836	1.725	



	% Retenido	G.E.
T. Máx. < N° 4		2.758
N° 4 < T. Máx. < 3/4"		2.732
T. Máx. > 3/4"		2.734
T. Máx. < 3/4"		

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	1.841
Densidad Húmeda Máxima (gr/cm ³)	2.097
Contenido de Humedad Óptima (%)	13.95

Observaciones: El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.



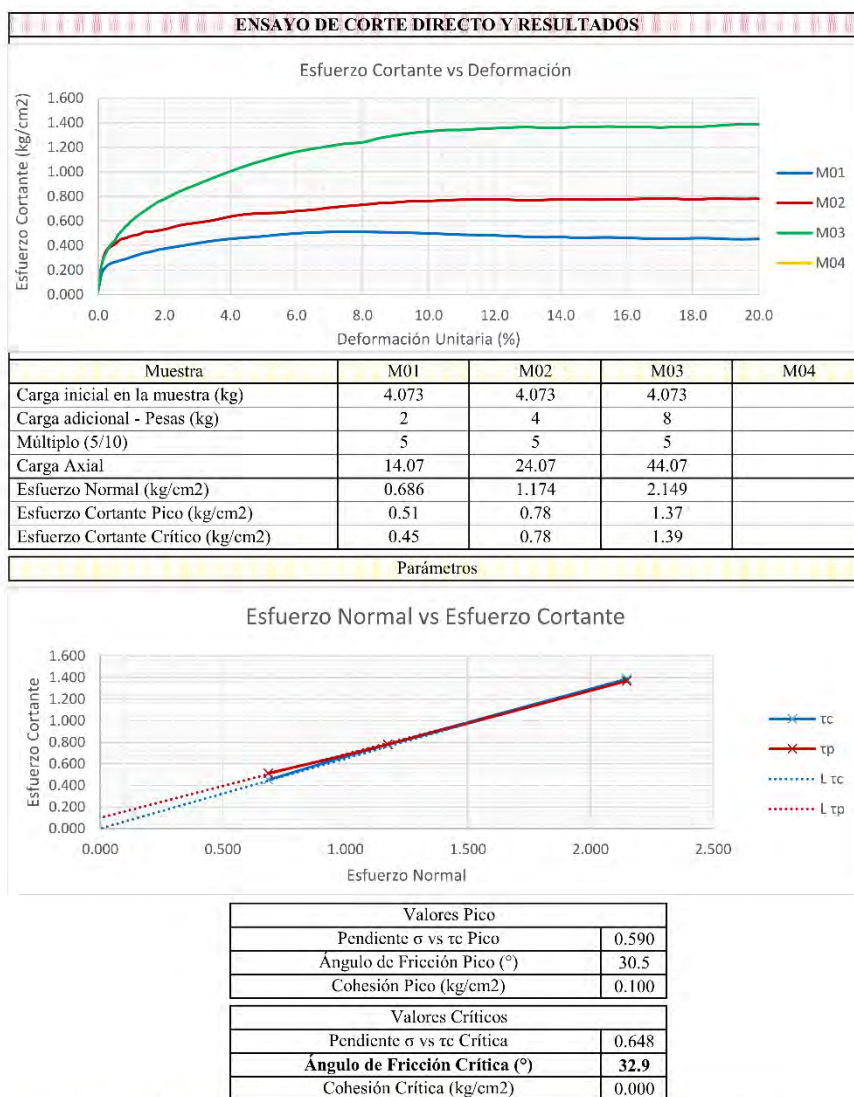
	ALLPA LABORATORIO				Código del Proyecto: 1311-AI-SR-01
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO				Form. Aprob. por: L.C.C.
	CORTE DIRECTO				Fecha: 03/06/2024
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 123 y ASTM D 3080				
	V. Br 3				
DATOS GENERALES					
PROYECTO : EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA E HIDROLÓGICA PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO 2024					
SOLICITA : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO					
UBICACIÓN : Presa Chaupibanda - distrito de Quehue, provincia de Canas, departamento de Cusco					
DATOS ESPECÍFICOS					
UBICACIÓN : - CALICATA : Canteras 1 y 2					
FECHA : sábado, 25 de Mayo de 2024 MUESTRA : -					
HECHO POR : H.A.P.F. - O.O.J.E. PROFUNDIDAD :					
MUESTRA	M01	M02	M03	M04	
Características Iniciales de la Muestra					
Número de anillo	1	1	1		
Altura de la Muestra (cm)	1.96	2.06	2.06		
Diámetro de la Muestra (cm)	6.40	6.40	6.40		
Volumen de la Muestra (cm ³)	63.1	66.3	66.3		
Peso de la Muestra Húmeda (gr.)	161.00	150.10	150.60		
Características después de la Consolidación					
Asentamiento (mm)	0.55	1.44	2.12		
Altura de la Muestra (cm)	1.91	1.92	1.85		
Diámetro o lado de la Muestra (cm)	5.11	5.11	5.11		
Área de la Muestra (cm ²)	20.51	20.51	20.51		
Volumen de la Muestra (cm ³)	39.1	39.3	37.9		
Características después del Ensayo de Corte Directo					
Asentamiento (mm)	0.49	0.94	1.20		
Altura de la Muestra (cm)	1.857	1.822	1.728		
Volumen de la Muestra (cm ³)	38.1	37.4	35.4		
Contenido de Humedad					
Peso del Contenedor (gr.)	52.80	57.70	59.80		
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	258.20	251.50	255.00		
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	199.80	197.00	201.40		
Peso del Agua (gr.)	58.40	54.50	53.60		
Peso del Suelo Seco (gr.)	147.00	139.30	141.60		
Contenido de Agua Final (%)	39.7	39.1	37.9		
Relaciones Gravimétricas de la Muestra					
Densidad Húmeda Inicial (gr/cm ³)	2.553	2.265	2.273		
Contenido de Agua Inicial (%)	9.5	7.8	6.4		
Densidad Seca Inicial (gr/cm ³)	2.331	2.102	2.137		
Densidad Seca - consolidación (gr/cm ³)	3.762	3.545	3.736		
Densidad Húmeda Final (gr/cm ³)	5.395	5.187	5.509		
Densidad Seca Final (gr/cm ³)	3.861	3.728	3.996		
Gravedad Específica (gr/cm ³)					
Relación de Vacíos Inicial					
Grado de Saturación Inicial (%)					
Relación de Vacíos luego de consolidarse					
Relación de Vacíos Final					
Grado de Saturación Final (%)					

Observaciones: Las muestras se encuentran saturadas al momento de ser ensayadas.
La muestra ha sido remoldeada con su densidad y humedad naturales.



ENSAYO DE CORTE DIRECTO										
Deformación Horizontal		Área Correg.	Fuerza (kg)				Esfuerzo Cortante (kg/cm2)			
(%)	(cm)	(cm2)	M01	M02	M03	M04	M01	M02	M03	M04
0.0	0.0000	20.51	0.77	1.00	0.84		0.038	0.049	0.041	
0.1	0.0051	20.46	3.59	5.00	5.04		0.175	0.244	0.246	
0.2	0.0102	20.40	4.45	6.97	6.59		0.217	0.340	0.321	
0.3	0.0153	20.35	4.98	7.73	7.73		0.243	0.377	0.377	
0.4	0.0204	20.30	5.28	8.12	8.54		0.258	0.396	0.417	
0.5	0.0256	20.25	5.45	8.44	9.03		0.266	0.412	0.441	
0.6	0.0307	20.20	5.61	8.91	10.01		0.273	0.435	0.488	
0.7	0.0358	20.14	5.79	9.30	10.60		0.282	0.453	0.517	
0.8	0.0409	20.09	5.91	9.42	11.24		0.288	0.459	0.548	
0.9	0.0460	20.04	6.12	9.58	11.75		0.298	0.467	0.573	
1.0	0.0511	19.99	6.28	9.81	12.32		0.306	0.478	0.601	
1.2	0.0613	19.88	6.65	10.01	13.22		0.324	0.488	0.644	
1.4	0.0715	19.78	6.97	10.44	13.99		0.340	0.509	0.682	
1.6	0.0818	19.67	7.18	10.50	14.74		0.350	0.512	0.719	
1.8	0.0920	19.57	7.48	10.71	15.46		0.365	0.522	0.754	
2.0	0.1022	19.46	7.69	10.89	15.97		0.375	0.531	0.779	
2.5	0.1278	19.20	8.14	11.62	17.33		0.397	0.567	0.845	
3.0	0.1533	18.94	8.59	12.01	18.44		0.419	0.586	0.899	
3.5	0.1789	18.68	9.01	12.44	19.56		0.440	0.607	0.954	
4.0	0.2044	18.42	9.32	13.05	20.60		0.454	0.636	1.004	
4.5	0.2300	18.16	9.54	13.44	21.58		0.465	0.655	1.052	
5.0	0.2555	17.90	9.75	13.60	22.41		0.475	0.663	1.093	
5.5	0.2811	17.64	10.03	13.68	23.19		0.489	0.667	1.131	
6.0	0.3066	17.38	10.24	13.97	23.86		0.499	0.681	1.163	
6.5	0.3322	17.12	10.38	14.17	24.37		0.506	0.691	1.188	
7.0	0.3577	16.86	10.46	14.52	24.82		0.510	0.708	1.210	
7.5	0.3833	16.61	10.50	14.79	25.23		0.512	0.721	1.230	
8.0	0.4088	16.35	10.48	15.01	25.43		0.511	0.732	1.240	
8.5	0.4344	16.09	10.44	15.27	26.12		0.509	0.745	1.274	
9.0	0.4599	15.83	10.40	15.40	26.59		0.507	0.751	1.297	
9.5	0.4855	15.58	10.32	15.62	27.00		0.503	0.762	1.317	
10.0	0.5110	15.32	10.24	15.64	27.27		0.499	0.763	1.330	
10.5	0.5366	15.07	10.14	15.76	27.49		0.494	0.769	1.340	
11.0	0.5621	14.81	10.01	15.87	27.51		0.488	0.774	1.341	
11.5	0.5877	14.56	9.97	15.89	27.67		0.486	0.775	1.349	
12.0	0.6132	14.30	9.89	15.93	27.80		0.482	0.777	1.355	
12.5	0.6388	14.05	9.79	15.85	27.92		0.477	0.773	1.361	
13.0	0.6643	13.80	9.67	15.74	27.98		0.471	0.768	1.364	
13.5	0.6899	13.54	9.58	15.83	27.88		0.467	0.772	1.359	
14.0	0.7154	13.29	9.63	15.91	27.88		0.469	0.776	1.359	
14.5	0.7410	13.04	9.50	15.89	28.04		0.463	0.775	1.367	
15.0	0.7665	12.79	9.54	15.87	28.04		0.465	0.774	1.367	
15.5	0.7921	12.55	9.56	15.89	28.08		0.466	0.775	1.369	
16.0	0.8176	12.30	9.48	15.93	28.02		0.462	0.777	1.366	
16.5	0.8432	12.05	9.40	16.01	28.04		0.458	0.781	1.367	
17.0	0.8687	11.80	9.36	16.01	27.92		0.456	0.781	1.361	
17.5	0.8943	11.56	9.36	16.01	28.02		0.456	0.781	1.366	
18.0	0.9198	11.32	9.42	15.89	28.00		0.459	0.775	1.365	
18.5	0.9454	11.07	9.42	16.01	28.12		0.459	0.781	1.371	
19.0	0.9709	10.83	9.30	16.01	28.33		0.453	0.781	1.381	
19.5	0.9965	10.59	9.26	15.99	28.45		0.451	0.780	1.387	
20.0	1.0220	10.35	9.30	16.01	28.41		0.453	0.781	1.385	

Observaciones: El ensayo se ha realizado según las exigencias del MTC.

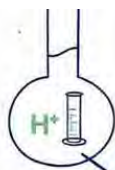


Observaciones: Se han hallado los parámetros de cohesión y ángulo de fricción según la Ley de Coulomb.



ANEXOS GEOQUÍMICOS

Figura 39: Estudio físico y químico del agua de riego



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES

AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N° I.Q. 0325-24

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : HURTADO AMPUERO, PAOLO FRANCISCO Y OVIEDO OJEDA, JOEL ERNESTO

PROYECTO : "CREACION DEL SERVICIO DE COSECHA DE AGUA PARA RIEGO TECNIFICADO EN LA COMUNIDAD DE CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE - PROVINCIA DE CANAS - DEPARTAMENTO DE CUSCO"

UBICACIÓN POLITICA PROYECTO

Región : Cusco
Provincia : Canas
Distrito : Quehue
Comunidad Campesina : Chaupibanda

UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

Cuenca : Alto Apurímac
Cuenca : Alto medio Apurímac
Cuenca : Chaupibanda
Microcuenca : Yuraccasa

MUESTRA

Lugar : Punto de captación
Hora de muestreo : 10:00am
Fecha muestreo : 14/11/2024
Fecha de entrega : 25/11/2024

USO DEL AGUA : AGUA PARA RIEGO

RESULTADOS

ITEM	PARAMETROS	UND	RESULTADO
1	CaCO ₃	meq/L	2.4
2	Ca	meq/L	2.2
3	Mg	meq/L	0.2
4	Na	meq/L	0.21
5	K	meq/L	0.02
6	Cl	meq/l	0.23
7	SO ₄	meq/l	0.83
8	C.E.	m mhos/cm	0.25
9	CO ₃	meq/L	1.34
10	HCO ₃	meq/L	1.34
11	PH	---	7.0
12	RAS	---	0.25
13	CLASE	---	C ₁ S ₁

METODO DE ANALISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

CONCLUSIÓN: La muestra de agua se clasifica como C₁S₁, que significa salinización baja y alcalinización baja por consiguiente el agua es APTO para riego.

MC QUIMICALAB
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
ADMINISTRACION
CIP. 238338

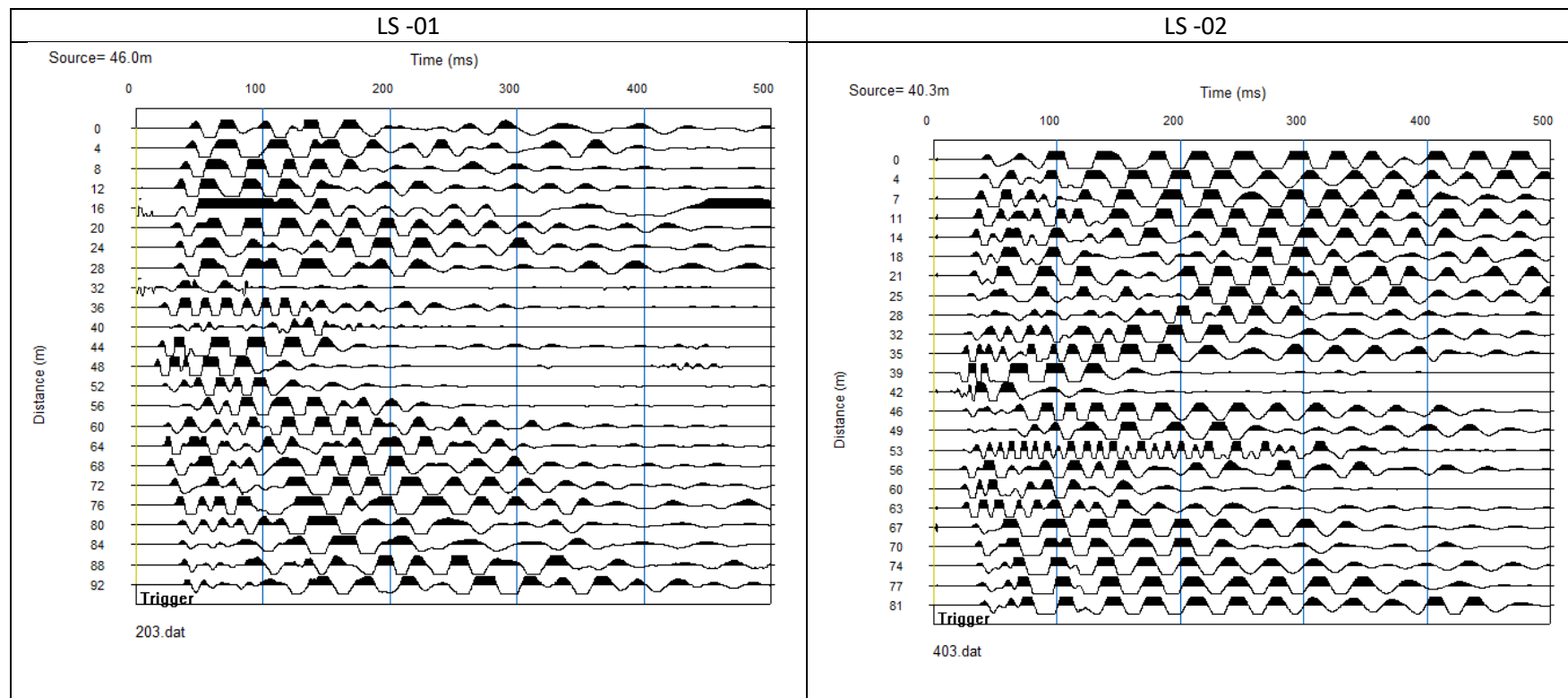
MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188

Fuente: MC Químicalab (2024).



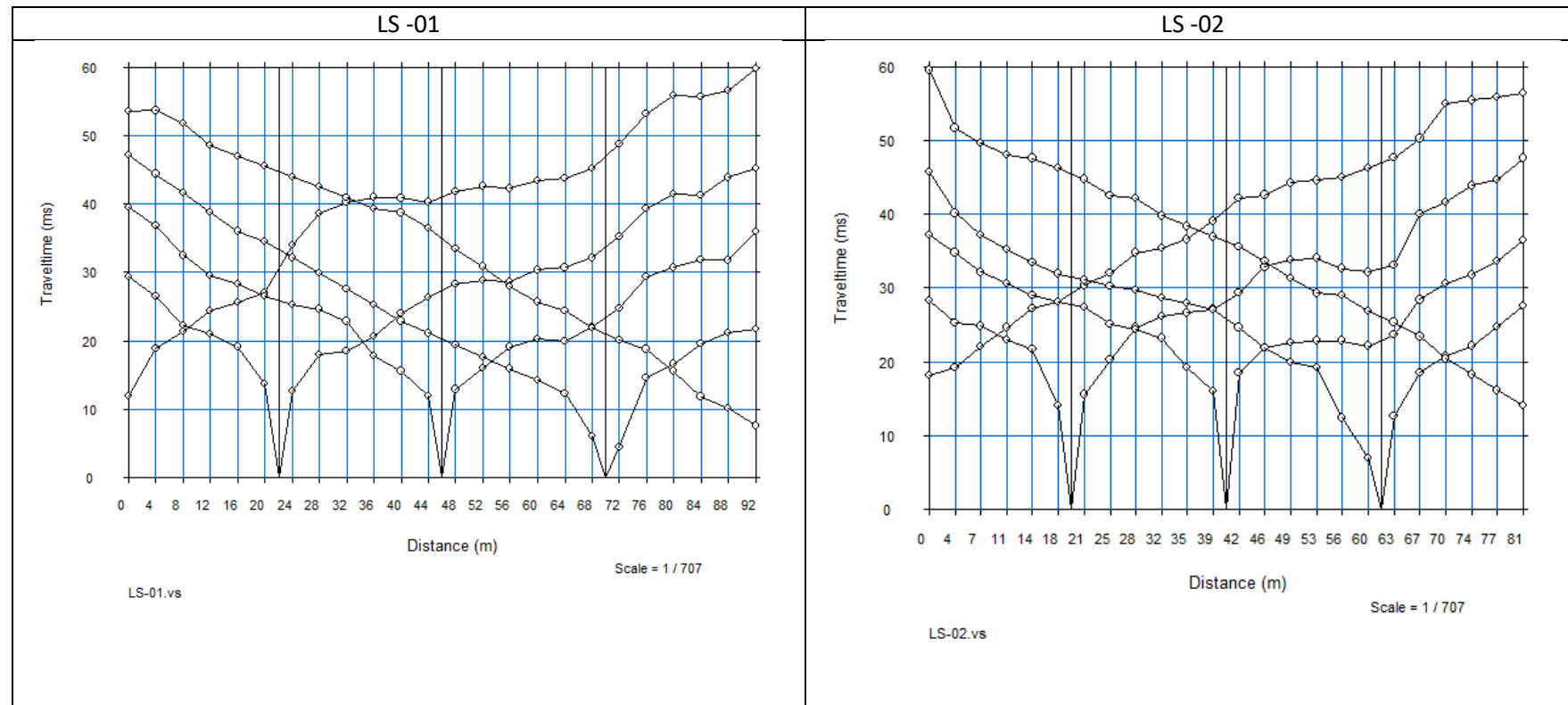
ANEXOS GEOFÍSICOS

REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS: EXPERIMENTO DE REFRACCIÓN SÍSMICA



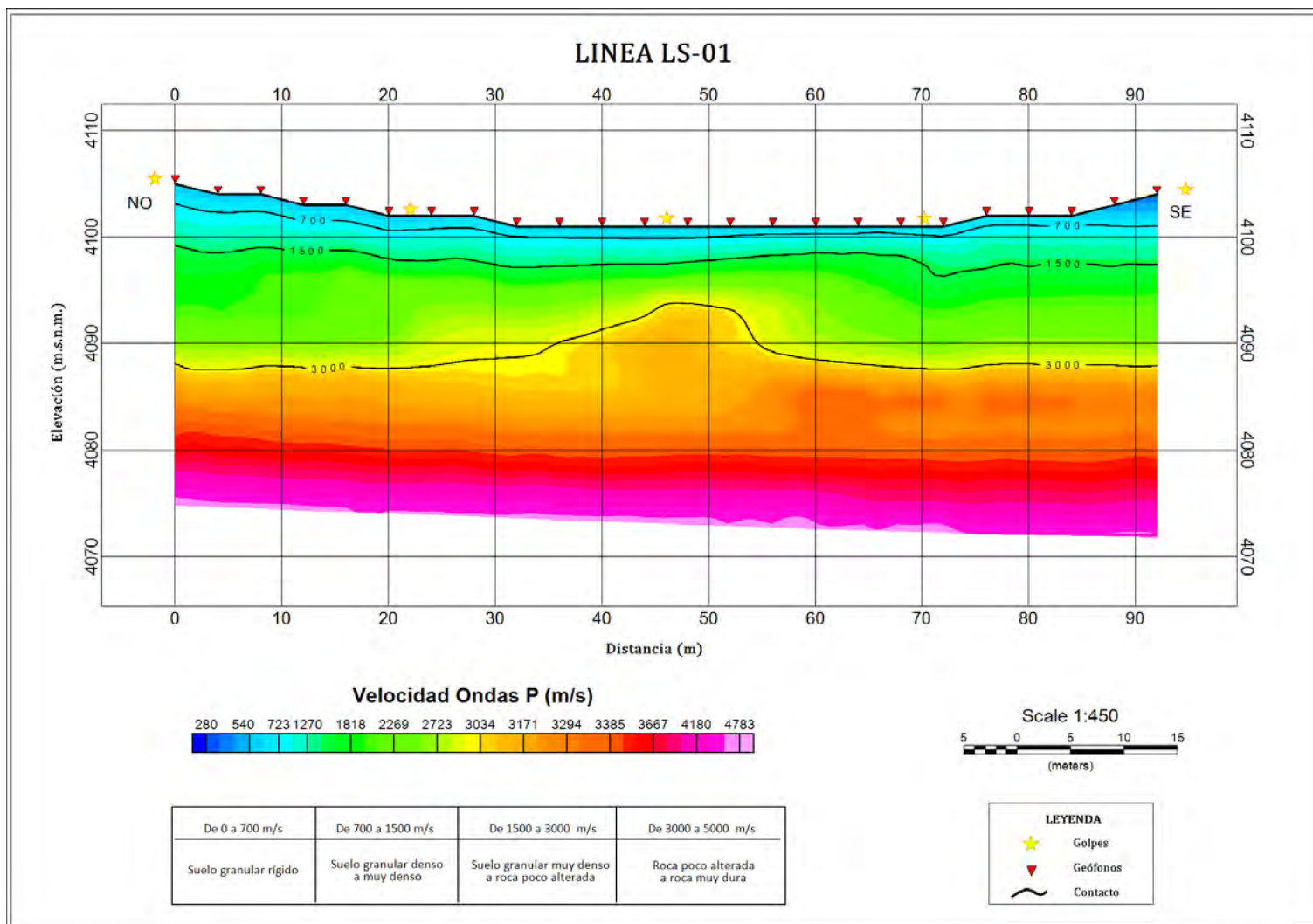


REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS - ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA



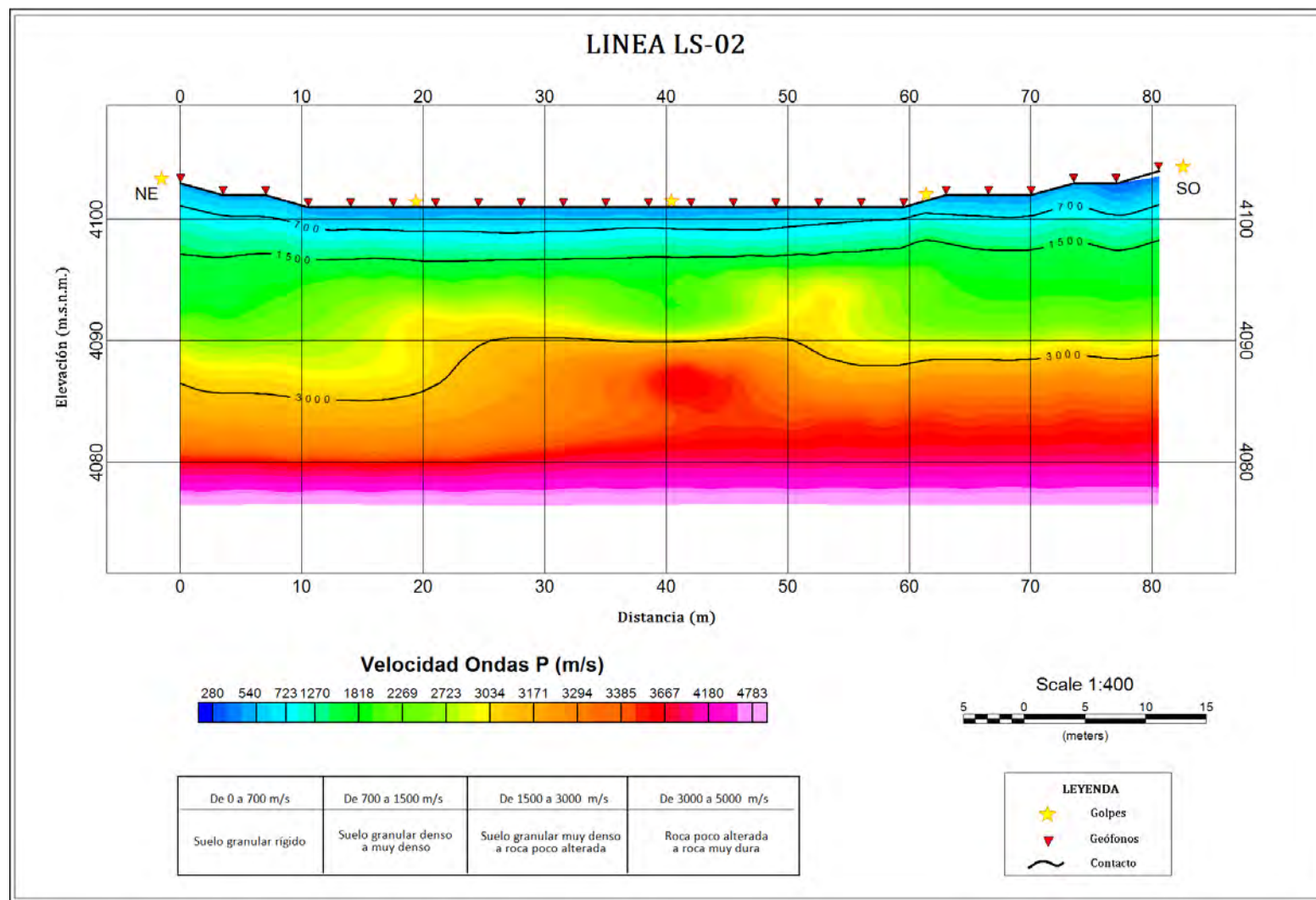


LINEA LS – 01



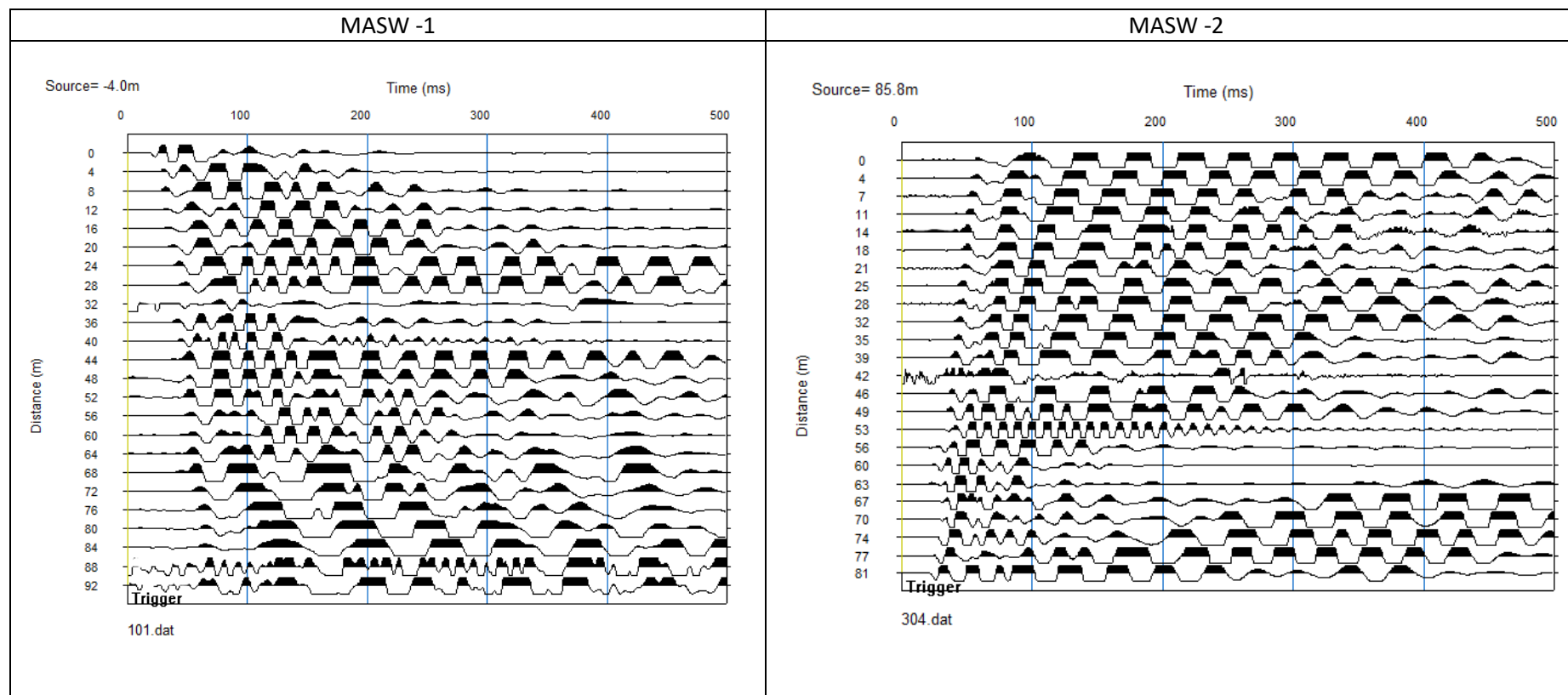


LINEA LS - 02



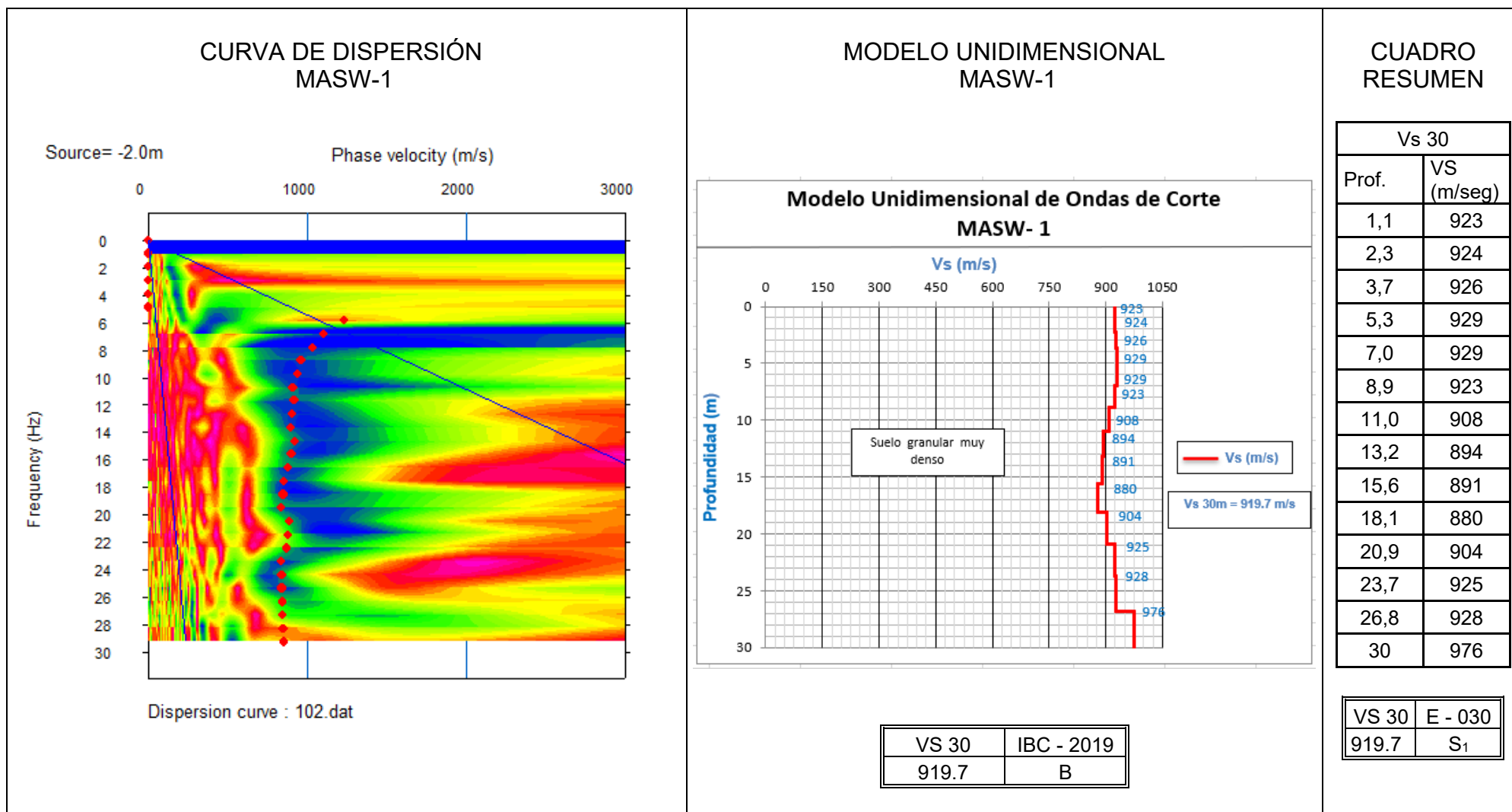


REGISTROS DE ONDAS SÍSMICAS - ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA



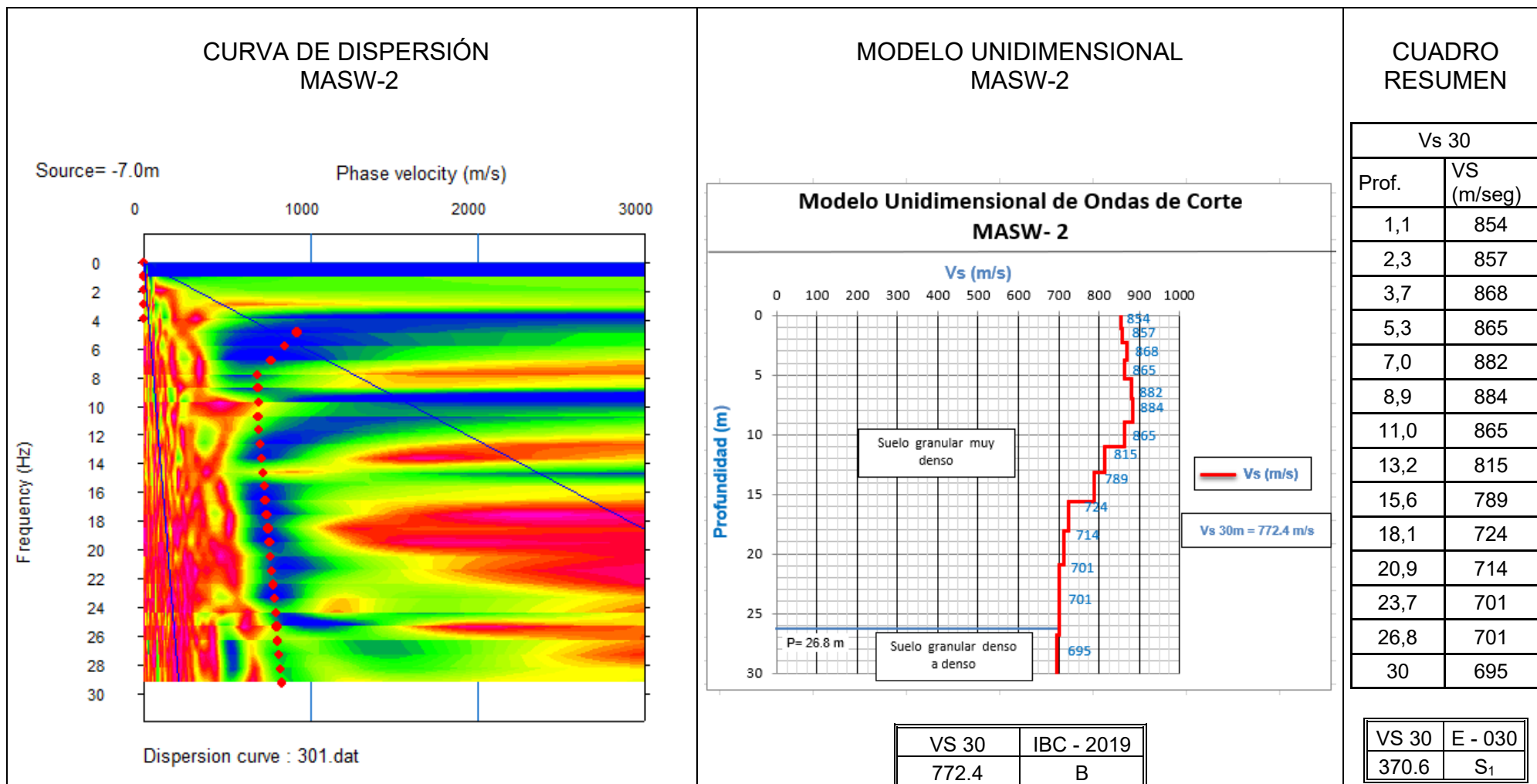


CURVA DE DISPERSIÓN- SONDAJES MASW - SONDAJES MASW – 1



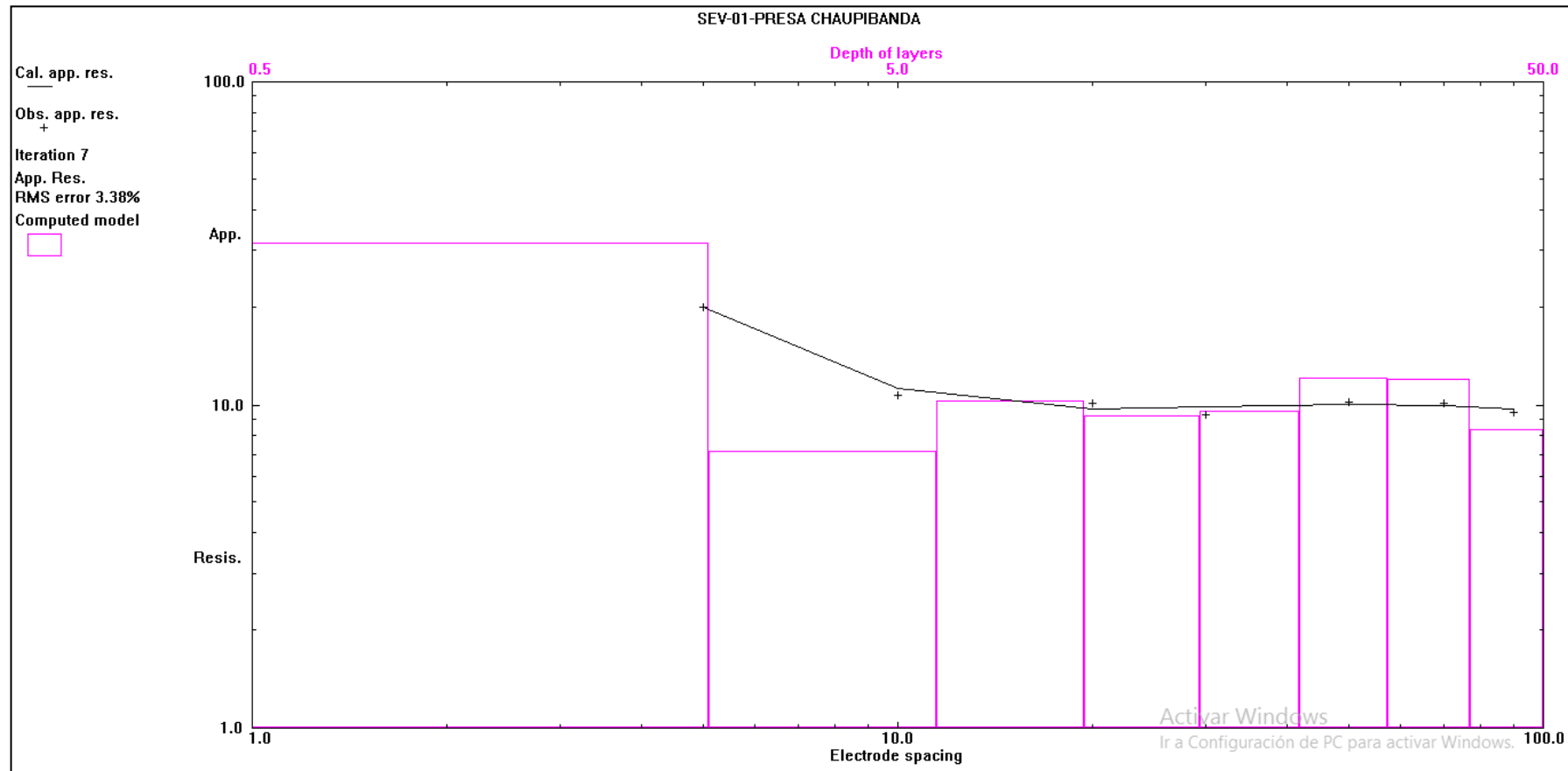


CURVA DE DISPERSIÓN- SONDAJES MASW - SONDAJES MASW – 2



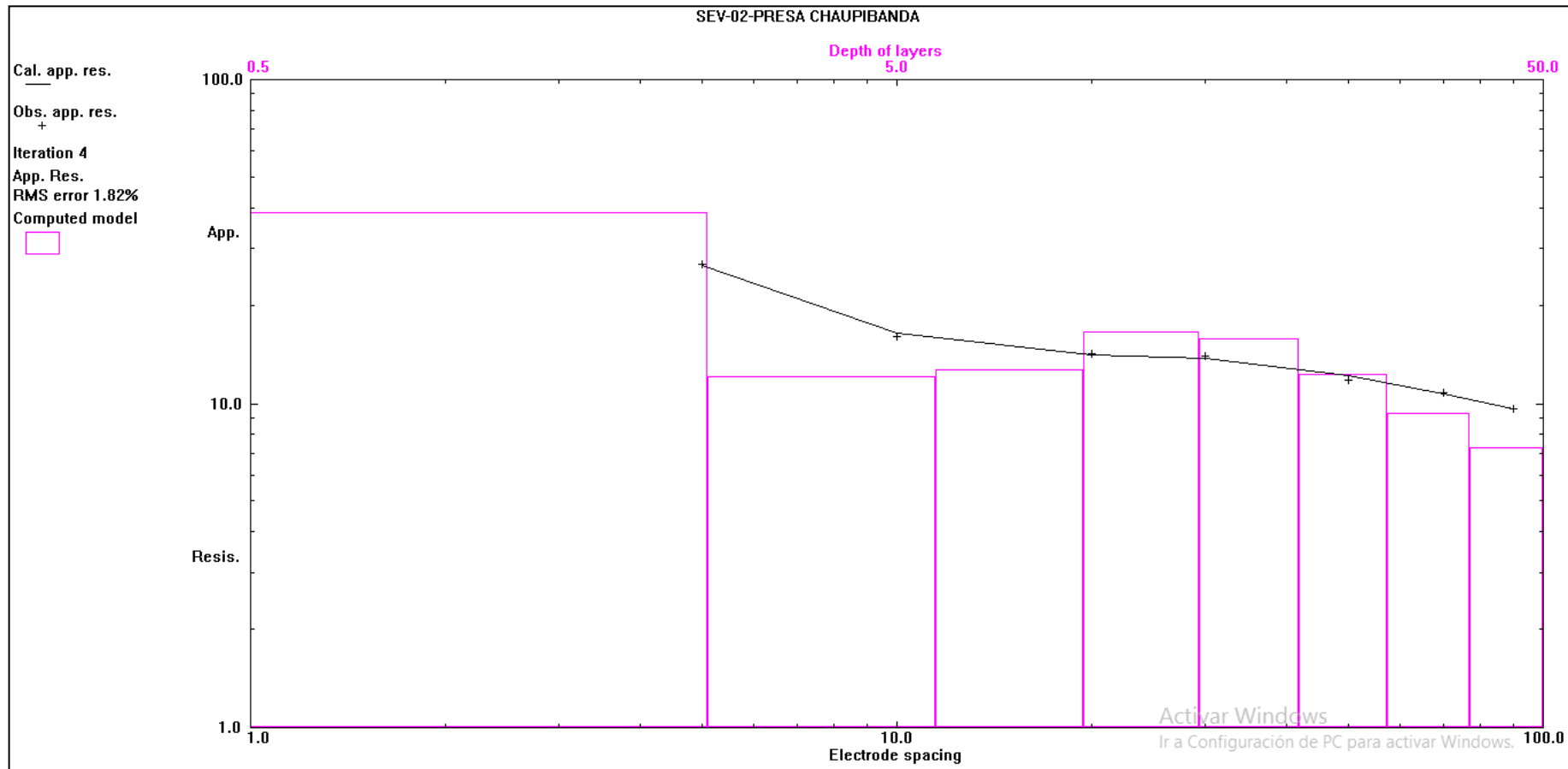


CURVAS DE INVERSIÓN DE RESISTIVIDAD



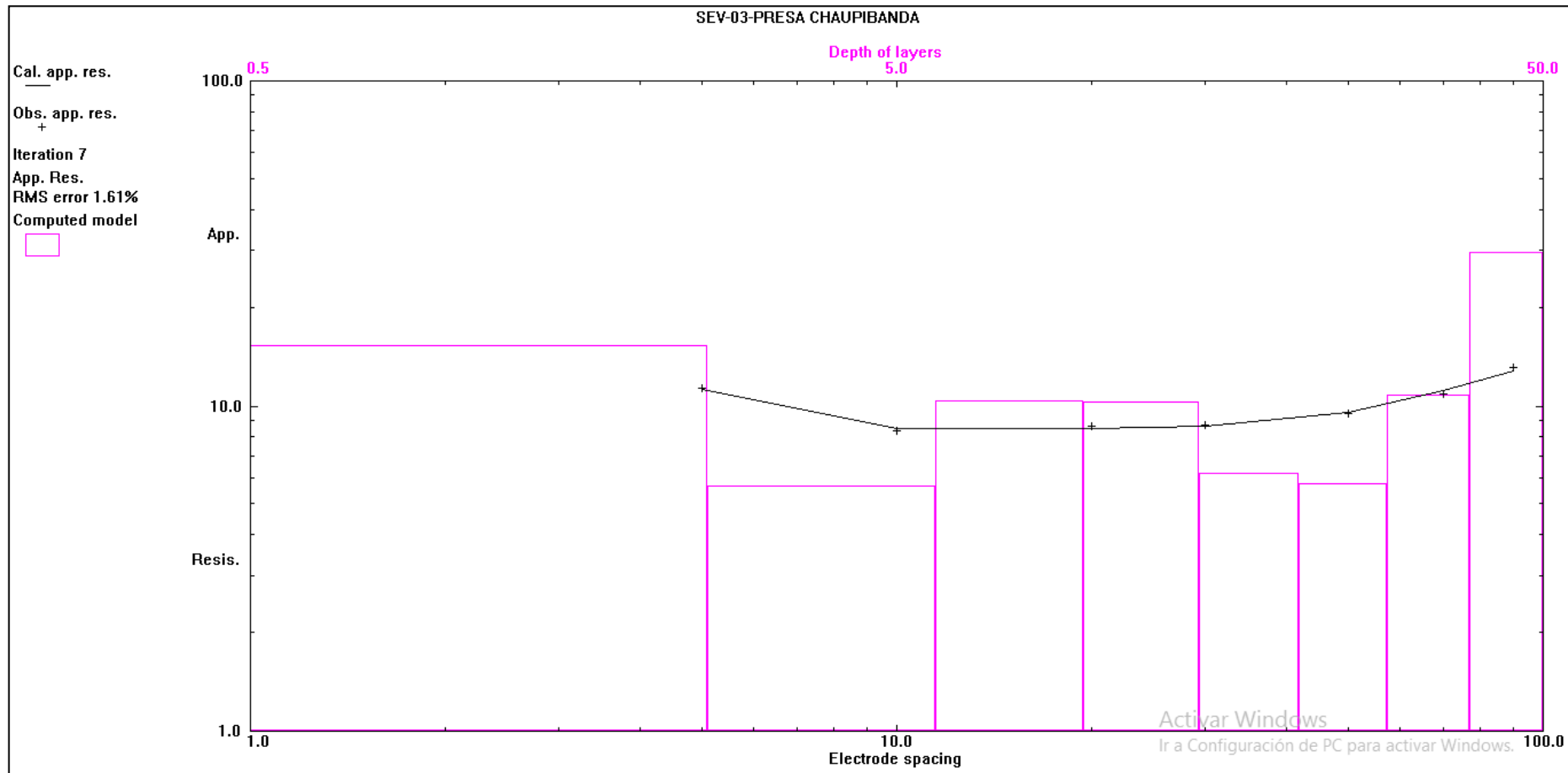


CURVAS DE INVERSIÓN DE RESISTIVIDAD



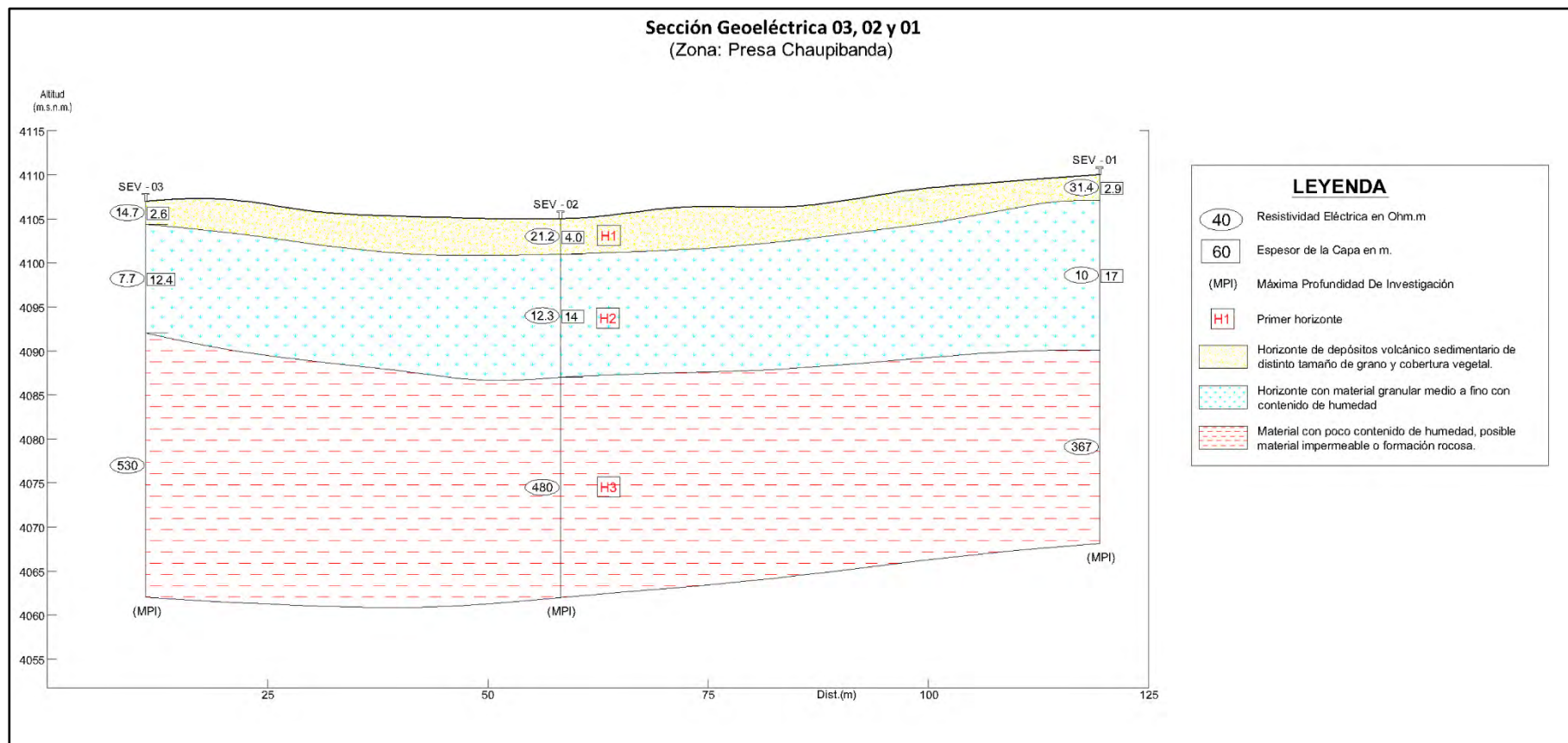


CURVAS DE INVERSIÓN DE RESISTIVIDAD





SECCION GEOELECTRICA 03, 02 Y 01



GEOFÍSICA – REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW - LS-01/MASW-1

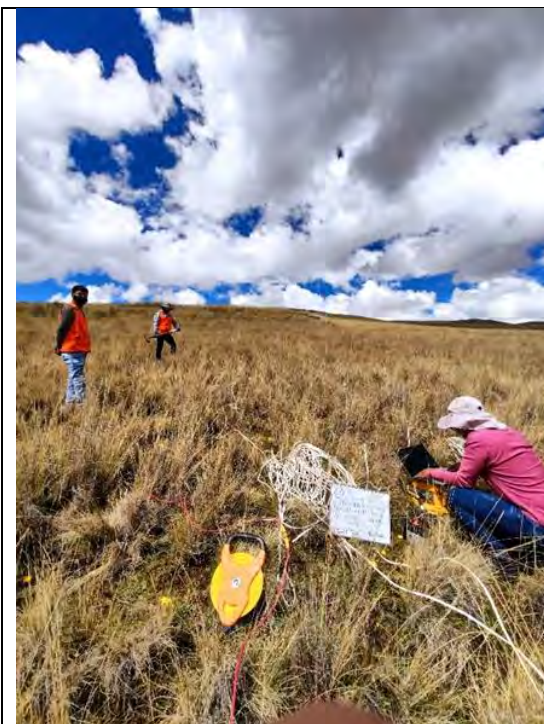


Foto 12: Registro de la data sísmica

ZONA: Chaupibanda – Quehue - Canas



Foto 13: Personal realizando el golpe para el shot

ZONA: Chaupibanda – Quehue - Canas

GEOFÍSICA – REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW - LS-02/MASW-2



Foto 14: Terreno donde se realizó el estudio y geófonos conectados al cable sísmico.

ZONA: Chaupibanda – Quehue - Canas

Foto 15: Registro de datos para la línea LS-02.

ZONA: Chaupibanda – Quehue - Canas

GEOFÍSICA – SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL - SEV-1

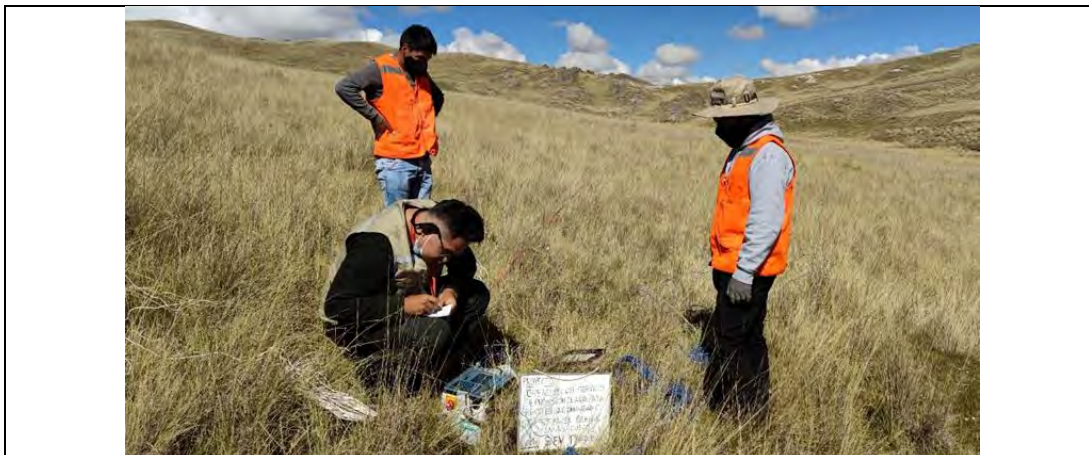


Foto 16: Registro de la Resistividad Aparente para el SEV-1

ZONA: Chaupibanda – Quehue - Canas

GEOFÍSICA – SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL - SEV-2



Foto 17: Terreno donde se realizó el estudio, cables de corriente y potencial conectados a los electrodos.

ZONA: Chaupibanda – Quehue - Canas

GEOFÍSICA – SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL - SEV-3



Foto 18: Registro de la Resistividad Aparente para el SEV-3

ZONA: Chaupibanda – Quehue - Canas

TABLAS RESUMEN DE ENSAYO GEOFÍSICO (REFRACCIÓN SÍSMICA Y MASW)

Tabla 99: Coordenadas UTM – Ensayos Geofísicos – Refracción Sísmica

LÍNEA	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
LS-01	Inicio	224298.00	8412817.00	4105
	Final	224355.00	8412755.00	4104
LS-02	Inicio	224292.00	8412761.00	4103
	Final	224356.00	8412808.00	4104

Tabla 100: Coordenadas UTM – Ensayos Geofísicos – Sondajes MASW

CÓDIGO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
MASW -1	224326.00	8412787.00	4105
MASW -2	224324.00	8412785.00	4105

Tabla 101: Coordenadas UTM – Ensayos Geofísicos – Sondaje Eléctrico Vertical

CÓDIGO	ESTE (m)	NORTE (m)	COTA (m)
SEV -1	224375.00	8412749.00	4110
SEV -2	224328.00	8412788.00	4105
SEV -3	224294.00	8412820.00	4108

Tabla 102: Longitud - Refracción Sísmica

LÍNEA	LONGITUD TOTAL	TIPO DE ONDA
LS-01	92	ONDA P
LS-02	80.5	ONDA P
TOTAL	172.5	



Tabla 103: Longitud – MASW

LÍNEA	LONGITUD TOTAL	TIPO DE ONDA
MASW-1	92	ONDA S
MASW-2	80.5	ONDA S
TOTAL	172.5	

Tabla 104: Resumen de los Ensayos de Velocidades de Ondas P – Refracción Sísmica

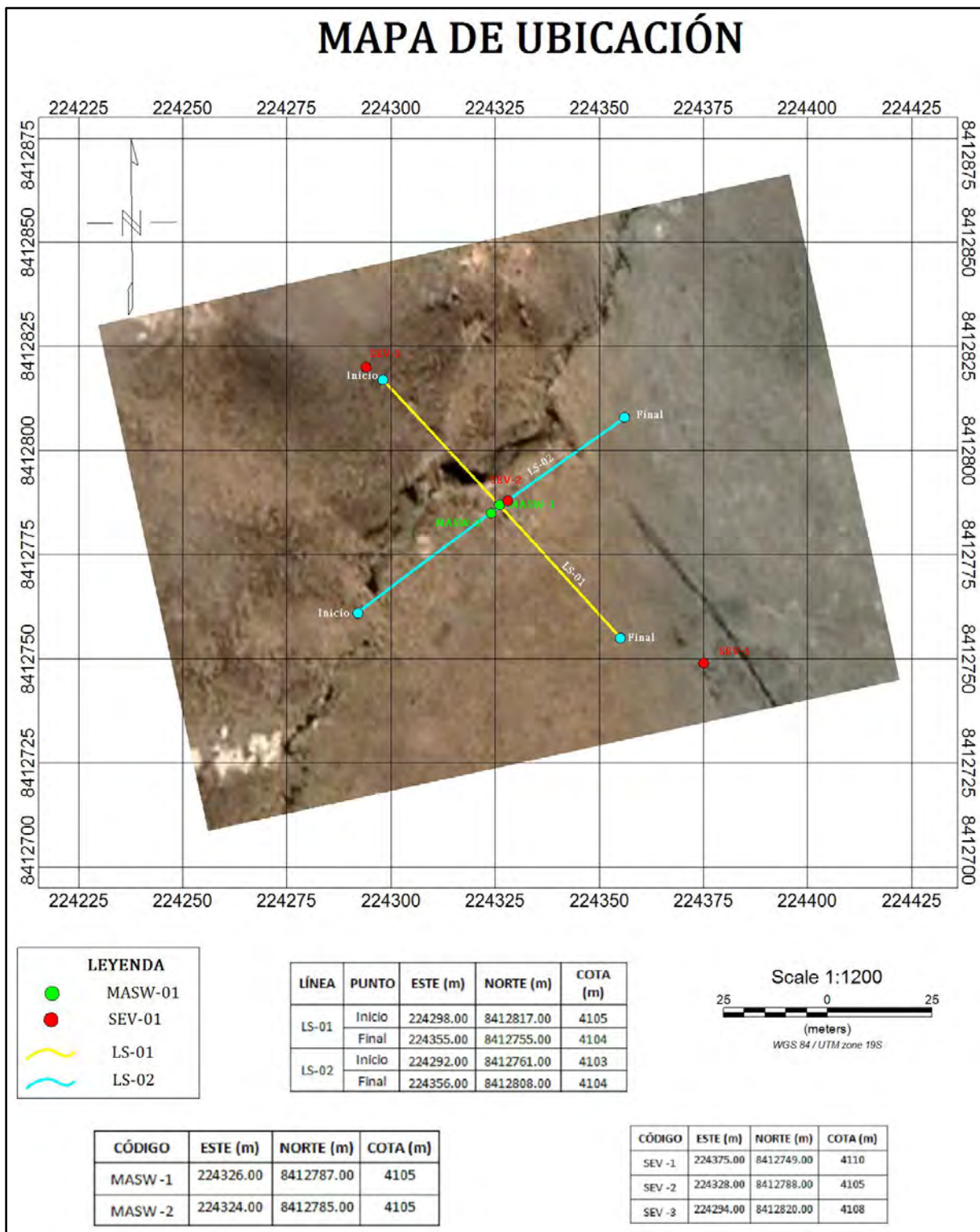
Línea	Estrato	Vp (m/s)	Espesor(m)	Descripción
LS-01	01	0 - 700	0.5 – 3.0	Suelo granular rígido
	02	700 - 1500	2.0 – 3.9	Suelo granular denso a muy denso
LS-02	03	1500 - 3000	3.8 – 11.1	Suelo granular muy denso a roca poco alterada
	04	3000 - 5000	12.9 – 20.8	Roca poco alterada a roca muy dura

Tabla 105: Resumen de los Ensayos de Velocidades de Ondas S – MASW

Línea	Estrato	Vs(m/s)	Espesor(m)	Prof.(m)	Descripción
MASW-1	01	923 - 976	30	30	Suelo granular muy denso
MASW-2	01	854 - 701	26.8	26.8	Suelo granular muy denso
	02	695	3.2	30	Suelo granular denso a denso

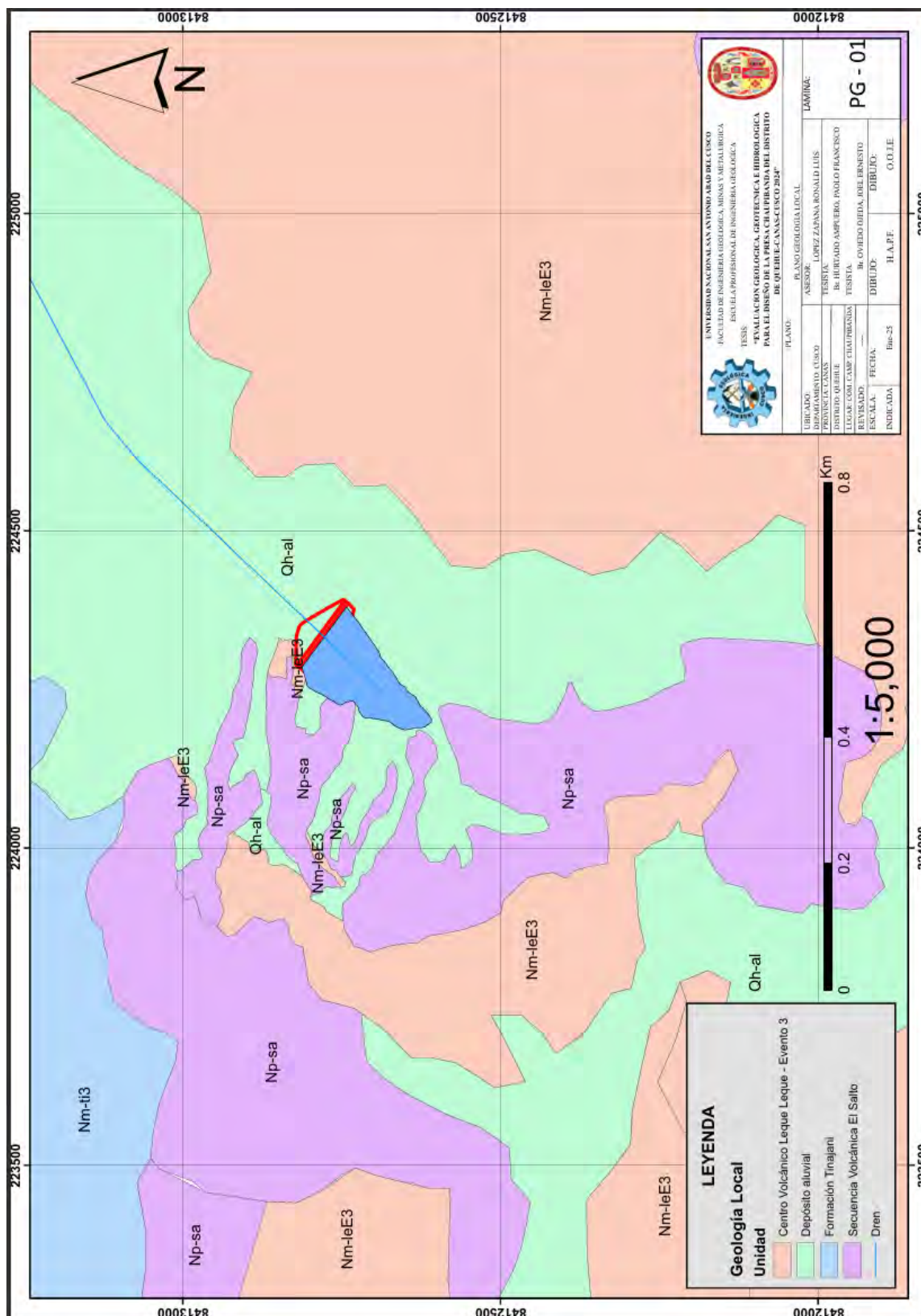


MAPA DE UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS GEOFISICOS

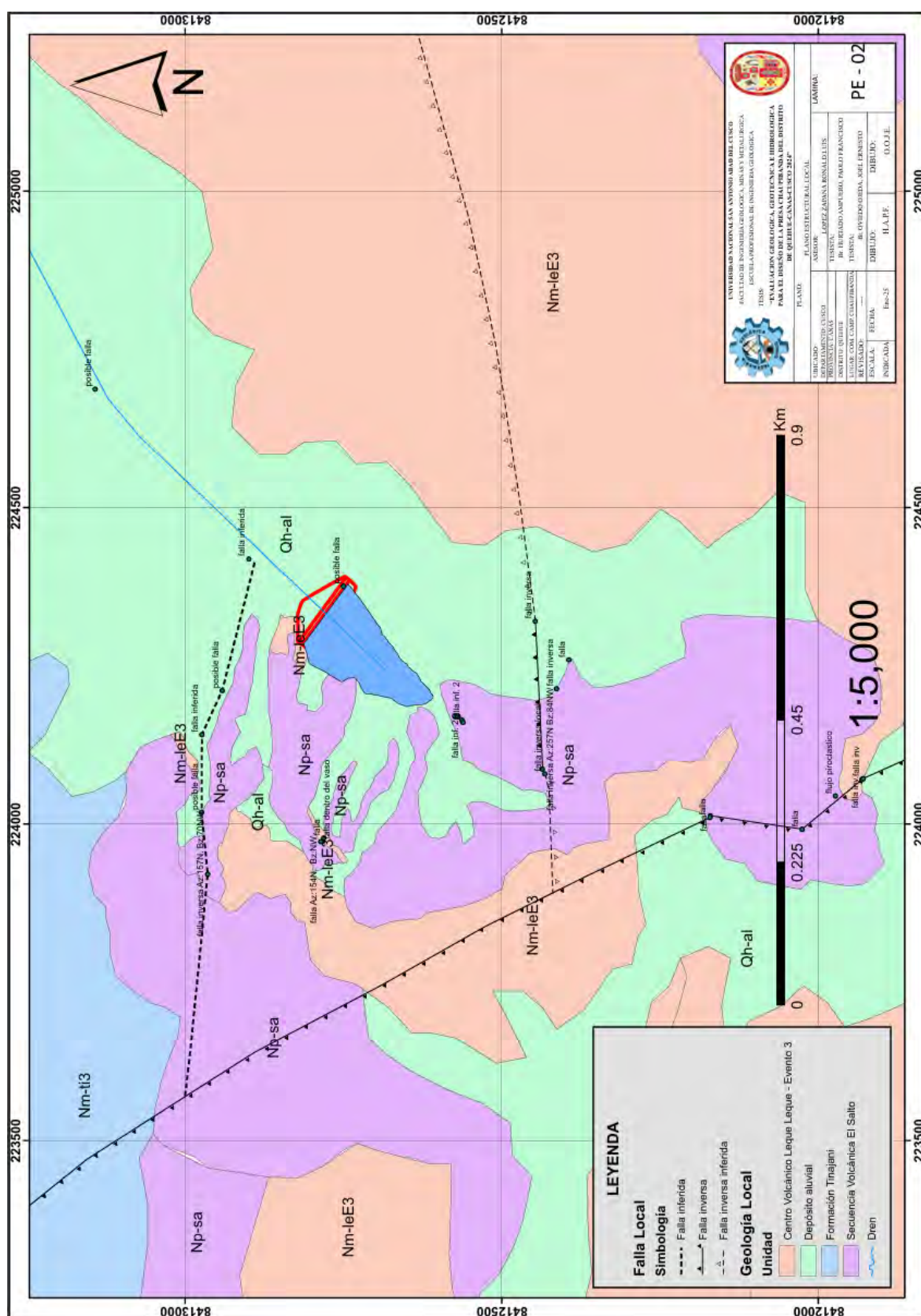




MAPA GEOLOGICO LOCAL

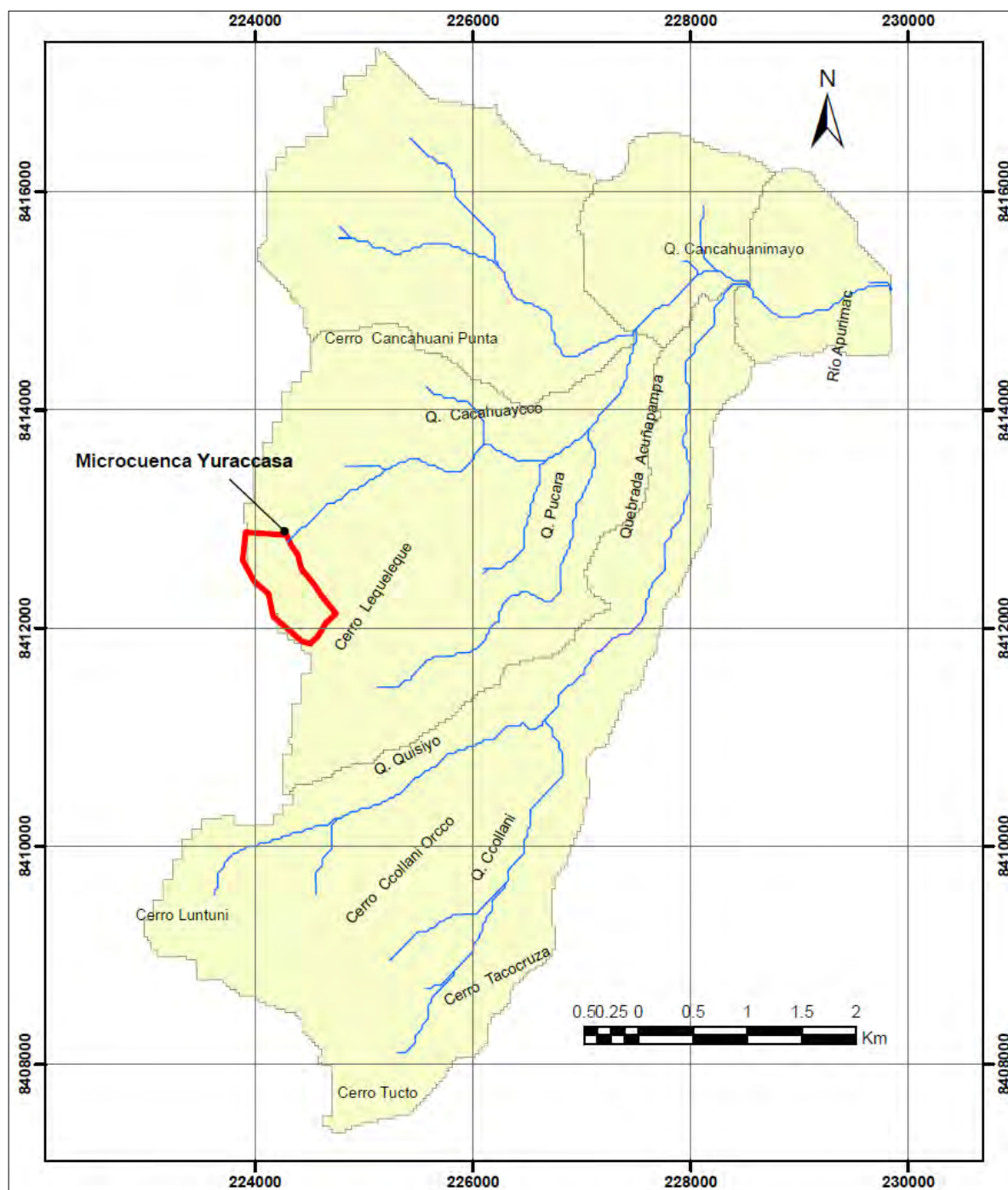


MAPA ESTRUCTURAL

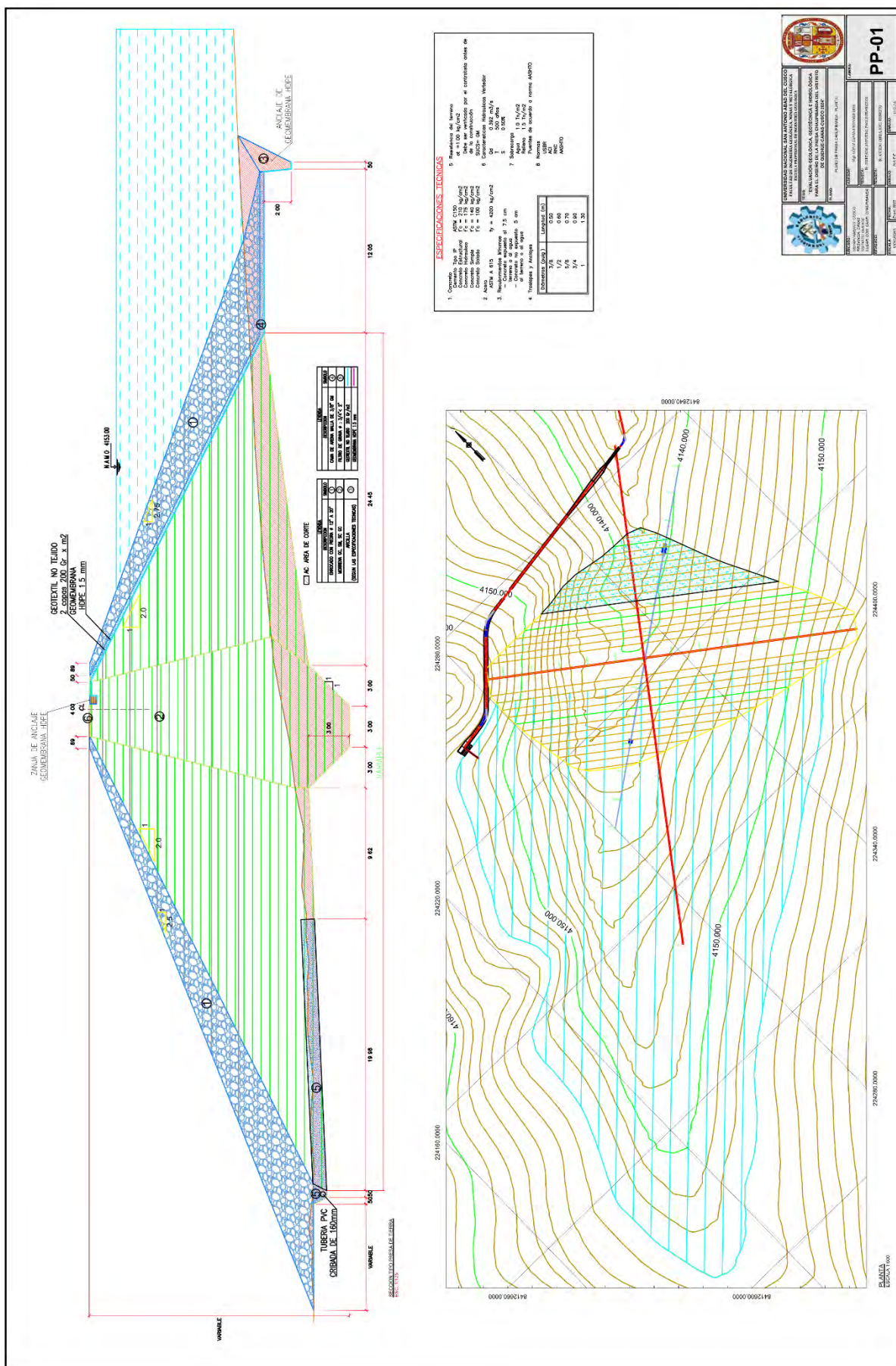




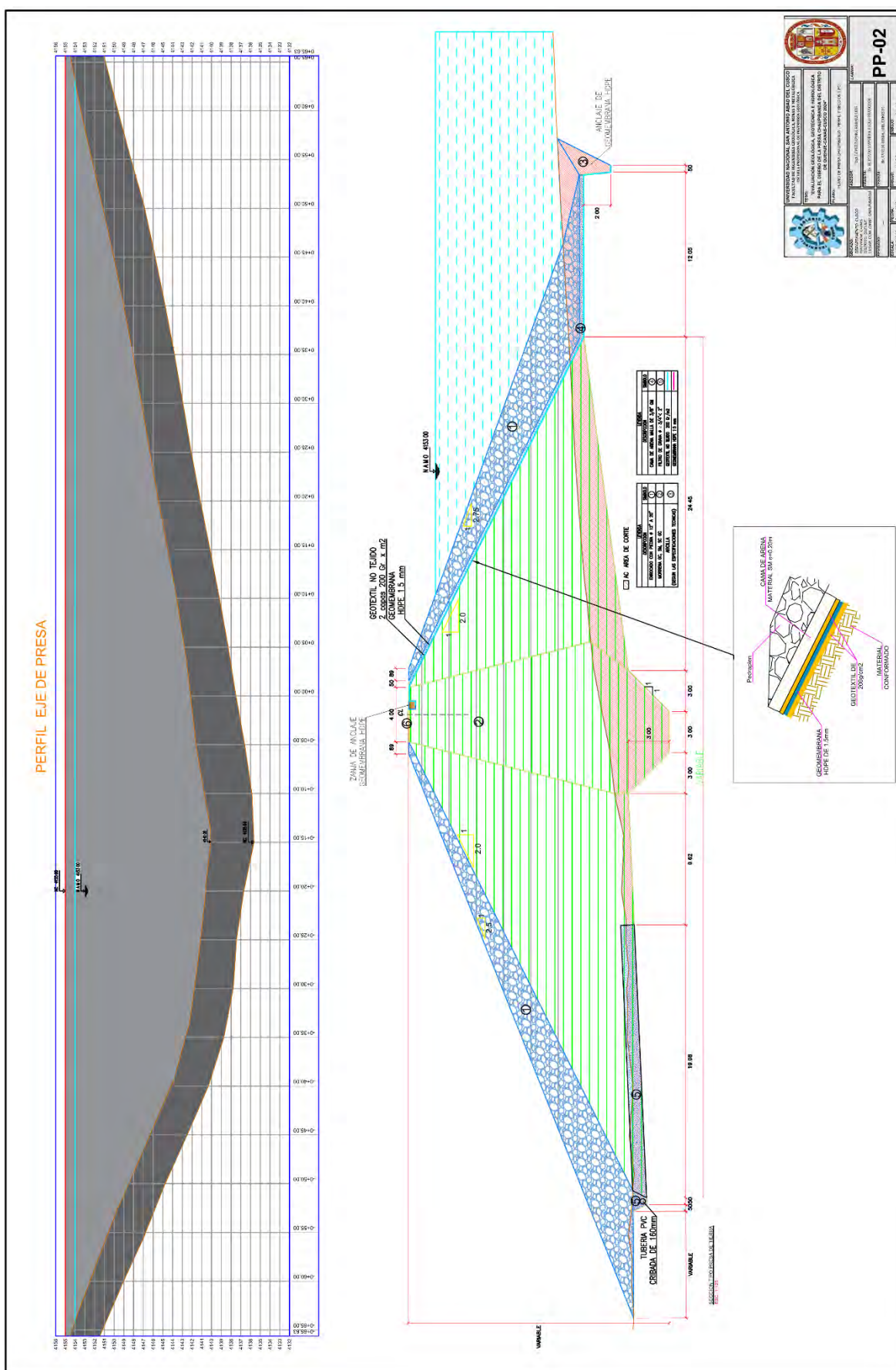
MAPA HIDROLOGICO



PLANO DE PRESA CHAUIBANDA - PLANTA

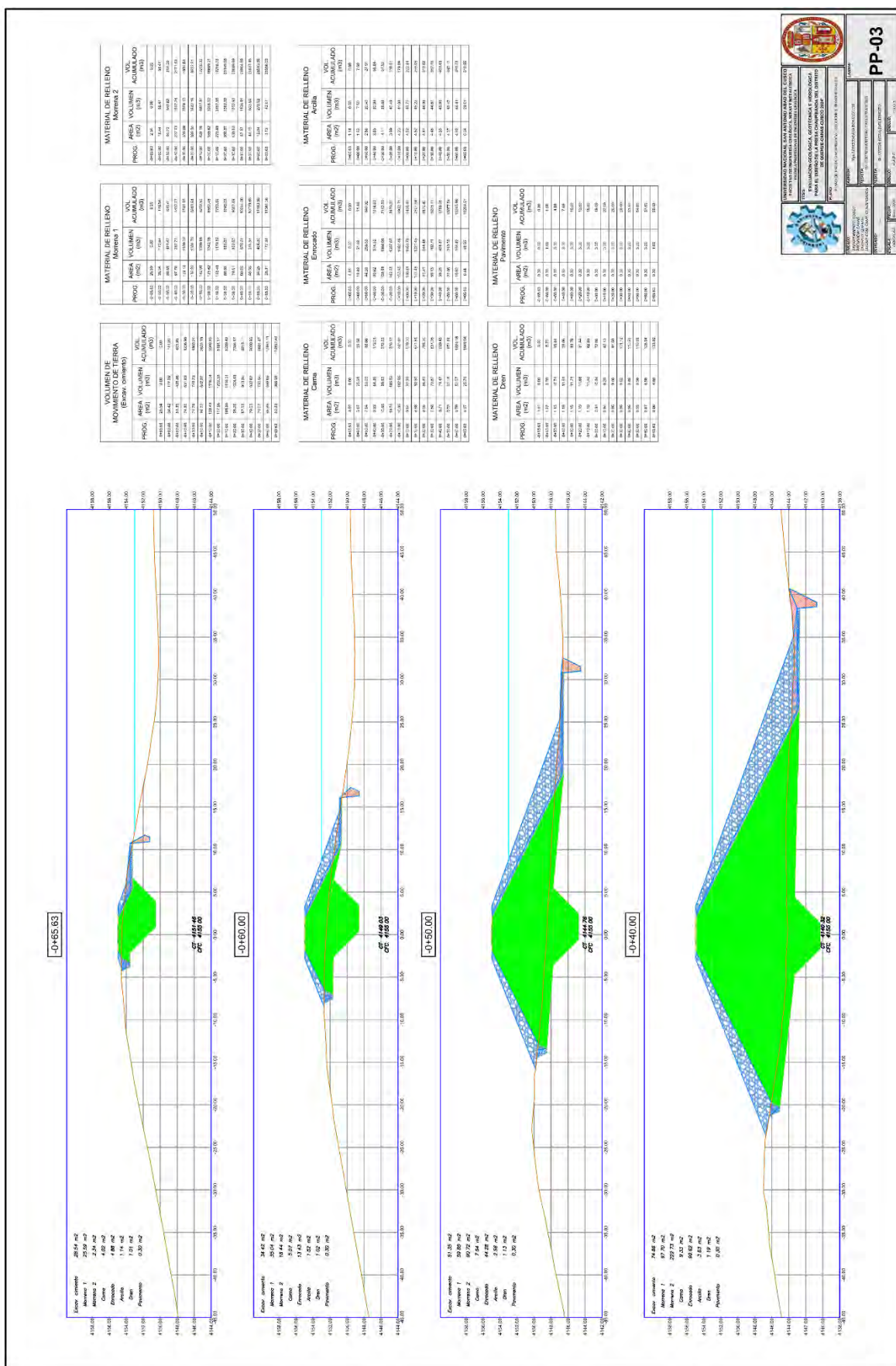


PLANO DE PRESA CHAUIBANDA - PERFIL Y SECCION TIPO



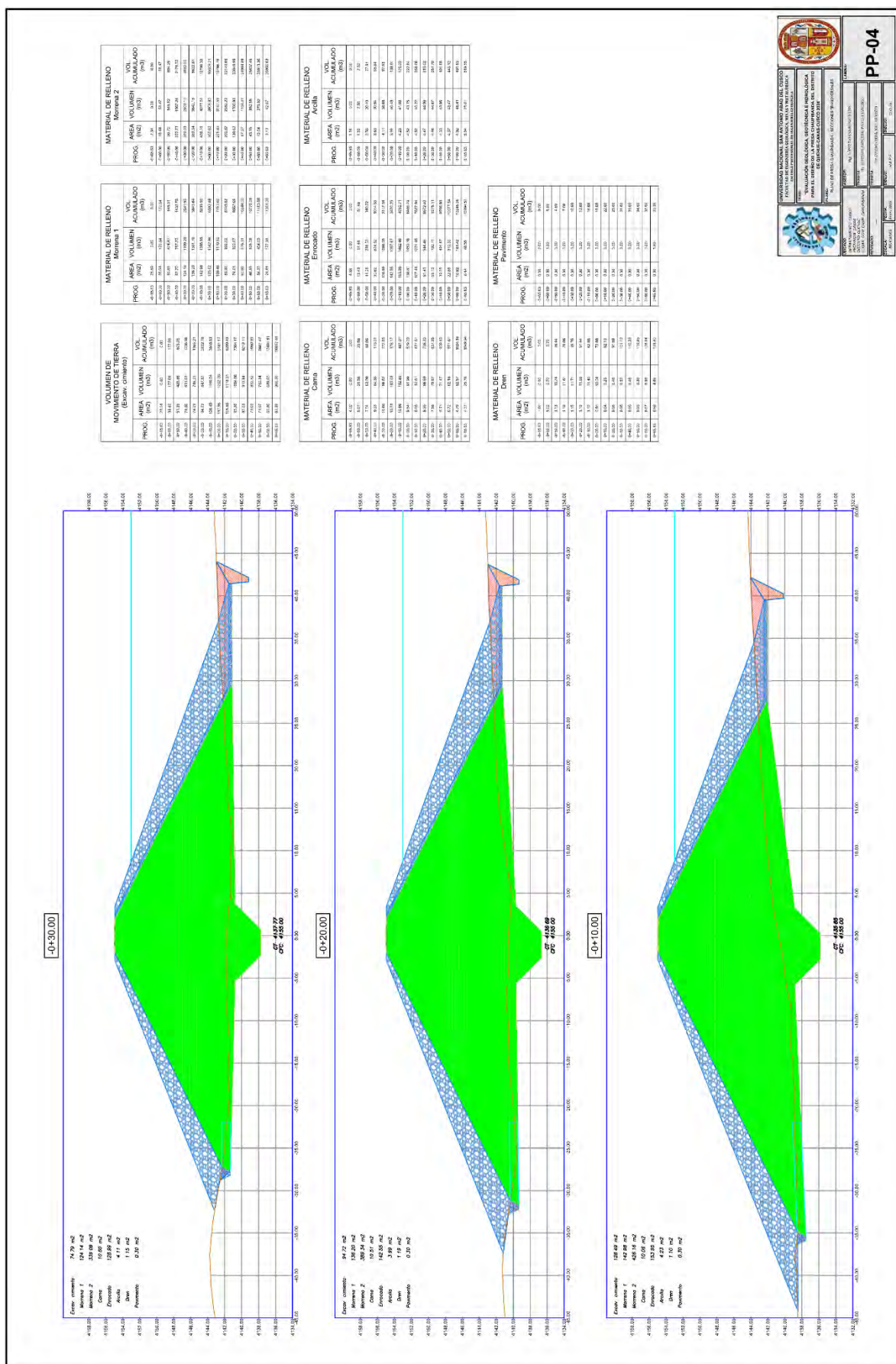


PLANO DE PRESA CHAUIBANDA - SECCIONES TRANSVERSALES - 1



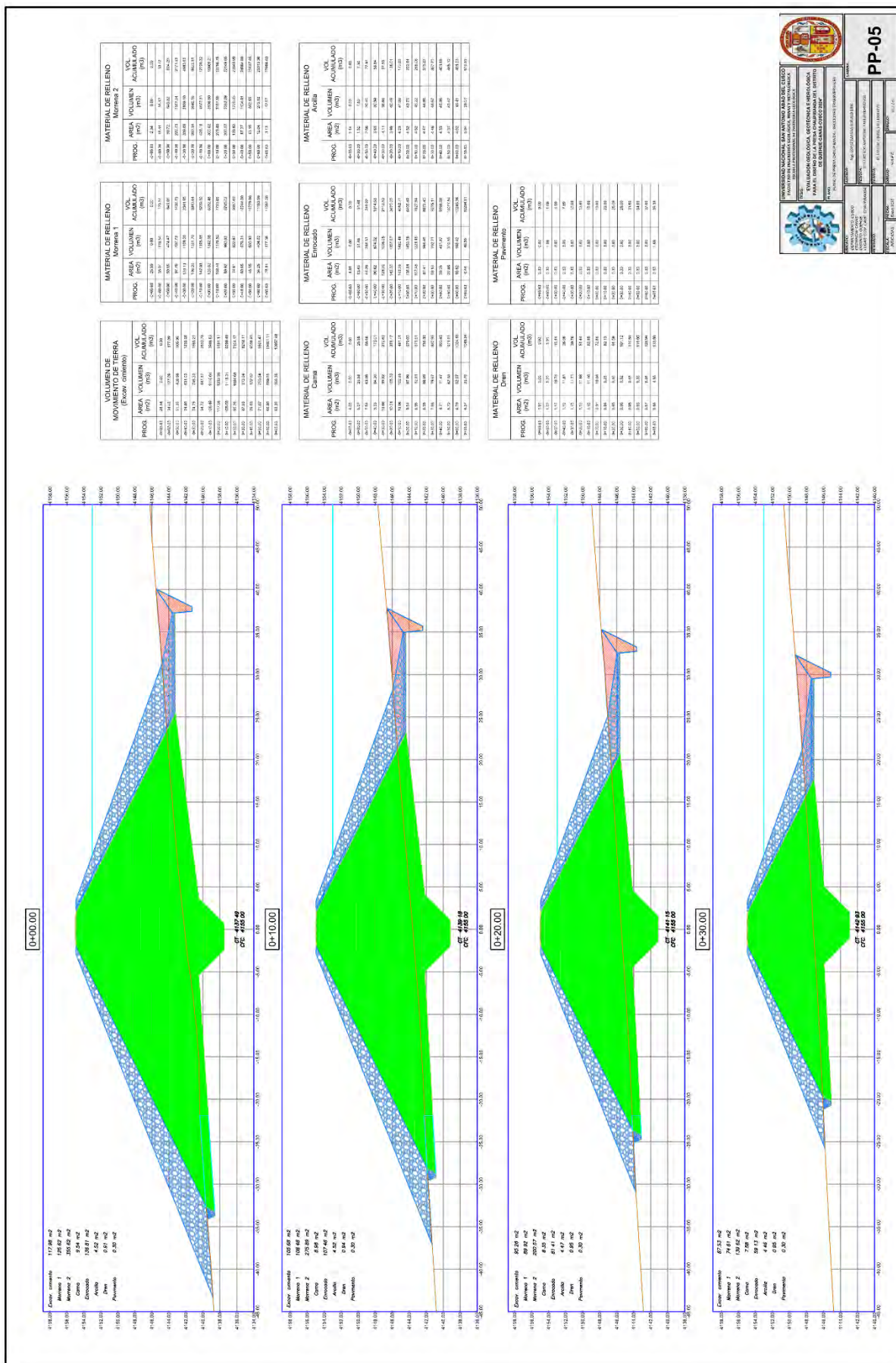


PLANO DE PRESA CHAUIBANDA - SECCIONES TRANSVERSALES - 2





PLANO DE PRESA CHAUIBANDA - SECCIONES TRANSVERSALES - 3



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAS DEL CUSCO

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Civil

PROYECTO: PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO

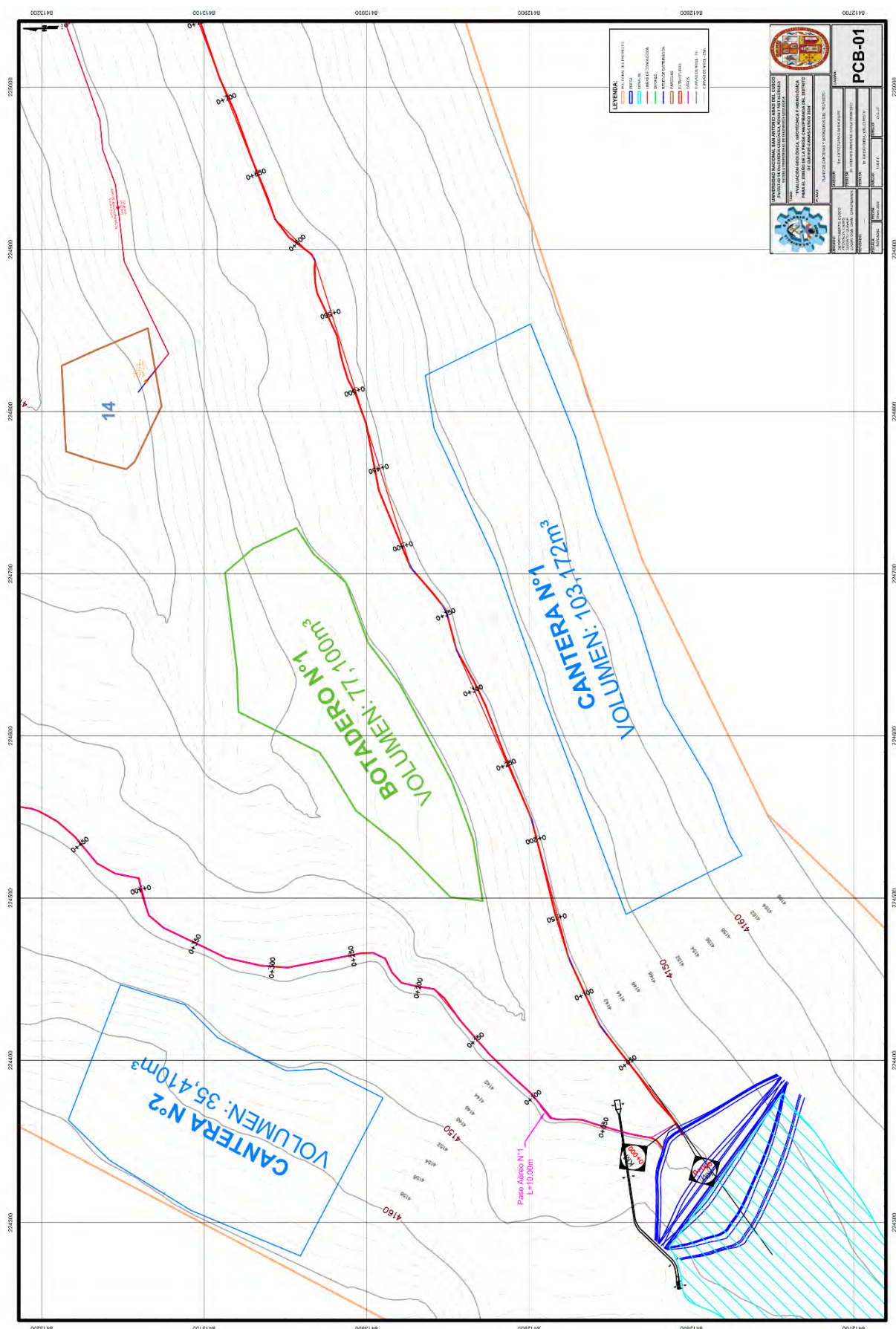
PARA EL DISEÑO DE LA PRESA CHAUIBANDA DEL DISTRITO DE QUEHUE-CANAS-CUSCO

PP-05

[illegible]



PLANO DE CANTERAS Y BOTADEROS DEL PROYECTO





PLANO DE PASE AEREO SIFON

