UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS

ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURÍMAC

PRESENTADO POR:
Br. LISBETH YABAR CASAFRANCA
Br. YENNYFER SOTOMAYOR MOLINA

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

ASESOR:
Dra. JOSEFINA ESCALANTE GUTIÉRREZ

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** Dra Josefina Escalante Gutierrez quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: "ESTUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO - LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC"

Presentado por: Lisbeth Yabar Casafranca DNI N° 48003064;
presentado por: Yennyfer Sotomayor Molina DNI N°: 76001629
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 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, 30 de Septiembre de 20.26

Firma
Post firma Josefina Escalante Gutierrez
Nro. de DNI 23809533
ORCID del Asesor 0000 - 0007 - 9359 - 0481

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259: 631426087

Yabar- Sotomayor

Estudio Geológico, Geotécnico e Hidrológico para la Ubicación del Puente Choccoyo- Llamahuire de la Comunidad de Chocco...

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:631426087

Fecha de entrega
28 sep 2026, 9:01 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
28 sep 2026, 9:12 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
Tesis Yabar- Sotomayor(1).pdf

Tamaño del archivo
2.3 MB

291 páginas

58.243 palabras

333.323 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 25 palabras)
- Fuentes de Internet
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

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

Caracteres reemplazados
124 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Texto oculto
321 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación, con todo mi amor y gratitud, a mi querida mamá, Sila Casafranca de Yabar, por su amor incondicional, sus enseñanzas y su apoyo constante a lo largo de mi vida. A mis queridas hermanas y sobrinas, por ser parte fundamental de mi vida, brindarme su cariño y motivarme a seguir adelante para alcanzar mis metas. En especial, a mi amado sobrino Juber Elías Torres Yabar, por ser una de mis mayores motivaciones e inspiraciones para culminar este trabajo de investigación. Con todo mi cariño, les dedico este logro, porque cada uno de ustedes forma parte de este camino y de este sueño hecho realidad.

Lisbeth Yabar Casafranca

La presente tesis está dedicada a mi madre, Evangelina Molina Guevara, por ser mi guía, mi ejemplo de fortaleza y la luz que iluminó mi camino en cada momento de duda. Gracias por tus oraciones, tu amor incondicional y por enseñarme a nunca rendirme. Este logro es tan tuyo como mío.

A mi hija, Rayza Cataleya Silva Sotomayor, el regalo más grande de mi vida y mi mayor inspiración. Todo el esfuerzo, las desveladas y el sacrificio han sido por y para ti, con el deseo de dejarte un ejemplo de superación y demostrarte que con amor y determinación no existen imposibles. Las amo profundamente.

Yennyfer Sotomayor Molina

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco A la escuela profesional de Ingeniería Geológica.

A nuestra asesora de tesis Dra. Josefina Escalante Gutiérrez por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso de investigación.

Lisbeth Yabar Casafranca

Yennyfer Sotomayor Molina

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar los parámetros geomorfológicos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos, hidráulicos y geofísicos que condicionan la localización óptima del puente Choccoyo–Llamahuire, en la comunidad de Choccoyo, distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, región Apurímac.

La metodología comprendió trabajos de gabinete y campo, cartografiado geológico-geomorfológico, dos calicatas con ensayos de laboratorio, prospecciones geofísicas mediante refracción sísmica, MASW, tomografía eléctrica y potencial espontáneo, y modelamiento hidrológico-hidráulico con HEC-HMS y HEC-RAS para periodos de retorno de 200 y 500 años. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre estribos: el derecho presenta roca de buena calidad (RMR = 67), mientras que el izquierdo se apoya en suelo SM, con capacidad admisible de 1,3 kg/cm² y nivel freático superficial. Se estimó un asentamiento diferencial de 1,66 cm.

El análisis hidráulico determinó un caudal máximo de 6,513 m³/s, un ancho estable de cauce de 13 m y una socavación total de 0,84 m. La geofísica clasificó el sitio como S1, con velocidades Vs30 superiores a 500 m/s. Se concluye que el emplazamiento es geotécnicamente viable, condicionado al tratamiento diferenciado de las cimentaciones, la consideración del asentamiento diferencial, la protección contra la socavación y la ejecución de estudios complementarios en el estribo izquierdo.

Palabras clave: Caracterización geomecánica, Capacidad admisible, Asentamiento diferencial, Socavación.

ABSTRACT

This study aimed to determine the geomorphological, geological, geotechnical, hydrological, hydraulic, and geophysical parameters influencing the optimal location of the Choccoyo–Llamahuire Bridge in the community of Choccoyo, Challhuahuacho District, Cotabambas Province, Apurímac Region, Peru.

The methodology included office and fieldwork, geological and geomorphological mapping, two test pits with laboratory tests, geophysical surveys using seismic refraction, MASW, electrical resistivity tomography, and self-potential, as well as hydrological and hydraulic modeling using HEC-HMS and HEC-RAS for return periods of 200 and 500 years. The results revealed significant differences between the abutments: the right abutment consists of good-quality rock (RMR = 67), whereas the left abutment rests on SM soil, with an allowable bearing capacity of 1.3 kg/cm² and a shallow groundwater table. Differential settlement was estimated at 1.66 cm.

Hydraulic analysis determined a maximum discharge of 6.513 m³/s, a stable channel width of 13 m, and total scour of 0.84 m. Geophysical surveys classified the site as S1, with Vs30 velocities exceeding 500 m/s. The study concludes that the site is geotechnically suitable for bridge construction, provided that differentiated foundation treatments, differential settlement considerations, scour protection measures, and supplementary investigations at the left abutment are implemented.

Keywords: Geomechanical characterization, Allowable bearing capacity, Differential settlement, Scour.

INDICE

DEDICATORIA 2

AGRADECIMIENTO 3

RESUMEN 4

ABSTRACT 5

Capítulo I 23

Información general 23

1.1. Localización 23

1.1.1. Localización Política 23

1.1.2. Localización Geográfica 23

1.2. Acceso al sector de Estudio 24

1.3. Planteamiento Del Problema 26

1.3.1. Descripción del Problema 26

1.3.2. Formulación del Problema General 26

1.3.3. Formulación de Problemas Específicos 26

1.4. Objetivos 27

1.4.1. Objetivo General 27

1.4.2. Objetivos Específicos 27

1.5. Hipótesis 27

1.5.1. Hipótesis General 27

1.5.2. Hipótesis Especificas 27

1.6. Importancia y Justificación 28

1.7. Variables e Indicadores de Investigación 28

1.7.1. Variables Independientes 28
1.7.2. Variables Dependientes 28
1.7.3. Indicadores 29
1.8. Tipo y nivel de investigación 29
1.8.1. Tipo de investigación 29
1.8.2. Magnitud de investigación 29
1.9. Diseño de investigación 30
1.10. Población y muestra 30
1.10.1. Población 30
1.10.2. Muestra 30
1.11. Fases de Elaboración del Estudio 30
1.11.1. Fase de pre Campo 30
1.11.2. Etapa de Campo 31
1.11.3. Etapa de Gabinete 31
1.12. Antecedentes 33
1.12.1. Antecedentes de Investigación Regionales 33
1.12.2. Antecedentes de Investigación Nacionales 34
1.12.3. Antecedentes de Investigación Internacionales 36
1.13. Marco Normativo 37
Capítulo II 38
Geológico y Conceptual 38
2.1. Marco teórico 38
2.1.1. Puente 38

2.1.2. Contexto Geotectónico Regional 38
2.1.3. Depósitos Cuaternarios 38
2.2. Caracterización Geotécnica 38
2.2.1. Estudios geotécnicos en puentes 38
2.2.2. Capacidad de carga 40
2.2.3. Capacidad portante o resistencia de suelos 40
2.2.4. Peso Unitario de un Suelo 40
2.2.5. Sistema de clasificación de suelos 41
2.2.6. Compresión Simple en Rocas 41
2.2.7. Peso Unitario de una Roca 41
2.2.8. Clasificaciones geomecánicas 41
2.3. Hidrología 42
2.3.1. Precipitación 42
2.3.2. Cuenca Hidrográfica 42
2.3.3. Parámetros morfométricos de una cuenca 43
Capítulo III 44
Geomorfología 44
3.1. Geomorfología Regional 44
3.1.1. Abanico de Piedemonte (Ab) 45
3.1.2. Montaña en roca sedimentaria (RM-rs) 46
3.1.3. Vertiente o Piedemonte Coluvio – Deluvial (V-cd) 47
3.2. Geomorfología Local 49
3.2.1. Cauce de drenaje (CdD) 49

3.2.2. Terrazas (Trz) 49
3.2.3. Llanuras de Inundación (LlIn) 49
3.2.4. Laderas de Montaña (LdM) 49
3.2.5. Cima de montaña (Ci-M) 50
3.3. Pendientes 53
3.3.1. Pendiente Llano a inclinado de 0°a 5° 53
3.3.2. Pendiente Moderadamente Empinado de 5°a 15° 53
3.3.3. Pendiente Empinado de 15°a 25° 53
3.3.4. Pendiente Fuertemente Empinado de 25°a 45° 53
3.3.5. Pendiente Escarpado >45° 53
3.4. Geomorfología y Dinámica Fluvial Local del Sitio del Puente 56
Capítulo IV 59
Geología 59
4.1. Geología Regional 59
4.1.1. Formación Gramadal (Js-g) 60
4.1.2. Formación Labra (Js-l) 60
4.1.3. Depósito aluvial (Qh-al) 60
4.2. Geología Local 64
4.2.1. Depósitos Fluviales (Q-flv) 65
4.2.2. Depósitos Coluviales (Q-Co) 66
4.2.3. Depósitos Lacustres (Q-Lcs) 67
4.2.4. Areniscas (Arn) 68
4.2.4.1. Litoarenitas (Lm-Arn) 68

4.2.4.2. Grauvacas Líticas (Arn-GwLi) 69
4.2.4.3. Arcosas (Arn-Arc) 70
4.2.4.4. Cuarzoarenitas (Arn-Qz) 70
4.2.5. TUFF de Ceniza y Lapilli (T-CL) 71
4.3. Geología Estructural 74
4.4. Geología Estructural Local 75
4.4.1. Estratificaciones (S) 75
4.4.2. Fallas (F) 78
4.5. Hidrogeología Local 79
Capítulo V 82
Hidrología de Máximas Avenidas e Hidráulica 82
5.1. Condiciones Climatológicas 82
5.1.1. Régimen Pluviométrico Mensual. 83
5.2. Ubicación Hidrográfica 83
5.3. Evaluación de la Información Meteorológica 83
5.4. Área del Proyecto - Infraestructura Crítica 85
5.5. Parámetros Morfométricos de las Microcuencas de Estudio 86
5.6. Selección del periodo de retorno 92
5.7. Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos 95
5.7.1. Selección de la información de precipitaciones máximas 24 horas 95
5.7.2. Outlier (Prueba de datos dudosos) de información de precipitación 96
5.7.3. Análisis de la información pluviométrica 102
5.2.3.1. Modelos de distribución 102

5.2.3.2. Pruebas de Bondad de Ajuste (Kolmogorov Smirnov) 102

5.8. Determinación de Precipitaciones Máximas en 24 Horas para diferentes periodos de Retorno en el Punto de Interés 119

5.9. Determinación de la Tormenta de Diseño 123

5.9.1. Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia 123

5.10. Obtención de los Caudales Máximos de Diseño 137

5.10.1. Hidrograma unitario sintético del SCS 138

5.10.2. Cálculo de la Curva Numero (CN) – Método NVDI 139

5.10.3. Estimación de los Caudales Máximos de Diseño de las Microcuencas de estudio 142

5.11. Metodología y Procedimiento en Modelamiento Hidráulico 156

5.11.1. Descripción del área de estudio 156

5.11.2. Caudales de diseño 156

5.11.3. Coeficientes de rugosidad de Manning 157

5.11.4. Simulación de Cauce 164

5.11.4.1. Modelamiento 2D 164

5.11.4.2. Modelamiento 1D 170

5.12. Cálculo de Ancho Estable 180

5.12.1. Método de Petits 180

5.12.2. Método de Simons y Henderson 180

5.12.3. Método de Blench y Altunin 180

5.12.4. Método de Manning Strickler 181

5.13. Socavación en Estructuras Hidráulicas 183

5.13.1. Cálculo de la Socavación General 183
5.13.2. Para suelos granulares 185
5.13.3. Para suelos cohesivos 186
5.13.4. Cálculo de socavación general por sectores (Método de Lischtvan – Levediev) 189
5.13.5. Socavación general – Puente Choccoyo 192
5.13.6. Socavación por Contracción — Método de Straub/Laursen 193
5.13.7. Socavación en Estribos — Método de Artamonov 194
5.13.8. Efecto del Esviaje del Cruce sobre la Socavación 195
Capítulo VI 196
Geofísica 196
6.1. Método Sísmico 196
6.1.1. Refracción sísmica 196
6.1.2. MASW (Análisis multicanal de Ondas Superficiales) 197
6.2. Interpretación de los resultados sismicos obtenidos 198
6.2.1. Criterios de análisis 198
6.2.1.1. Densidad (gr/cm3) 199
6.2.1.2. Onda de corte normalizada 199
6.2.1.3. Coeficiente de poisson 199
6.2.1.4. Módulo de corte dinámico 199
6.2.1.5. Módulo de Young dinámico 199
6.2.1.6. Módulo de compresibilidad dinámico 199
6.2.1.7. Módulo de Young estático 199
6.3. Método eléctrico 203

6.3.1. Tomografía de resistividad eléctrica 205
6.3.2. Dispositivos tetraelectrodicos lineales básicos 207
6.3.2.1. Dispositivo Wenner-schlumberger 207
6.3.2.2. Conductividad / electrolitica 209
6.3.3. Potencial espontaneo 210
6.4. Equipo humano e instrumentos 211
6.4.1. Equipo para ensayos sísmicos – Refracción sísmica y masw 211
6.4.2. Equipo para ensayos eléctricos – tomografía eléctrica y potencial espontaneo 212
6.4.3. Equipo humano 214
6.5. Adquisición de datos de refracción sísmica 216
6.5.1. Análisis de registro y calificación de datos refracción 216
6.5.2. Procesamiento de datos de refracción sísmica 217
6.6. Adquisición de datos de MASW 217
6.6.1. Análisis de registro y calificación de datos MASW 217
6.6.2. Procesamiento de datos de MASW 218
6.7. Adquisición de datos de tomografía eléctrica 219
6.7.1. Parámetros de adquisición de Tomografía Eléctrica 219
6.7.2. Procesamiento de datos de tomografía eléctrica 220
6.7.2.1. Base de datos 220
6.7.2.2. Revisión de datos 222
6.7.2.3. Procesos de inversión 222
6.8. Interpretación de ensayos 224
6.8.1. Refracción sísmica 01 225

6.8.2. Refracción sísmica 02 227
6.8.3. Interpretación de ensayo de MASW 01-1D 229
6.8.4. Interpretación de ensayo de MASW 02 – 1D 233
6.8.5. Tomografía Eléctrica 01 – 2D 237
Capítulo VII 239
Geotecnia 239
7.1. Calicatas con fines de cimentación 239
7.2. Ensayos de laboratorio 242
7.3. Parámetros del macizo rocoso (estribo derecho) 243
7.3.1. Criterio de Rotura Generalizado de Hoek – Brown 244
7.4. Análisis de Problemas Especiales en la Cimentación 249
7.4.1. Colapsabilidad 249
7.4.2. Expansión 250
7.4.3. Evaluación del Potencial de Licuefacción 251
7.5. Agresión Del Suelo a la Cimentación 252
7.6. Cálculo de la Capacidad Admisible Del Terreno 253
7.6.1. Carga Límite de Cimentación en Roca 253
7.6.2. Carga Límite de Cimentación en Suelo 256
7.6.2.1. Método de Terzaghi (1955) 258
7.6.2.2. Fórmula de Meyerhof (1963) 260
7.6.2.3. Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga por nivel freático 262
7.7. Asentamientos totales 265
7.7.1. Asientos de Schmertmann 265

7.8. Clasificaciones Geomecánicas 267
7.8.1. Rock Mass Rating (RMR) 268
7.8.2. Geological Strength Index (GSI) 268
Capítulo VIII 276
Riesgos geológicos 276
8.1. Determinación del peligro 276
8.1.1. Identificación del fenómeno evaluado 276
8.1.2. Factores condicionantes y desencadenantes 276
8.1.3. Estratificación del nivel de peligro 277
8.2. Análisis de vulnerabilidad 278
8.2.1. Dimensiones evaluadas 278
8.3. Cálculo del nivel de riesgo 280
8.3.1. Elementos expuestos y resultados obtenidos 282
8.3.2. Cálculo de pérdidas probables 282
8.4. Control de riesgo 283
8.4.1. Aceptabilidad y tolerancia 283
8.4.2. Medidas de prevención y reducción de riesgos 283
Capítulo IX 285
Resultados 285
Capitulo X 289
Conclusiones y Recomendaciones 289
10.1. Conclusiones 289
10.2. Recomendaciones 291

Referencias Bibliográficas 294

ANEXOS 297

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización UTM y ubicación geográfica del área de estudio 23
Tabla 2. Acceso vía terrestre de Challhuahuacho a la comunidad de Choccoyo 24
Tabla 3. Indicadores de investigación sector Choccoyo 29
Tabla 4. Coordenadas y descripción estructural de las estratificaciones del sector de estudio 78
Tabla 5. Estaciones Meteorológicas 84
Tabla 6. Variables Meteorológicas 84
Tabla 7. Parámetros geomorfológicos de las Microcuencas de estudio 86
Tabla 8. Valores de periodo de retorno en función del riesgo admisible y la vida útil de la estructura 93
Tabla 9. Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje 93
Tabla 10. Precipitaciones máximas 24 horas de las estaciones Meteorológicas (de Curpahuasi, Tambobamba y Santo Tomas) 95
Tabla 11. Análisis Outliers estaciones Curpahuasi/Tambobamba/Santo Tomas. 97
Tabla 12. Análisis Outliers 2da Revisión estaciones Curpahuasi/Tambobamba/Santo Tomas 99
Tabla 13. Prueba SMIRNOV-KOLGOMOROV estación Curpahuasi 104
Tabla 14. Periodos de Retorno estación Curpahuasi 106
Tabla 15. Periodos de retorno con ajuste de la OMM estación Curpahuasi 108
Tabla 16. Prueba SMIRNOV-KOLGOMOROV estación Tambobamba 109
Tabla 17. Periodos de Retorno estación Tambobamba 112
Tabla 18. Periodos de retorno con ajuste de la OMM estación Tambobamba 113
Tabla 19. Prueba SMIRNOV-KOLGOMOROV estación Santo Tomas 114
Tabla 20. Periodos de Retorno estación Santo Tomas 117
Tabla 21. Periodos de retorno con ajuste de la OMM Estación Santo Tomas 118
Tabla 22. Precipitaciones máximas 24 horas de las estaciones posteriormente analizadas 119
Tabla 23. Precipitaciones máximas 24h (mm) en las cuencas del sector de estudio de Choccoyo 119
Tabla 24. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo 128
Tabla 25. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo 129
Tabla 26. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo 130
Tabla 27. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo 131
Tabla 28. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo 132
Tabla 29. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo 133
Tabla 30. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo 134
Tabla 31. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo 135

Tabla 32. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo 136
Tabla 33. Resumen de Caudales de Diseño 155
Tabla 34. Selección de coeficiente de Manning 157
Tabla 35. Selección de coeficiente de Manning para el cause principal 159
Tabla 36. Selección de coeficiente de Manning para el cauce principal 160
Tabla 37. Selección de coeficiente de Manning para las áreas de los contiguas al cauce principal 160
Tabla 38. Ejemplo de valores n de Manning para varios tipos de cobertura terrestre 160
Tabla 39. Uso de suelos con valores Manning para modelado 2D 163
Tabla 40. Características Hidráulicas – puente Choccoyo Tr 200 años 175
Tabla 41. Características Hidráulicas – puente Choccoyo Tr 500 años 177
Tabla 42. Gálibos y cotas inferiores del talero del puente 179
Tabla 43. Coeficiente K1 (Simons y Henderson) 180
Tabla 44. Factor de fondo Fb 181
Tabla 45. Factor Fs 181
Tabla 46. Valores para el método de Manning Strickler 182
Tabla 47. Resumen de cálculos de anchos estables por puentes propuestos 182
Tabla 48. Factor de corrección por contracción del cauce μ 187
Tabla 49. Valores del Coeficiente β 188
Tabla 50. Valores de X y Z para Suelos Cohesivos y no Cohesivos 188
Tabla 51. Cálculo de socavación del sector de estudio 192
Tabla 52. Valores de Vp según Martinez, A. (1990) 200
Tabla 53. Valores de Vp segun ASTM D5777 (1995) 200
Tabla 54. Clasificación del Sitio 201
Tabla 55. Clasificación de los perfiles de suelo – E030 202
Tabla 56. Parámetros de adquisición de Refracción Sísmica 216
Tabla 57. Ubicación de los ensayos de Refracción Sísmica 216
Tabla 58. Parámetros de adquisición de MASW 217
Tabla 59. Ubicación de los ensayos de MASW 218
Tabla 60. Parámetros de adquisición de Tomografía Eléctrica 219
Tabla 61. Ubicación del Ensayo de Tomografía Eléctrica 219
Tabla 62. Coordenadas proyectadas Ensayos de Refracción Sísmica 224
Tabla 63. Parámetros Elásticos Refracción 01 226
Tabla 64. Parámetros Elásticos Refracción 02 228
Tabla 65. Módulos de deformación del terreno, para el Modelo de Inversión MASW 01 230
Tabla 66. Módulos de deformación del terreno, para el Modelo de Inversión MASW 01 230
Tabla 67. Qadm Estribo Izquierdo 232
Tabla 68. Clases de Sitio y Vs30 Estribo Izquierdo 232

Tabla 69. Módulos de deformación del terreno, para el Modelo de Inversión MASW 02 234
Tabla 70. Módulos de deformación del terreno, para el Modelo de Inversión MASW 02 234
Tabla 71. Qadm Estribo Derecho 236
Tabla 72. Clases de Sitio y Vs30 Estribo Derecho 236
Tabla 73. Ubicación de calicatas para el sector de estudio 239
Tabla 74. Parámetros índices para suelos finos 243
Tabla 75. Parámetros de resistencia 243
Tabla 76. Determinación de RMR con fines de cimentación 245
Tabla 77. Ensayo de martillo de Schmidt 246
Tabla 78. Valores de ensayo de compresión simple 247
Tabla 79. Valores de ensayo de peso especifico 247
Tabla 80. Resultados de los ensayos de rocas realizados en la muestra de la calicata 01 248
Tabla 81. Determinación del potencial de colapso NTP 339.163 (ASTM 5333) 249
Tabla 82. Determinación de los Suelos Expansivos 250
Tabla 83. Análisis Físico- Químico de Agregados y Suelos 252
Tabla 84. Estratigrafía Terreno 264
Tabla 85. Asentamientos por estrato- estribo izquierdo 266
Tabla 86. Asentamientos por estrato- estribo derecho 267
Tabla 87. Estratificación del nivel de peligro 277
Tabla 88. Estratificación del nivel de vulnerabilidad 279
Tabla 89. Estratificación del nivel de riesgo 280

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen satelital de la infraestructura vial proyectada 23
Figura 2. Imagen satelital referencial de la accesibilidad al sector de estudio 24
Figura 3. Mapa de ubicación del sector de estudio 25
Figura 4. Unidades geomorfológicas regionales del cuadrángulo del Santo Tomas 29-r 44
Figura 5. Abanico de Pie de Monte en el sector de estudio (Ab) 46
Figura 6. Montaña en roca sedimentaria (RM-rs) 46
Figura 7. Mapa geomorfológico regional del sector de estudio en Chocccoyo 48
Figura 8. Unidades Geomorfológicas Locales 50
Figura 9. Unidades Geomorfológicas Locales vista NE 51
Figura 10. Mapa geomorfológico local del sector de estudio en Choccoyo 52
Figura 11. Unidades de Pendientes del sector de estudio en Choccoyo 54
Figura 12. Mapa de pendientes del sector de estudio 55
Figura 13. Imagen satelital del sector de estudio 2012 56

Figura 14. Imagen satelital del sector de estudio 2019 57
Figura 15. Imagen satelital del sector de estudio 2019 57
Figura 16. Imagen satelital del sector de estudio 2024 58
Figura 17. Columna Estratigráfica del Cuadrángulo de Santo Tomas 29-r. 59
Figura 18. Mapa geológico regional del sector de estudio Choccoyo 63
Figura 19. Columna estratigráfica a nivel local del sector de estudio 64
Figura 20. Mapa geológico local del sector de estudio en Choccoyo 72
Figura 21. Sección geológica 73
Figura 22. Esquema estructural del cuadrángulo de Santo Tomas 74
Figura 23. Fallas Geológicas Inferidas 78
Figura 24. Correlación ERT y SP 80
Figura 25. Mapa geológico estructural del sector de estudio en Choccoyo 81
Figura 26. Unidad climática según Senamhi 82
Figura 27. Ubicación de las Estaciones meteorológicas y la zona de estudio 84
Figura 28. Localización de la infraestructura critica con respecto a las cuencas del rio Choccoyo 85
Figura 29. Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Sub Cuenca 01 Choccoyo 87
Figura 30. Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Sub Cuenca 02 Choccoyo 88
Figura 31. Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Sub Cuenca 03 Choccoyo 88
Figura 32. Mapa de parámetros morfométricos microcuenca 01 del sector de estudio 89
Figura 33. Mapa de parámetros morfométricos microcuenca 02 del sector de estudio 90
Figura 34. Mapa de parámetros morfométricos microcuenca 03 del sector de estudio 91
Figura 35. Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil 92
Figura 36. Pruebas de Bondad de Ajuste Kolmogorov Smirnov 103
Figura 37. Serie histórica de Prec.Max 24hrs. Estación Curpahuasi 103
Figura 38. Comparación de distribuciones teóricas Estación Curpahuasi 105
Figura 39. Densidad de probabilidad de distribuciones teóricas estación Curpahuasi 106
Figura 40. Serie histórica de Prec.Max 24hrs. Estación Tambobamba 109
Figura 41. Comparación de distribuciones teóricas Estación Tambobamba 110
Figura 42. Densidad de probabilidad de distribuciones teóricas estación tambobamba 111
Figura 43. Serie histórica de Prec.Max 24hrs. Estación Santo Tomas 114
Figura 44. Comparación de distribuciones teóricas Estación Santo Tomas 115
Figura 45. Densidad de probabilidad de distribuciones teóricas estación Santo tomas 116
Figura 46. Mapa de regionalización por periodos de retorno microcuenca 01 Choccoyo 120
Figura 47. Mapa de regionalización por periodos de retorno microcuenca 02 Choccoyo 121
Figura 48. Mapa de regionalización por periodos de retorno microcuenca 03 Choccoyo 122
Figura 49. Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima 124
Figura 50. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo 128

Figura 51. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo 129
Figura 52. Hietograma de precipitación de diseño para TR =500 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo 130
Figura 53. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo 131
Figura 54. Hietograma de precipitación de diseño para TR =200 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo 132
Figura 55. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo 134
Figura 56. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo 134
Figura 57. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo 135
Figura 58. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo 136
Figura 59. Flujograma para cálculo de caudales en HEC-HMS 137
Figura 60. Flujograma del Hidrograma unitario sintético del SCS..... 138
Figura 61. Flujograma del Cálculo de Cobertura Vegetal a partir de NVDI 140
Figura 62. Flujograma del Cálculo de Grupo Hidrológico a partir de los tipos de suelos de la FAO 140
Figura 63. Flujograma de Cálculo de Numero Curva CN 141
Figura 64. Modelo Hidrológico para la Microcuenca 01 del rio Choccoyo 143
Figura 65. Parámetros Hidrológicos para la Microcuenca 01 del rio Choccoyo 143
Figura 66. Hidrograma para TR 140 años de la microcuenca 01 del río Choccoyo 144
Figura 67. Hidrograma para TR 200 años de la microcuenca 01 del río Choccoyo 145
Figura 68. Hidrograma para TR 500 años de la microcuenca 01 del río Choccoyo 146
Figura 69. Modelo Hidrológico para la Microcuenca 02 del rio Choccoyo 147
Figura 70. Parámetros Hidrológicos para la microcuenca 02 del rio Choccoyo..... 147
Figura 71. Hidrograma para TR 140 años de la microcuenca 02 del río Choccoyo 148
Figura 72. Hidrograma para TR 200 años de la microcuenca 02 del río Choccoyo 149
Figura 73. Hidrograma para TR 500 años de la microcuenca 02 del río Choccoyo 150
Figura 74. Modelo Hidrológico para la Microcuenca 03 del rio Choccoyo 151
Figura 75. Parámetros Hidrológicos para la Microcuenca 03 del rio Choccoyo 151
Figura 76. Hidrograma para TR 140 años de la microcuenca 03 del río Choccoyo 152
Figura 77. Hidrograma para TR 200 años de la microcuenca 03 del río Choccoyo 153
Figura 78. Hidrograma para TR 500 años de la microcuenca 03 del río Choccoyo 154
Figura 79. Mapa de Uso de Suelo 163
Figura 80. Mallado 2D del sector de estudio 165
Figura 81. Asignación de Breaklines a los cauces y región a mallar por evidencia de constante saturación 165
Figura 82. Asignación de condiciones de entrada..... 166
Figura 83. Asignación de condiciones de salida 166
Figura 84. Asignación de uso de suelo para determinación del Manning 167
Figura 85. Modelamiento Hidráulico de Máximos Tirantes TR=200 años 168
Figura 86. Modelamiento Hidráulico de Velocidades TR=200 años 168
Figura 87. Modelamiento Hidráulico de Máximos Tirantes TR=500 años 169

Figura 88. Modelamiento Hidráulico de Velocidades TR=500 años 169
Figura 89. Seccionamiento de las 3 microcuencas mediante AutoCADCivil 3D 170
Figura 90. Importación de secciones mediante View geometry data 171
Figura 91. Visualización de secciones mediante open Ras Mapper 171
Figura 92. Perfil longitudinal hidráulico 172
Figura 93. Diagrama XYZ de los 3 caudales de las microcuencas 173
Figura 94. Secciones transversales 173
Figura 95. Perfil antes y después de la socavación 184
Figura 96. Informe geotécnico del sector de estudio 189
Figura 97. Calicatas realizadas en el sector del puente propuesto 190
Figura 98. Resultados geotécnicos del suelo residual 191
Figura 99. Esquema grafico de socavación general 193
Figura 100. Esquema conceptual de Adquisición de Datos Sísmicos 197
Figura 101. Esquema conceptual de Adquisición de Datos Sísmicos - MASW 198
Figura 102. Disposición Electródica para desarrollo de Método Eléctrico 204
Figura 103. Valores de resistividad más comunes en rocas y minerales 204
Figura 104. Representación simplificada de la técnica de Tomografía Eléctrica 206
Figura 105. Perfil Geoeléctrico 2D. 206
Figura 106. Disposición de los electrodos mediante el dispositivo Wenner-Schlumberger 207
Figura 107. Diagrama de puntos de adquisición para el arreglo Wenner-Schlumberger Geomative Studio 208
Figura 108. Influencia de ciertos procesos geológicos sobre la resistividad de las formaciones 209
Figura 109. Producción de potenciales de electro filtración per descensum 211
Figura 110. Sismógrafo Dolang Geophysical Italia DBS280E 212
Figura 111. GEOMATIVE modelo GD10 SUPREME 214
Figura 112. Personal de campo para los ensayos geofísicos del trabajo de investigación 214
Figura 113. Datos crudos obtenidos del equipo geofísico 221
Figura 114. Control de calidad y exterminación de datos – Tomografía Eléctrica 1 222
Figura 115. Etapas del proceso de inversión 223
Figura 116. Modelo 2D – Velocidad – Perfil Izquierdo 225
Figura 117. Modelo 2D – Comportamiento Morfológico de Refractores 226
Figura 118. Modelo 2D – Velocidad – Perfil Derecho 227
Figura 119. Modelo 2D – Comportamiento Morfológico de Refractores 228
Figura 120. Perfil Unidimensional – Estribo Izquierdo 229
Figura 121. Columna estratigráfica y parámetros elásticos MASW 01 231
Figura 122. Perfil Unidimensional – Estribo Derecho 233
Figura 123. Columna estratigráfica y parámetros elásticos MASW 02 235
Figura 124. Perfil geoeléctrico – Tomografía Eléctrica 01 – Resistividad Eléctrica – Profundidad (m.s.n.m.) 237

Figura 125. Mapa de ubicación de calicatas 239
Figura 126. Ensayos de laboratorio..... 242
Figura 127. Ensayos calicata 01 - Roca 242
Figura 128. Calicata 02 - suelo 243
Figura 129. Parámetros geomecánicos obtenidos mediante Roc data 4.0 248
Figura 130. Nβ factors depending on the external load (for exponents n =0.5; 0.55; 0.6; and 0.65) 255
Figura 131. Mecanismo de rotura de Prandtl..... 257
Figura 132. Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga por nivel freático. 262
Figura 133. Capacidad de carga del proyecto estribo izquierdo 263
Figura 134. Mapa de ubicación de estaciones geomecánicas 267
Figura 135. Estación geomecánica 01..... 270
Figura 136. Estación geomecánica 02..... 271
Figura 137. Estación geomecánica 03..... 272
Figura 138. Estación geomecánica 04..... 273
Figura 139. Mapa geotécnico..... 274
Figura 140. Perfil Geotécnico 275
Figura 141. Peligro por erosión fluvial en el sector de estudio..... 278
Figura 142. Vulnerabilidad por erosión fluvial..... 280
Figura 143. Riesgo por erosión fluvial..... 281
Figura 144. Diseño tentativo de defensas ribereñas con gaviones..... 284

Capítulo I

Información general

1.1. Localización

1.1.1. Localización Política

El sector de estudio a nivel político se localiza en la Comunidad de Choccoyo, distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas y departamento de Apurímac.

1.1.2. Localización Geográfica

El sector anteriormente descrito está ubicado geográficamente en la zona 18L, con datum WGS 1984, con las coordenadas geográficas y UTM siguientes:

Tabla 1. *Localización UTM y ubicación geográfica del área de estudio*

Este	Norte	Altura (msnm)	Sector	Distrito	Provincia	Departamento
785175.00	8426887.00	3982	Choccoyo	Challhuahuacho	Cotabambas	Apurímac

Figura 1*. Imagen satelital de la infraestructura vial proyectada*



Fuente: Google Earth.

1.2. Acceso al sector de Estudio

El sector de estudio es accesible desde la ciudad de Challhuahuacho por medio terrestres, que se compone de una vía afirmada.

Tabla 2. *Acceso vía terrestre de Challhuahuacho a la comunidad de Choccoyo*

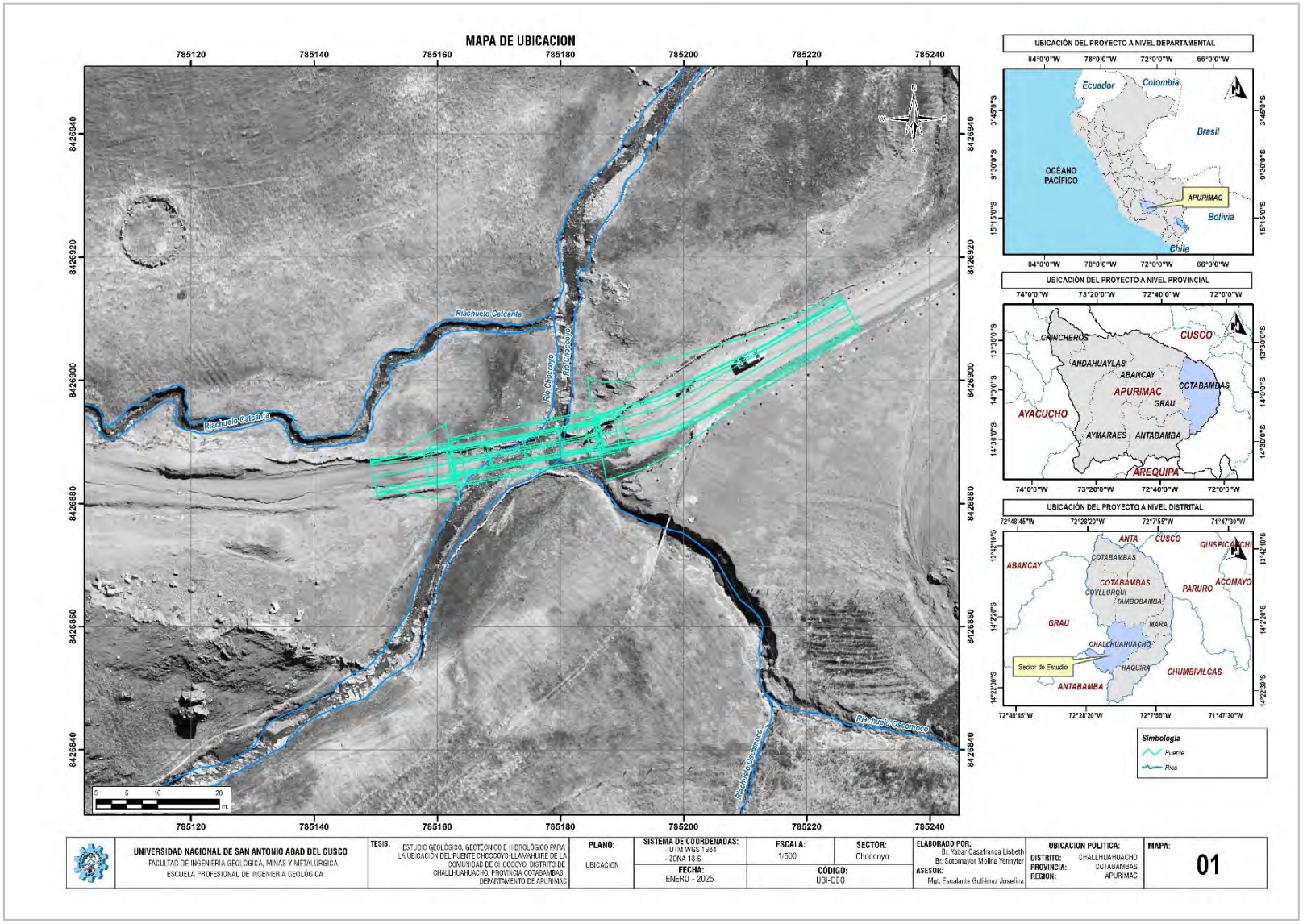
ORIGEN	DESTINO	TIPO DE VÍA	DISTANCIA (KM.)	TIEMPO (H)	MOVILIDAD
CHALLHUAHUACHO	CHOCCOYO	AFIRMADA-TROCHA	28.5	0:56	Combi

Figura 2. *Imagen satelital referencial de la accesibilidad al sector de estudio*



Fuente: Google Maps.

Figura 3. *Mapa de ubicación del sector de estudio*



1.3. Planteamiento Del Problema

1.3.1. Descripción del Problema

El área de estudio del puente requiere de investigaciones geológicas y geotécnicas de los terrenos para establecer sus correspondientes parámetros. Estos estudios también nos facilitarán el cálculo de la capacidad máxima de carga admisible, asentamientos en las dos estructuras de los estribos y el cálculo de las avenidas en la microcuenca Choccoyo, para lo cual es necesario un análisis hidrológico y modelamiento hidráulico.

Este análisis se llevará a cabo basándose en los datos recogidos en terreno, y serán obtenidos en el laboratorio de suelos, donde serán procesados para generar gráficos geotécnicos y diversos valores que, en última instancia, contribuirán a obtener conclusiones y sugerencias.

1.3.2. Formulación del Problema General

¿Cuáles son los parámetros, geológicos, geotécnicos e hidrológicos para la localización y construcción del puente Choccoyo?

1.3.3. Formulación de Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las características geológicas-geotécnicas, geomorfológicas y estructurales sobre el cual se ubicará el puente Choccoyo?
- ¿Cuáles son los parámetros hidrológicos condicionantes en la construcción de la ubicación del puente Choccoyo?
- ¿Cómo será la estratificación del subsuelo obtenidos mediante los ensayos geofísicos, sobre el cual se ubicarán los estribos del puente Choccoyo?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Establecer los parámetros geológicos, geotécnicos e hidrológicos para la localización y construcción del puente Choccoyo.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar las características geológicas-geotécnicas, geomorfológicas y estructurales sobre el cual se ubicará el puente Choccoyo.
- Evaluar las condiciones hidrológicas para el planteamiento adecuado del puente Choccoyo.
- Mediante la aplicación geofísica, determinar parámetros geotécnicos y geológicos del subsuelo donde se emplazarán los estribos del puente Choccoyo, con modelos 1D y 2D.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

Las condiciones geológicas, geotécnicas e hidrológicas permitirán definir el adecuado diseño de los componentes estructurales del puente Choccoyo.

1.5.2. Hipótesis Especificas

- Se determinará las características geológicas-geotécnicas, geomorfológicas y estructurales sobre las cuales se emplazará el puente Choccoyo, de acuerdo a los datos de campo obtenidos y procesados en laboratorio.
- Por medio de la evaluación y cálculo de los parámetros hidrológicos e hidráulicas se definirá la ubicación del puente Choccoyo.
- La estratificación del subsuelo, será definida a través de los ensayos geofísicos sobre el cual se ubicarán los estribos del puente Choccoyo

1.6. Importancia y Justificación

El establecimiento de los parámetros geológicos, geotécnicos e hidrológicos nos facilita establecer una ubicación apropiada con el objetivo de encontrar una unidad litoestratigráfica propicia para ubicar la base del puente Choccoyo.

La edificación de este puente impulsará la economía y elevará el estándar de vida de las comunidades campesinas: Choccoyo, Llamahuire, así como las comunidades vinculadas al sector de estudio; involucradas en diversas actividades económicas.

1.7. Variables e Indicadores de Investigación

1.7.1. Variables Independientes

Como variables independientes se han considerado:

- Caracterización geotécnica
- Caracterización geológica
- Caracterización geológica estructural
- Caracterización geofísica
- Caracterización hidrológica
- Caracterización hidráulica

1.7.2. Variables Dependientes

Como variables dependientes se han considerado:

- Capacidad admisible del terreno
- Diseño adecuado del galibo y estribos del puente.

1.7.3. Indicadores

Tabla 3. *Indicadores de investigación sector Choccoyo*

INDICADORES			
	VARIABLE INDEPENDIENTE	GEOTECNIA	PARAMETROS GEOMECNICOS DEL TERRENO
		GEOLOGIA	ESTRATIGRAFIA
			PETROLOGIA
		GEOLOGIA ESTRUCTURAL	FALLAS
			FRACTURAS
		GEOMORFOLOGIA	TIPOS DE GEOFORMAS
			PENDIENTES
		GEOFISICA	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ELÁSTICOS Y ESTRATIGRAFÍA
		HIDROLOGIA	PRECIPITACION
			ANALISIS TORMENTAS
			CAUDALES DE DISEÑO
		HIDRAULICA	TIRANTES MAXIMOS Y SOCAVACION
	VARIABLE DEPENDIENTE	UBICACIÓN ADECUADA PARA LA CONSTRUCCION DEL PUENTE CHOCCOYO	CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO
			DISEÑO ADECUADO DEL GALIBO Y ESTRIBOS

1.8. Tipo y nivel de investigación

1.8.1. Tipo de investigación

De acuerdo con la orientación: Aplicada.

De acuerdo con la direccionalidad: Prospectiva.

1.8.2. Magnitud de investigación

- **Descriptiva:** Recogida de datos de las distintas dimensiones.
- **Analítica:** Es imprescindible para establecer el tratamiento de los datos.
- **Deductiva:** Iniciará con un enfoque teórico y conceptual para determinar los diseños estructurales adecuado del puente propuesto.

1.9. Diseño de investigación

No experimental: Observación y estudio del entorno físico, así como la obtención de sus parámetros técnicos para su uso en el dimensionamiento del puente.

1.10. Población y muestra

1.10.1. Población

Sector de Choccoyo para el emplazamiento del puente propuesto.

1.10.2. Muestra

- Geomorfología
- Geofísica
- Hidrología
- Hidráulica
- Geología
- Geotecnia

1.11. Fases de Elaboración del Estudio

Metodología para seguir es básicamente en tres etapas.

1.11.1. Fase de pre Campo

En esta etapa se realizará la agrupación, selección y análisis de los datos técnicos y bibliográficos existentes en el campo de estudio, ya sean antecedentes u otros, de la siguiente manera:

- Análisis de la geología de Cotabambas, fundamentado en la data cartográfica del INGEMMET.
- Evaluación de documentos que están principalmente relacionados con la geología, geomorfología, hidrogeología, geotecnia, geodinámica y geofísica.

- Elaboración de mapas topográficos del área de estudio para los mapas de terreno correspondientes.
- Evaluación de imágenes satelitales del área de estudio.
- Recolección de datos históricos del Senamhi de precipitaciones de máximas de 24horas.

1.11.2. Etapa de Campo

En esta fase se realiza una visita al área de estudio, se lleva a cabo una exploración del área de estudio para evaluar las condiciones en el lugar de las características Geológico-Geotécnicas donde se edificará el puente.

- Identificación de unidades geológicas, geomorfológicas, estructurales, geodinámicas, entre otras.
- Mapeo de las deformaciones estructurales (diaclasamiento).
- Exploración del subsuelo a través de la realización de calicatas, lugar donde se edificará el puente.
- Recolección de muestras de rocas y suelos para diversos ensayos, lo que permitió establecer los parámetros de resistencia.
- Análisis de las pruebas geofísicas para determinar el grosor de la litología en el área de análisis, así como sus parámetros elásticos.

1.11.3. Etapa de Gabinete

En esta fase, se compara toda la información recogida en terreno, laboratorio y gabinete, analizando los parámetros geomecánicos para el adecuado diseño del puente. A continuación, se describen los trabajos efectuados en esta fase:

- Análisis de los diferentes ensayos en laboratorio para determinar las propiedades físico-mecánicas del subsuelo y la roca presente en el área de estudio.

- Interpretación de datos de campo, tanto geológicos, geomorfológicos, estructurales, geotécnicos e hidrológicos.
- Elaboración de planos geológico, geomorfológico, estructural, hidrológico, geofísico y geotécnico del área de influencia del estudio.
- Elaboración de tablas, cuadros comparativos, toma de imágenes de referencia, etc.
- Determinar los parámetros geomecánicos del terreno para el dimensionamiento del puente.

Una vez reunida la información tanto de campo como de gabinete y laboratorio, se llevará a cabo la interpretación y análisis final. Esta será documentada en planos, mapas gráficos y datos según el manual de puentes del MTC. Todo esto se presentará en un informe final con las conclusiones y sugerencias requeridas para una adecuada construcción del puente propuesto.

1.12. Antecedentes

1.12.1. Antecedentes de Investigación Regionales

Astete M. y Cruz R. (2020), Estudio geológico, geotécnico e hidrológico para la ubicación del puente Parocan –distrito de Urcos-provincia quispicanchi – cusco 2020, mediante el cual se tuvo como objetivo determinar los parámetros geológicos, geotécnicos e hidrológicos existentes para tomar medidas que garanticen la sostenibilidad y estabilidad en la ubicación del puente PAROCAN, asimismo para determinar la estratigrafía del subsuelo se realizó ensayos geofísicos de Refracción Sísmica y MASW 2D, por otro lado para corroborar la estratigrafía se ejecutó la exploración de pozos a cielo abierto de la zona donde se ubicará el puente Parocán, con el fin de calcular la capacidad portante a diferentes niveles, a través de la aplicación de teorías del análisis de suelos, determinar el asentamiento inmediato máximo que sufrirá el suelo que soportará las cargas del puente propuesto y las cargas vivas. Geológicamente el puente propuesto se fundará sobre depósitos cuaternarios fluviales y aluviales, alrededor del puente Parocan se encuentran las Formaciones: al norte, este y oeste se observa afloramientos de la Formación Ananea, a 400 m al oeste del puente Parocan se observa la Formacion Maras, Formación Huancane, Formación Pachatusan y Formación Huambutio y al sur se encuentran los depósitos cuaternarios coluviales. Geomorfológicamente está ubicado en la intersección de las unidades morfoestructural del Altiplano y la cordillera Oriental en el valle del Vilcanota.

La fuente sismogénica en la zona de estudio es la falla Urcos, ubicado al W a 350m del puente Parocán, tiene una dirección NW-SE y buzamientos hacia el SW, presenta una longitud de 22 Km, es una falla inversa con Rb: N 320 Y Bz: 40SW, según IGP se encuentra en la zona 2 (Sismicidad Media), con aceleraciones máximas que varían entre 0.18 a 0.29 y para la zona de estudio la aceleración máxima es de 0.24g, peligro sísmico mediante la fórmula de Steinmom

(1982), es 357.92 gal quiere decir que tendremos daño desastroso para el diseño del puente Parocan, razón por el cual el planteamiento del diseño de estructura del puente debe ser capaz de soportar dicho evento sísmico.

Los resultados hidrológicos mediante el uso de los datos de las estaciones meteorológicas son: la temperatura media es 68 °C, la humedad relativa media anual es 73.5 %, la velocidad de viento media anual es 4 m/s, 2317 horas sol media anual, 1243 mm la evaporación media anual, la evapotranspiración media anual es 1415.9 mm, precipitación media anual es 582.31 mm, la precipitación máxima en 24 horas es 42.98 y caudal de diseño es 815.7 m3/s para un periodo de retorno de 140 años. La vida útil del puente es 40 años.

Aporte: Determinar las características geomecánicas donde se emplazará el puente, con el fin de realizar un diseño adecuado según el sector de estudio.

1.12.2. Antecedentes de Investigación Nacionales

Castillo, G., & Ramírez, S. (2014), Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del puente Pucayacu, localizado en el tramo: Mayocc–Huanta en la progresiva 3+ 200, aplicando los softwares HEC-HMS e Iber V2. 0. El tema del presente proyecto de tesis se basó en realizar un estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del puente Pucayacu, el cual se localiza en el tramo MayoccHuanta en la progresiva 3+200.

Para ello, se hará uso del software HEC-HMS e IBER v2.0. De esta manera, se planteó la determinación de una cota mínima de fondo de viga de tablero y una cota máxima de socavación en las cimentaciones.

Para llegar a dichos puntos, se plantean cinco capítulos. El primer capítulo abarco la introducción al proyecto en sí, especificando aspectos generales, la metodología para el diseño del puente, objetivos de la investigación y la ubicación del proyecto. El segundo capítulo aborda

la parte conceptual que se utilizará para realizar los cálculos. Este capítulo se dividió en Hidrología, Hidráulica, Aspectos normativos referentes a puentes y la presentación de los softwares que se emplearon para el desarrollo de la tesis. El tercer capítulo detalló la recopilación de datos, esto incluye la información cartográfica, pluviométrica, batimétrica, evaluación de estudio de suelos y análisis de información de cobertura vegetal. Con respecto al cuarto capítulo, se presentó todos los cálculos realizados tanto para la hidrología como la hidráulica. En el quinto capítulo, se presentó las conclusiones y recomendaciones, así como el resultado final que es la cota mínima de fondo de viga de tablero y la cota máxima para cimentaciones.

Aporte: Determinación de una cota mínima de fondo de viga de tablero y una cota máxima de socavación en las cimentaciones.

Lopez, Y. (2022), Estudio de evaluación geológico e hidrológico preliminar para la transitabilidad de la vía de evitamiento en el distrito de Chivay, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa. El tema motivo del presente estudio consiste en la Evaluación geológica e hidrológica preliminar para poder definir las características de la zona de estudio y proponer que este informe sirva como sustento técnico para desarrollar la infraestructura vial de ingeniería en el proyecto de transitabilidad de la vía de evitamiento en el distrito de Chivay.

El proyecto comenzó con la recopilación de información teórica a nivel regional de la geología y geomorfología, se realizó el levantamiento con drones para tener los productos fotogramétricos de ortofoto y DEM, los cuales sirvieron para el cartografiado local y la topografía de detalle del proyecto. Se realizó el cartografiado geológico y geomorfológico local y también la identificación de estructuras y fallas locales en la zona del proyecto, se realizó una campaña de perforación diamantina de 140 metros lineales acumulados en diferentes lugares para poder definir una estratigrafía detallada de la zona de estudio y además se realizaron

calicatas para poder tener propiedades de los suelos y poder determinar algunas características físicas de estos. Se elaboró un estudio de hidrología que consistió en la delimitación de la microcuenca y cálculo de sus propiedades morfométricas y además se realizó el cálculo de las precipitaciones máximas en diferentes periodos de retorno.

Con el presente estudio se pretende realizar una correcta evaluación geológica e hidrológica utilizando como base los resultados obtenidos en la perforación diamantina, estudio de suelos, cartografiado geológico y estudio hidrológico proponiendo así un sustento técnico para desarrollar la infraestructura vial.

Aporte: Definir las características de la zona de estudio y proponer que este informe sirva como sustento técnico para desarrollar la infraestructura vial.

1.12.3. Antecedentes de Investigación Internacionales

Mejía, D. (2024). Estudio geotécnico para diseño de cimentación del puente en el sector Chorro de la parroquia Sinincay del cantón Cuenca. El proyecto aborda el estudio geotécnico en "El Chorro", Sinincay, para construir un puente de dos carriles. Es crucial analizar las características del suelo de fundación en obras civiles. Se clasifica el suelo mediante ensayos in situ y SPT, analizando muestras en laboratorio para obtener datos de granulometría, límites de consistencia y corte directo. Estos análisis permiten caracterizar el suelo de fundación. Finalmente, se verifica si la cimentación propuesta cumple con la Norma Nec – Geotecnia y Cimentaciones en términos de deslizamiento y volteo.

Aporte: Analizar las características del suelo de fundación en obras civiles.

1.13. Marco Normativo

- RD N° 19-2018-MTC14 “Manual de Carreteras: Puentes”
- RD N° 20-2011-MTC14 “Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje”
- RD Nº 10-2014-MTC14 “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”
- RD Nº 18-2016-MTC14 “Manual de Carreteras: Ensayo de Materiales”
- RD N° 03-2018-MTC 14 “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico “
- RD N° 22-2013-MTC/14 “(Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”

Capítulo II

Geológico y Conceptual

2.1. Marco teórico

2.1.1. Puente

Los puentes pueden considerarse como una de las construcciones cuyos orígenes se pierden en los albores del tiempo. Son las obras civiles por excelencia. No obstante, son mucho más que simples edificaciones., en palabras de Juan José Arenas, *"un puente ha sido, y es, sin género de dudas, un elemento indispensable para el desarrollo de la civilización y de la cultura".*

2.1.2. Contexto Geotectónico Regional

El área de estudio se ubica en el margen occidental de la Cuenca Sedimentaria Mesozoica de Apurímac, desarrollada sobre el basamento Paleozoico durante los ciclos extensionales del Jurásico-Cretácico y posteriormente deformada por la Orogenia Andina (fases Incaica y quechua), responsable de los pliegues regionales y del sistema de fallas normales-inversas descrito en el cuadrángulo de Santo Tomás (Gutiérrez, 1981).

2.1.3. Depósitos Cuaternarios

Clasificación genética de depósitos fluviales, coluviales y lacustres conforme a Miall (2016) y González et al. (2002).

2.2. Caracterización Geotécnica

2.2.1. Estudios geotécnicos en puentes

Desde la perspectiva de la ingeniería geológica, un estudio geotécnico en puentes se define como el conjunto de investigaciones sistemáticas del subsuelo destinadas a caracterizar la estratigrafía, la composición litológica, la estructura geológica y las propiedades físico-

mecánicas de los suelos y macizos rocosos que sustentarán las cimentaciones de una estructura vial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2018). Este tipo de estudio integra el reconocimiento geológico regional y local, geomorfología, estratigrafía y geodinámica del terreno con la investigación geotécnica propiamente dicha, cuyo propósito es establecer la capacidad de carga de los suelos de fundación y determinar el tipo de cimentación más apropiado para cada apoyo de la estructura (MTC, 2018).

Metodológicamente, el estudio se desarrolla en fases sucesivas que comprenden la exploración directa del subsuelo mediante sondajes, calicatas y ensayos de penetración estándar (SPT); la aplicación de métodos geofísicos complementarios para extender la caracterización más allá de los puntos de exploración; y la ejecución de ensayos de laboratorio sobre las muestras recuperadas, orientados a determinar parámetros índices y de resistencia (Loehr et al., 2016). De acuerdo con estos autores, dicha caracterización es una de las actividades más complejas, pero también más determinantes, para la planificación, el diseño, la construcción y la operación segura de la infraestructura de transporte, en la medida en que permite identificar oportunamente los riesgos geológicos asociados a las condiciones del terreno.

Desde el punto de vista práctico, la normativa nacional exige una densidad mínima de exploración de un sondaje por cada componente estructural del puente estribo, zapata, pilar o grupo de pilotes en luces de hasta 100 metros, exigencia que se incrementa en estructuras de mayor longitud debido a la variabilidad de las condiciones del terreno a lo largo del trazado (MTC, 2018). Los parámetros geotécnicos derivados de esta investigación capacidad portante, asentamientos totales y diferenciales, potencial de licuefacción y profundidad de socavación, entre otros constituyen el insumo fundamental para el diseño estructural de las cimentaciones

bajo la metodología de factores de carga y resistencia (LRFD), adoptada tanto por el AASHTO (2020) como por el Manual de Puentes peruano (MTC, 2018).

En consecuencia, el estudio geotécnico no debe entenderse como una etapa aislada o meramente normativa, sino como el vínculo disciplinar entre la geología aplicada y la ingeniería estructural, en tanto traduce las condiciones naturales del subsuelo de origen geológico en parámetros de diseño cuantificables que garantizan la estabilidad, la seguridad y la vida útil de la estructura (Das & Sivakugan, 2018).

2.2.2. Capacidad de carga

Santana, R. (2013), La carga permitida en una cimentación es la que puede ser ejercida sin causar problemas en la estructura que la sostiene, y que además posee un margen de seguridad definido por el denominado coeficiente de seguridad adoptado. La carga permitida no solo se basa en el suelo, sino también en los cimientos, las características de la edificación y el coeficiente de seguridad que se establezca en cada situación.

2.2.3. Capacidad portante o resistencia de suelos

Santana, R. (2013), Dado que el diseño de cimentaciones implica hallar un componente que transfiera la carga de la superestructura al suelo de apoyo sin que ocurra una falla por corte, ni flujo plástico o desplazamiento lateral en la parte inferior de la cimentación, ni que se generen asentamientos excesivos o superiores a los permitidos; se requiere determinar la capacidad portante del suelo a través de sondeos supervisados por un experto en mecánica de suelos.

2.2.4. Peso Unitario de un Suelo

Yepes, V. (2021), La relación entre el peso y su volumen, conocida como "peso específico de un suelo", es un indicador que depende de la humedad, de las bolsas de aire y del peso específico de las partículas sólidas. Para prevenir malentendidos, las mediciones de los

ensayos de laboratorio favorecen tanto el "peso específico seco" como la humedad. Pongamos de manifiesto que este concepto se diferencia de la "densidad del suelo", que establece una correlación entre la masa y el volumen. Además, se emplea un valor adimensional conocido como "peso específico relativo", que se define como el cociente entre el peso específico del terreno y el peso específico del agua a una temperatura específica. Los valores habituales de gravedades para los sólidos del suelo oscilan entre 2.65 y 2.72.

2.2.5. Sistema de clasificación de suelos

Braja M. Das (2012), Los sistemas de categorización de suelos clasifican los suelos en conjuntos y subconjuntos basándose en características ingenieriles habituales como la distribución de granulometría, el límite líquido y el límite plástico. Los dos sistemas de clasificación más utilizados en la actualidad son 1) el sistema establecido por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y 2) el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, también conocido como sistema ASTM). La clasificación de capas del pavimento de una carretera se realiza principalmente utilizando el sistema de la AASHTO. No se emplea en la edificación de cimientos.

2.2.6. Compresión Simple en Rocas

González L. (2002), Es el esfuerzo límite que la roca sometida a compresión uniaxial, medida en una probeta cilíndrica, puede soportar en el laboratorio.

2.2.7. Peso Unitario de una Roca

González L. (2002), Se determina por los elementos y se establece como el peso por unidad de volumen. Las unidades de fuerza (kilopondio, newton, tonelada-fuerza, etc) se representan en términos de volumen.

2.2.8. Clasificaciones geomecánicas

(Geotecnia fácil, s.f. 2018), Las clasificaciones geomecánicas de rocas son un elemento fundamental en la caracterización de macizos rocosos ya sea mediante toma de datos de afloramientos o mediante sondeos con recuperación de testigo. Son fundamentales en estudios de túneles y taludes y permiten una clasificación rápida del macizo rocoso. Hoy nos centraremos en la más empleada de todas, la clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) o también llamada de Bieniawski por se desarrollada por el profesor Z. T. Bieniawski en 1973 y actualizada en 1979 y 1989. Otras clasificaciones muy utilizadas son la Q de Barton utilizada casi en exclusiva para túneles y el SMR de Romana para su uso en taludes.

2.3. Hidrología

Ponce V. (2015), La hidrología es una disciplina de la ciencia terrestre. El estudio de las fuentes de agua terrestres y sus características químicas y físicas, además de su aparición, circulación y distribución, y su interacción con los organismos vivos. La hidrología comprende tanto la hidrología de las aguas superficiales como la hidrogeología de las aguas subterráneas; este último, no obstante, a veces se considera un asunto por sí mismo.

2.3.1. Precipitación

Araque M. (2019), evento físico que implica la transmisión de cantidades de agua en sus diversas manifestaciones (lluvias, nieve, granizo, etc.) desde la atmósfera hasta la superficie de la Tierra. El proceso más relevante que provoca la precipitación es el levantamiento de aire. Las concentraciones de aire se incrementan y, bajo circunstancias adiabáticas, la temperatura baja hasta llegar a su punto de rocío. La precipitación no solo se presenta en forma de agua líquida (lluvia), sino que también puede manifestarse en forma sólida (nieve, granizo, etc.). Es crucial distinguir las formas de condensación, tales como la neblina y el rocío, que no constituyen precipitaciones.

2.3.2. Cuenca Hidrográfica

Béjar, M. (2006), La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido.

2.3.3. Parámetros morfométricos de una cuenca

Chow et al., (1994), La Morfometría de Cuencas resulta de gran utilidad permitiendo determinar la semejanza de los flujos de diferentes tamaños (Ruiz, 2001) su fin radica en aplicar los resultados de los modelos elaborados en pequeña escala a prototipos de gran escala y hacer los comparativos necesarios.

Área (A): Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en km2. Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor. **(Cardona, 2016).**

Perímetro (P): Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros. **(Cardona, 2016)**

Longitud de la cuenca (L): Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. **(Cardona, 2016)**

Ancho de la cuenca (B): Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca. **(Cardona, 2016)**

Capítulo III

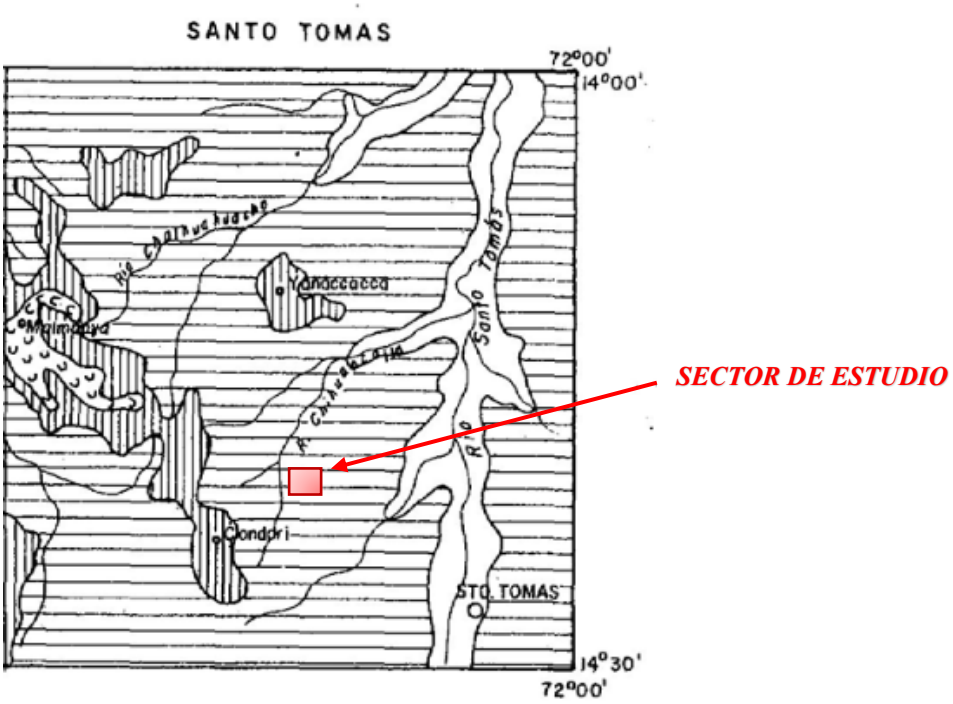
Geomorfología

3.1. Geomorfología Regional

Según Gutiérrez, V. (1981), el área de estudio está situada geográficamente en la vertiente Oriental de la Cordillera Occidental de los Andes de Perú, lo que resulta ser el factor principal para el resultado presente de las formas del terreno.

Basándose en criterios morfológicos, litológicos, pendientes y estructurales, se establecieron las unidades geomorfológicas a nivel de unidades morfoestructurales. Según el cuadrángulo 29-r, geomorfológicamente se sitúa en el Relieve Montañoso con zonas glaciadas, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4. *Unidades geomorfológicas regionales del cuadrángulo del Santo Tomas 29-r.*



Fuente: *Gutiérrez, V. (1981). Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas. Hojas :29-p, 29-q y 29-r. Boletín N°35 Serie A. Carta Geológica Nacional. Ingemmet. Lima-Perú. Pág. 10.*

En el área estudiada se trata de una zona de montaña, conformada por una superficie ondulada y otras veces es escarpado, y con poca vegetación y abundante pasto interandinos presencia de pastizales ichu con pendientes mixtas.

Morfológicamente ofrece un paisaje moderadamente agreste, constituyendo los lugares de mayor altitud (3936.45 a 4281.41 m.s.n.m.).

3.1.1. Abanico de Piedemonte (Ab)

El "abanico de piedemonte" es un rasgo geológico y geográfico frecuentemente vinculado con las áreas de transición entre las llanuras y las montañas. Es una acumulación cónica o en forma de abanico de sedimentos y materiales que son llevados desde las montañas hasta las zonas bajas por procesos de ríos. Estos conglomerados de piedra son el producto de la erosión, el traslado y la deposición de materiales que suceden en las zonas montañosas.

Los abanicos de piedemonte poseen una forma distintiva donde los sedimentos se acumulan en una forma de cono o abanico que se proyecta hacia las zonas bajas desde la cima de las montañas. La fuerza principal que impulsa la creación de un abanico de piedemonte son los ríos y arroyos que bajan de las montañas. Estos cuerpos acuáticos llevan sedimentos, rocas y otros elementos erosionados desde las cumbres y los almacenan en el abanico.

Los componentes que se depositan en un abanico de piedra pueden fluctuar en su magnitud, desde cantos rodados y guijarros hasta sedimentos de menor tamaño como arena y limo.

Figura 5. *Abanico de Pie de Monte en el sector de estudio (Ab)*



Fuente: *Elaboración propia*

3.1.2. Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)

Corresponde a afloramientos de roca sedimentaria, afectados por procesos tectónicos y erosivos, conformados por rocas de tipo conglomerados, areniscas, lutitas, lodolitas, calizas y cuarcitas. Presentan laderas con pendientes medias a fuertes.

Figura 6. *Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)*



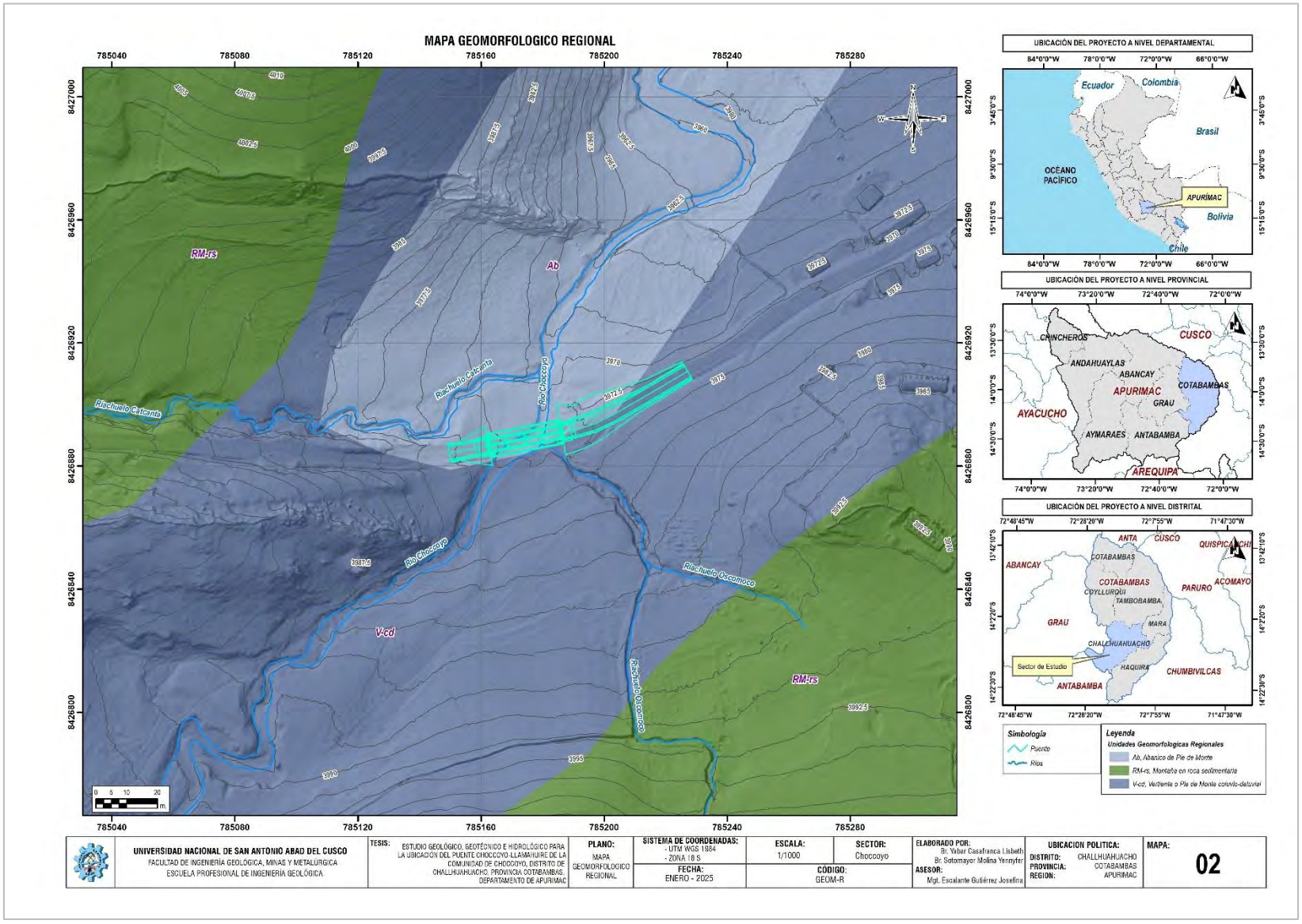
Fuente: *Elaboración propia*

3.1.3. Vertiente o Piedemonte Coluvio – Deluvial (V-cd)

El concepto de "piedemonte" alude a una estructura geográfica que generalmente se ubica en las pendientes de una cadena montañosa o de cordillera. El piedemonte representa la transición entre las zonas bajas y altas, distinguiéndose por una topografía que usualmente se desplaza de manera suave desde las planicies o cumbres hacia las altitudes más marcadas de las montañas. Aquí se presentan algunas particularidades fundamentales del piedemonte:

- Transición geográfica: El piedemonte es un área intermedia entre las zonas bajas y las montañas. Esta transformación es paulatina y se manifiesta en la topografía, la flora y otros elementos del ambiente.
- Topografía: La topografía del piedemonte suele ser más irregular y complicada que la de las tierras bajas, pero menos pronunciada que las montañas mismas. Podría abarcar colinas suaves, terrenos inclinados y pequeñas depresiones.

Figura 7. *Mapa geomorfológico regional del sector de estudio en Chocccoyo*



3.2. Geomorfología Local

El área de estudio se ubica en un relieve montañoso de la cordillera andina, con evidencia de modelado glaciar reciente en las cimas circundantes. Se reconocieron 5 unidades geomorfológicas locales en el sector Choccoyo, cuya disposición espacial queda documentada en las Figuras 11 y 12 (vista SE y NE del cruce del río Choccoyo, a 4,030.5 m.s.n.m.).

3.2.1. Cauce de drenaje (CdD)

Corresponde al lecho activo del río Choccoyo, de trazado sinuoso y baja sinuosidad relativa, que atraviesa transversalmente el sector de estudio. En el punto de cruce evidencia un ancho reducido con depósitos de fondo de grava y bloques subredondeados, consistente con un régimen de alta pendiente típico de cabecera de cuenca altoandina.

3.2.2. Terrazas (Trz)

Superficies subhorizontales adyacentes al cauce, generadas por incisión y abandono progresivo de antiguos niveles de llanura de inundación. En Choccoyo se identifican en ambas márgenes del río, a un nivel ligeramente elevado respecto al cauce actual, con cobertura de suelo orgánico y uso actual de pastoreo.

3.2.3. Llanuras de Inundación (LlIn)

Franja de terreno de baja pendiente contigua al cauce activo, susceptible de anegamiento durante crecidas estacionales. En el sector se presenta como una superficie estrecha y discontinua a ambos lados del cauce de drenaje, condicionada por el confinamiento topográfico del valle.

3.2.4. Laderas de Montaña (LdM)

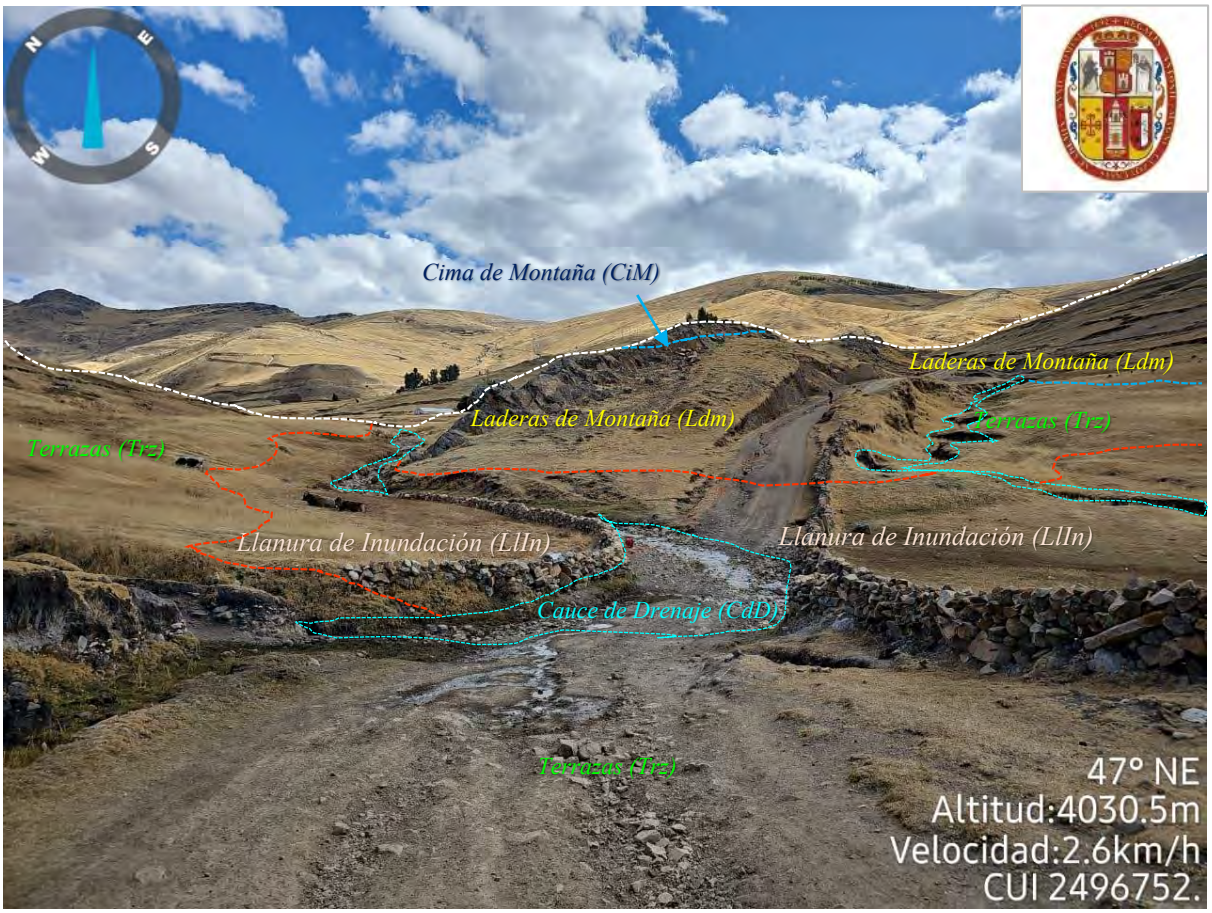
Superficies de fuerte pendiente que enlazan las cimas con el fondo de valle, aquí con inclinaciones de hasta 47° NE medidas en campo. Constituyen la unidad de mayor extensión

areal del sector y concentran el mayor potencial de procesos de geodinámica externa (reptación, erosión de laderas) por su pendiente crítica.

3.2.5. Cima de montaña (Ci-M)

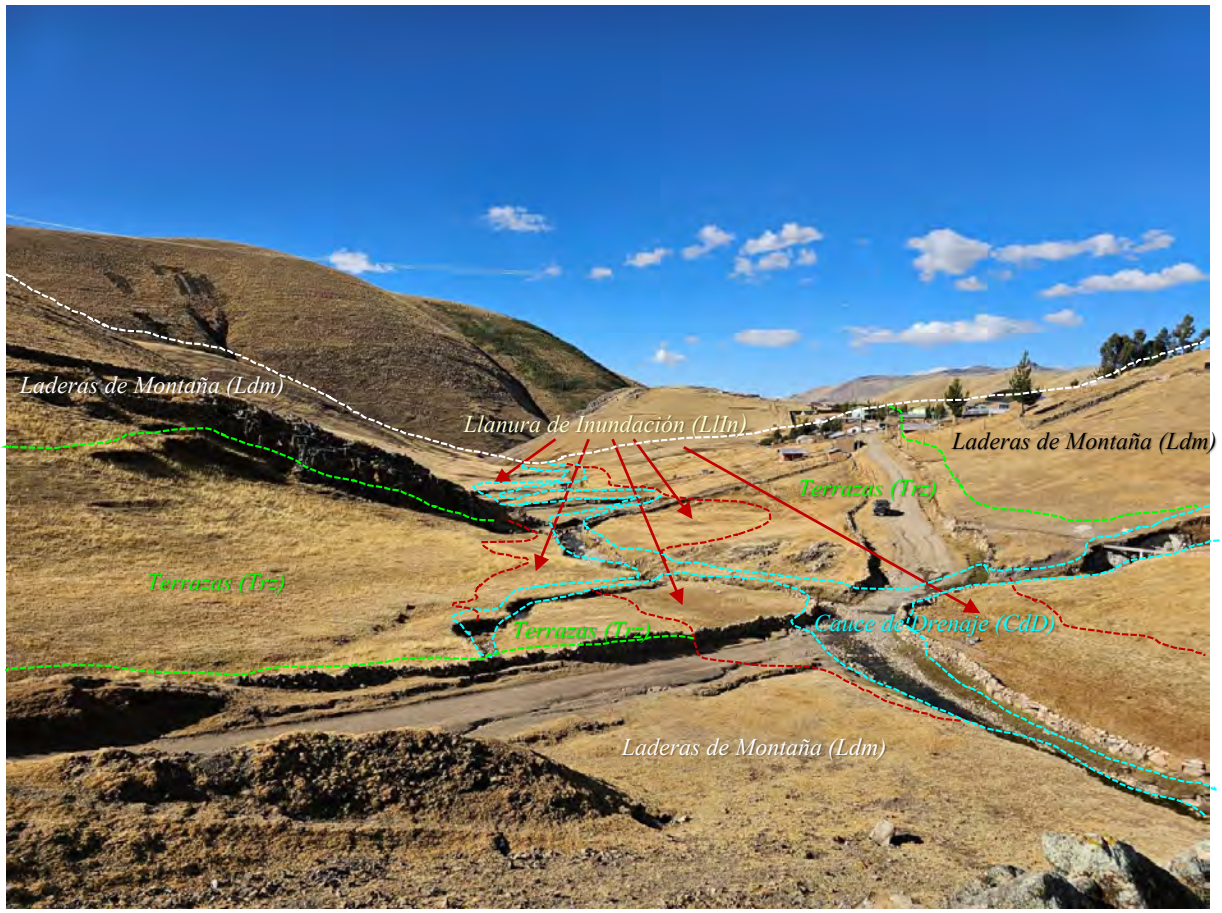
Superficie convexa que define el límite superior de las laderas y actúa como divisoria de aguas local. En Choccoyo delimita las microcuencas que drenan hacia el cauce principal, condicionando la dirección de aporte hídrico hacia el sector de cruce del puente.

Figura 8. *Unidades Geomorfológicas Locales*



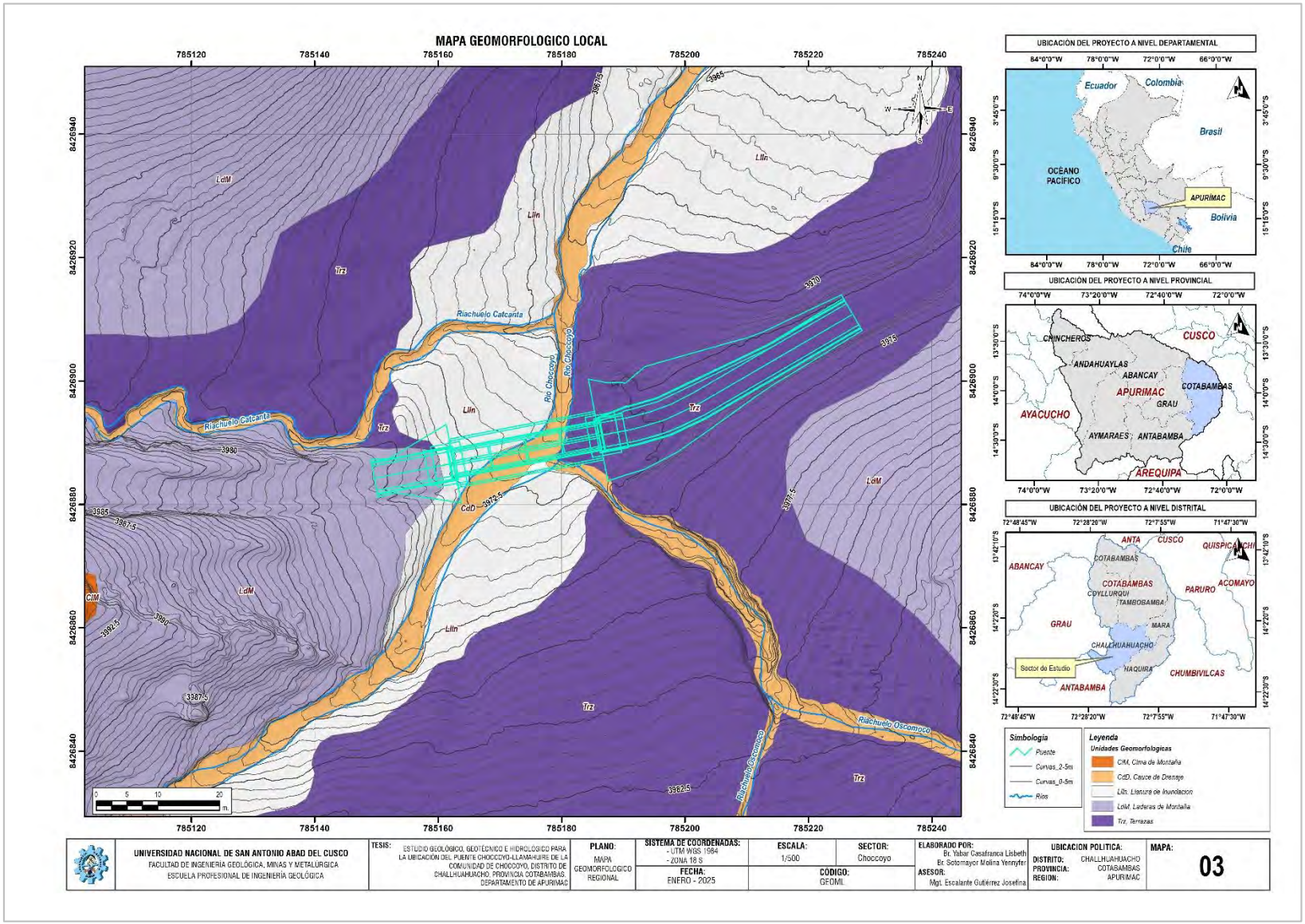
Fuente: *Elaboración propia*

Figura 9. *Unidades Geomorfológicas Locales vista NE*



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 10. *Mapa geomorfológico local del sector de estudio en Choccoyo*



3.3. Pendientes

A nivel regional, el área de estudio se sitúa geomorfológicamente en un terreno montañoso con zonas glaciadas, en la cordillera andina. Se han identificado 05 unidades geomorfológicas como descriptores, las cuales se caracterizan por su relevancia para nuestro estudio.

3.3.1. Pendiente Llano a inclinado de 0°a 5°

Corresponde a zonas con pendientes muy bajas con cambios muy bajos en temas de pendientes.

3.3.2. Pendiente Moderadamente Empinado de 5°a 15°

Hace referencia a áreas con pendientes mínimas en las áreas bajas y en las pendientes de las pendientes superiores, estas geoformas son de origen aluvial.

3.3.3. Pendiente Empinado de 15°a 25°

Se refiere a áreas con pendientes moderadas en laderas o vertientes montañosas, las cuales se atribuyen a terrenos de procedencia coluvial, generados por la meteorización de los afloramientos rocosos cercanos.

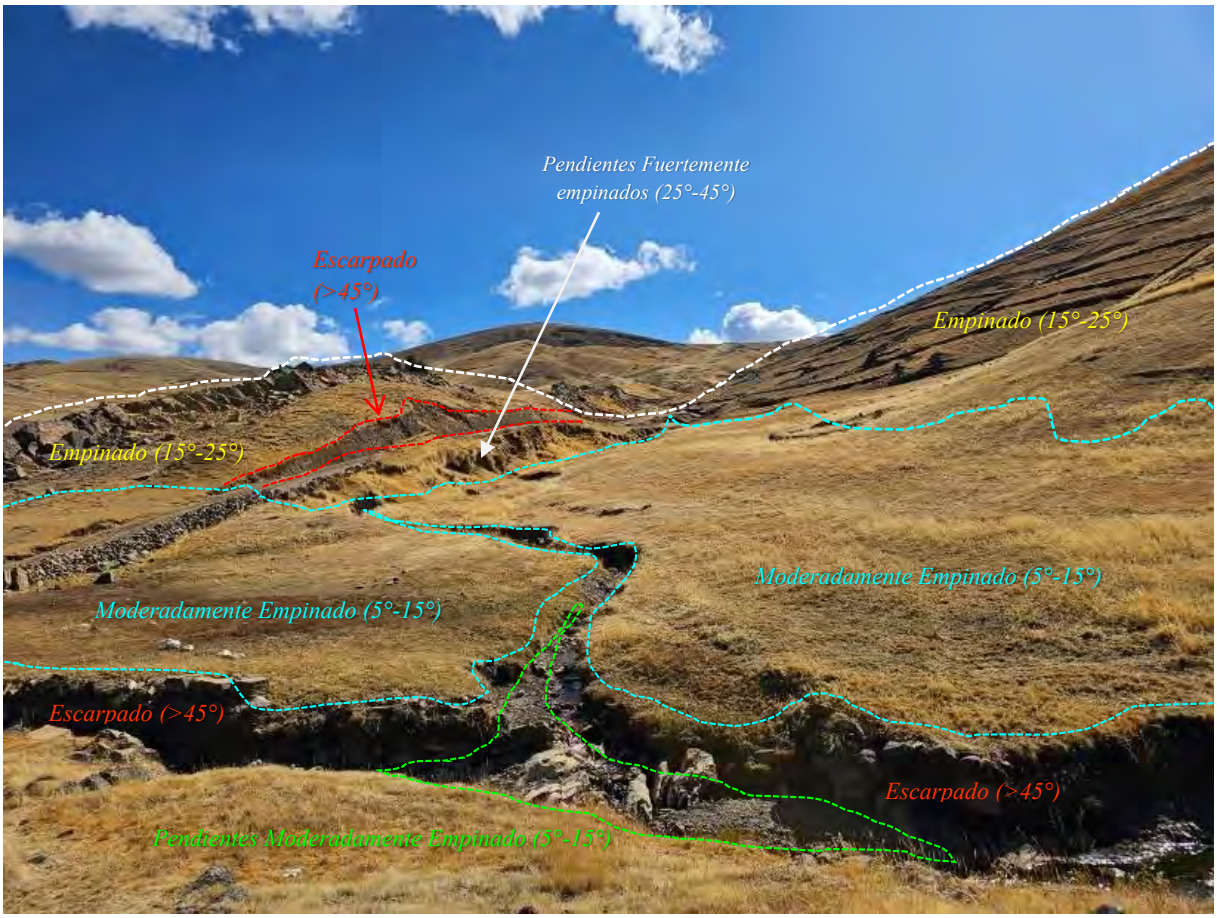
3.3.4. Pendiente Fuertemente Empinado de 25°a 45°

Se refiere a áreas con pendientes pronunciadas en laderas o vertientes montañosas que son atribuibles a terrenos de procedencia coluvial, así como a algunas erupciones rocosas cercanas.

3.3.5. Pendiente Escarpado >45°

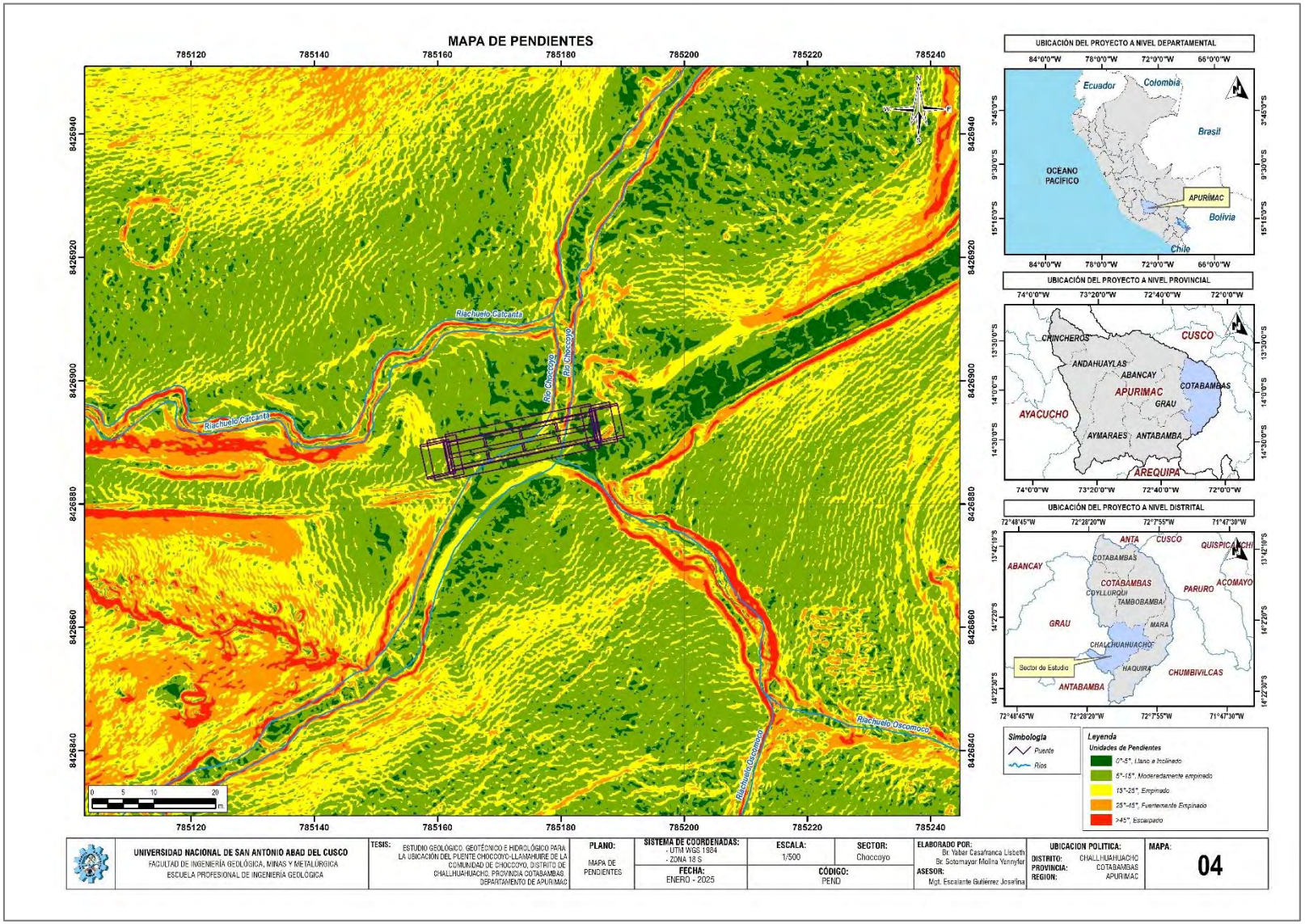
Se refiere a áreas con inclinaciones pronunciadas y abruptas en las laderas o vertientes montañosas, las cuales son atribuibles a los afloramientos rocosos del área.

Figura 11. *Unidades de Pendientes del sector de estudio en Choccoyo*



Fuente: *Elaboración propia*

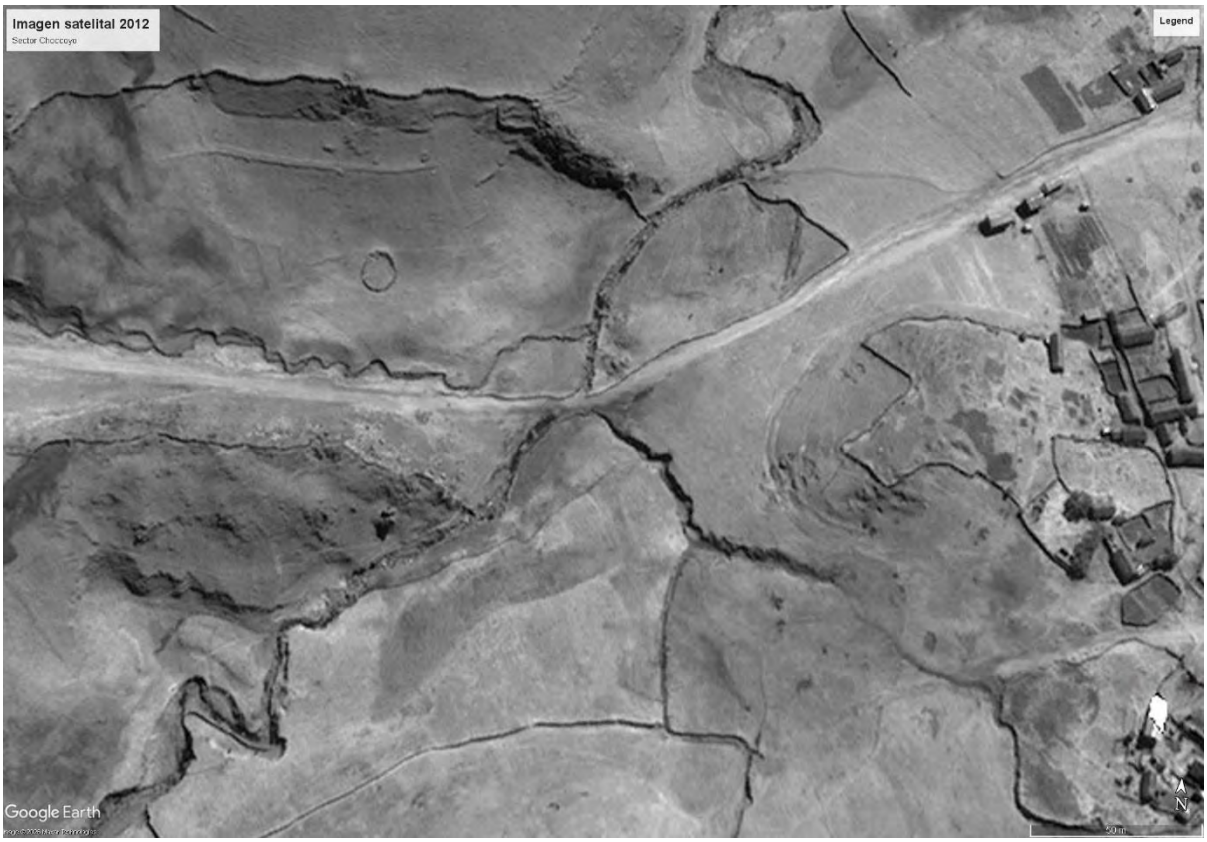
Figura 12. *Mapa de pendientes del sector de estudio*



3.4. Geomorfología y Dinámica Fluvial Local del Sitio del Puente

En el entorno inmediato de los estribos, la terraza fluvial donde se proyecta el estribo izquierdo se eleva 1.2 a 1.8 m sobre el lecho actual del río Choccoyo, mientras que el estribo derecho se emplaza directamente sobre el afloramiento rocoso del margen, sin cobertura aluvial significativa. La comparación de imágenes satelitales históricas (2010-2024) no evidencia migración lateral significativa del cauce en el tramo de estudio, aunque sí se observa una leve tendencia a la profundización del cauce (incisión), consistente con la pendiente media del lecho. Estas condiciones deben considerarse en el diseño de la protección de ribera, dado que la terraza del estribo izquierdo, de menor elevación relativa, presenta mayor exposición ante eventos de creciente extraordinaria.

Figura 13. *Imagen satelital del sector de estudio 2012*



Fuente: *Elaboración propia en base a Google earth*

Figura 14. *Imagen satelital del sector de estudio 2019*



Fuente: *Elaboración propia en base a Google earth*

Figura 15. *Imagen satelital del sector de estudio 2019*



Fuente: *Elaboración propia en base a Google earth*

Figura 16. *Imagen satelital del sector de estudio 2024*



Fuente: *Elaboración propia en base a Google earth*

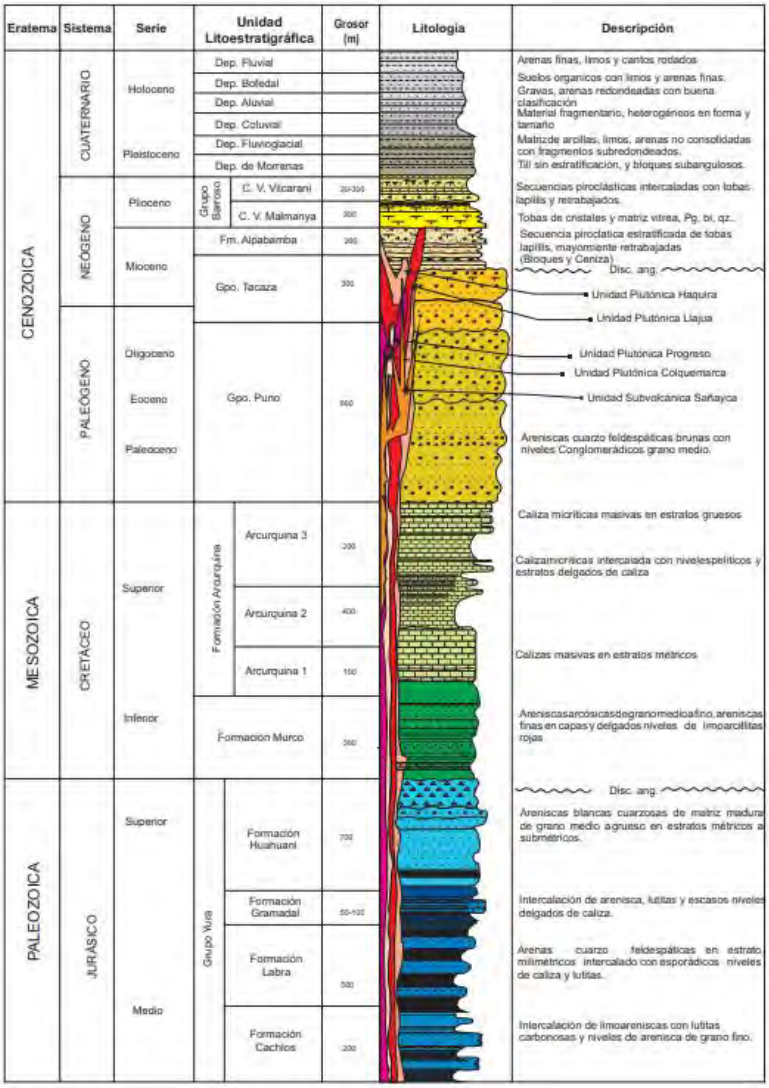
Capítulo IV

Geología

4.1. Geología Regional

Regionalmente el proyecto de investigación se encuentra ubicado cuadrángulo Santo Tomas 29-r, y las áreas de las infraestructuras proyectadas, que se encuentran regionalmente sobre depósitos Aluviales.

Figura 17. *Columna Estratigráfica del Cuadrángulo de Santo Tomas 29-r.*



Fuente: *Ingemmet. (2003). Memoria Descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Santo Tomas (29-r). Pág. 13*

4.1.1. Formación Gramadal (Js-g)

Acorde a Galdós y Carrasco (2003), en términos litológicos, se compone de lutitas carbonosas intercaladas con estratos de areniscas grises, y en la parte superior con niveles de hasta tres metros de caliza. Se encontró fósiles en un nivel de caliza de 40 cm de grosor en la región de Quiñota. Infrayace concordantemente a la Formación Hualhuani y tiene aproximadamente de 100 a 200 m de grosor.

4.1.2. Formación Labra (Js-l)

Acorde a Galdós y Carrasco (2003), La litología se compone de una intercalación de areniscas cuarzo feldespáticas con limoarenas y estratos finos de lutita carbonosa. En las cercanías de Haquira, se observan estratos de filitas, y se observan secuencias de grano y estrato en ascenso. Asimismo, infrayace concordantemente a la Formación Gramadal y posee un grosor de 1000 m.

4.1.3. Depósito aluvial (Qh-al)

Acorde a Galdos y Carrasco (2002), Están constituidos principalmente por gravas, cantos angulosos de diferentes tipos de roca en matriz arenoarcillosa. Por otra parte, se hallan en terrazas antiguas y recientes. Asimismo, en las laderas de los valles y en las quebradas se les encuentra formando conos aluviales.

Fotografía 1. *Afloramientos de areniscas cuarzofedespalticas de la Formación Gramadal*



Fotografía 2. *Depósitos aluviales en el sector de estudio*



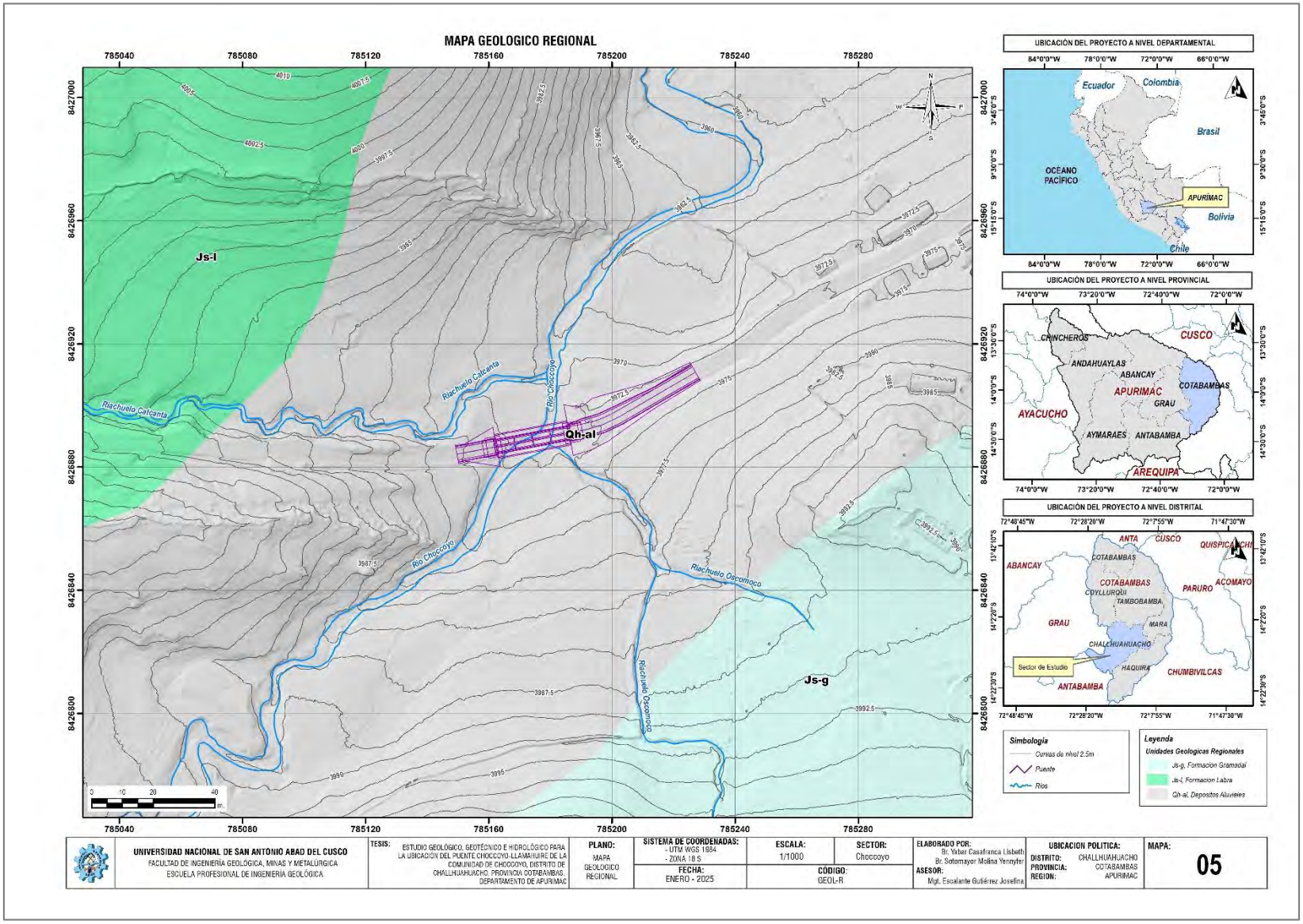
Fotografía 3. *Afloramientos de areniscas de la Formación Labra*



Fotografía 4. *Areniscas grises de la Formación Gramadal*



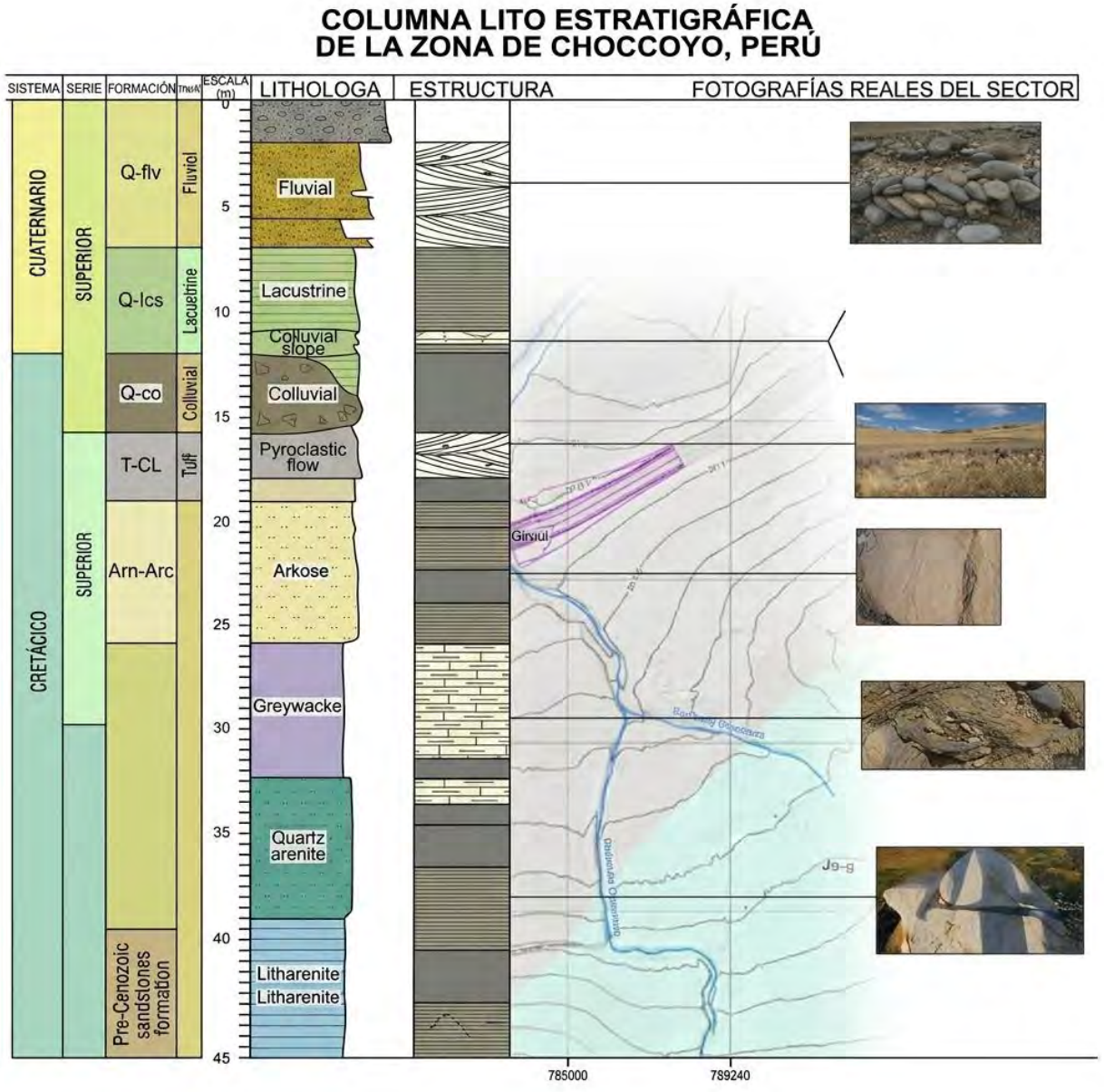
Figura 18. *Mapa geológico regional del sector de estudio Choccoyo*



4.2. Geología Local

Según la cartografía efectuada en terreno, se han reconocido las siguientes unidades litoestratigráficas locales, dentro del área de la Infraestructura propuesta:

Figura 19. *Columna estratigráfica a nivel local del sector de estudio*



Fuente: *Elaboración propia.*

4.2.1. Depósitos Fluviales (Q-flv)

Según Miall, A. (2016), Los depósitos fluviales son una parte fundamental de la geología sedimentaria, representando el registro preservado de la actividad de los ríos. Son el resultado de procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos por corrientes de agua dulce. Estos depósitos se encuentran en una variedad de ambientes no marinos, incluyendo valles intermontanos, llanuras aluviales, abanicos aluviales y llanuras costeras.

Según Miall, A. (2016), La naturaleza de los depósitos fluviales, incluyendo su composición de litofacies, registro estratigráfico vertical y arquitectura, refleja la interacción de diversos procesos, desde el serpenteo de canales individuales a través de una llanura de inundación hasta los efectos a largo plazo de la elevación y la subsidencia. Son indicadores sensibles de procesos tectónicos y también contienen firmas sutiles del clima en el momento de la deposición.

Las características de los depósitos fluviales varían significativamente según el tipo de sistema fluvial (ej. ríos trenzados, meándricos o anastomosados), el régimen de flujo, la carga de sedimentos y la estabilidad de las orillas. Generalmente, se distinguen dos ambientes principales:

- Canales: Son las vías activas de transporte de sedimentos, donde se depositan materiales más gruesos como gravas y arenas, formando barras, dunas y otros cuerpos sedimentarios con bases erosivas y una variedad de estructuras sedimentarias.
- Llanuras de inundación: Áreas adyacentes a los canales que son inundadas periódicamente. Aquí se depositan sedimentos más finos, como limos y arcillas, que son transportados en suspensión durante las crecidas. Estos depósitos suelen ser finamente laminados y pueden contener materia orgánica y fósiles de agua dulce (Evans, 2017).

Fotografía 5. *Depósitos fluviales en el sector de estudio*



4.2.2. Depósitos Coluviales (Q-Co)

González et. al. (2002), en su obra "Ingeniería Geológica", describen los depósitos coluviales como materiales heterogéneos, formados por la alteración in situ de las rocas y su posterior transporte por gravedad. Enfatizan su composición variable, que incluye fragmentos angulosos de roca englobados en una matriz limo-arcillosa. Desde la perspectiva de la ingeniería, los autores señalan que estos depósitos suelen ser poco consolidados, muy porosos y, a menudo, muy permeables (dependiendo de la proporción de finos), lo que los hace particularmente susceptibles a la inestabilidad y a la formación de movimientos en masa ante cambios en las condiciones hídricas (p.ej., lluvias intensas). La variabilidad espacial de sus propiedades es un desafío significativo para la caracterización geotécnica.

Fotografía 6. *Depósitos Coluviales en el sector de Estudio*



4.2.3. Depósitos Lacustres (Q-Lcs)

Según Reading (1996), en su obra clásica sobre ambientes sedimentarios, describe los depósitos lacustres como una amplia variedad de sedimentos que se acumulan en cuerpos de agua lénticos (con poca o ninguna corriente), desde pequeños estanques hasta grandes lagos. La naturaleza de estos depósitos está fuertemente influenciada por factores como el clima (que controla el aporte de agua y sedimentos), la tectónica (que determina la subsidencia de la cuenca), la geomorfología del entorno y la química del agua del lago (salinidad, pH).

Fotografía 7. *Depósitos Lacustres en el sector de Estudio*



4.2.4. Areniscas (Arn)

Los diferentes tipos de areniscas se detallan a continuación:

4.2.4.1. Litoarenitas (Lm-Arn)

Son rocas sedimentarias (<15% de matriz) con >90% de fragmentos de roca y con un porcentaje en cuarzo y feldespatos de 5 % respectivamente. Y cuyo afloramiento se encuentra intensamente fracturado en dirección SW.

Fotografía 8. *Afloramientos de Litoarenitas*



4.2.4.2. Grauvacas Líticas (Arn-GwLi)

Son rocas sedimentarias (>15% de matriz) con 45 % de fragmentos de roca y con un porcentaje en cuarzo y feldespatos de 25 y 30 % respectivamente. Y cuyo afloramiento se encuentra intensamente fracturado en dirección NE del puente propuesto.

Fotografía 9. *Afloramientos de Grauvacas Líticas*



4.2.4.3. Arcosas (Arn-Arc)

Son rocas sedimentarias (>15% de matriz) con 15 % de fragmentos de roca y con un porcentaje en cuarzo y feldespatos de 25 y 60 % respectivamente. Y cuyo afloramiento se encuentra fracturado e intensamente alterado en dirección N del puente propuesto.

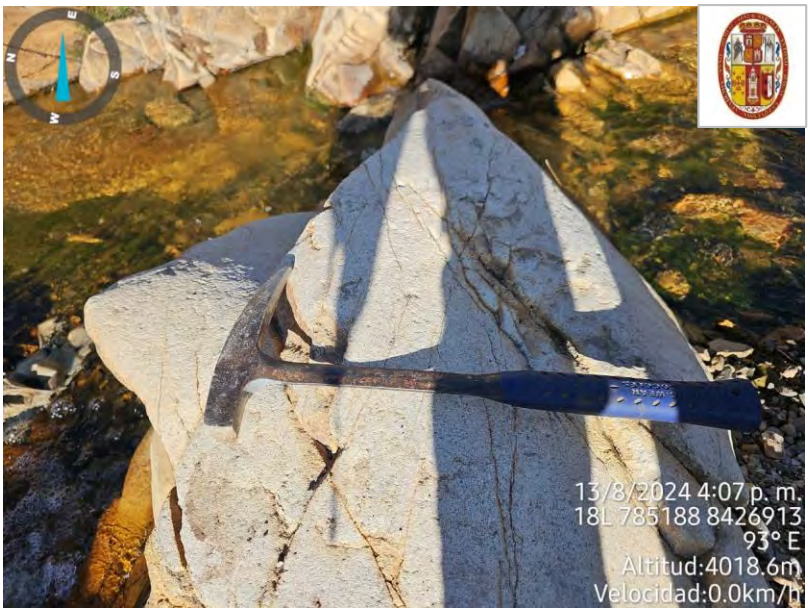
Fotografía 10. *Afloramientos de Arcosas*



4.2.4.4. Cuarzoarenitas (Arn-Qz)

Son rocas sedimentarias (>15% de matriz) con 2.5 % de fragmentos de roca y con un porcentaje en cuarzo y feldespatos de 95 y 2.5 % respectivamente. Y cuyo afloramiento se encuentra fracturado y levemente alterado en dirección N y S del puente propuesto.

Fotografía 11. *Afloramientos de Cuarzoarenitas*



4.2.5. TUFF de Ceniza y Lapilli (T-CL)

Son rocas sedimentarias volcánicas de textura vítrea de color blanco con Bloques/Bombas: > 64mm – 5 %, Lapilli: 2-64mm – 35 %, Ceniza: < 2mm – 60 %. Y cuyo afloramiento se encuentra poco fracturado y levemente alterado en dirección N del puente propuesto.

Fotografía 12. *Afloramiento de TUFF de Ceniza y Lapilli*



Figura 20. *Mapa geológico local del sector de estudio en Choccoyo*

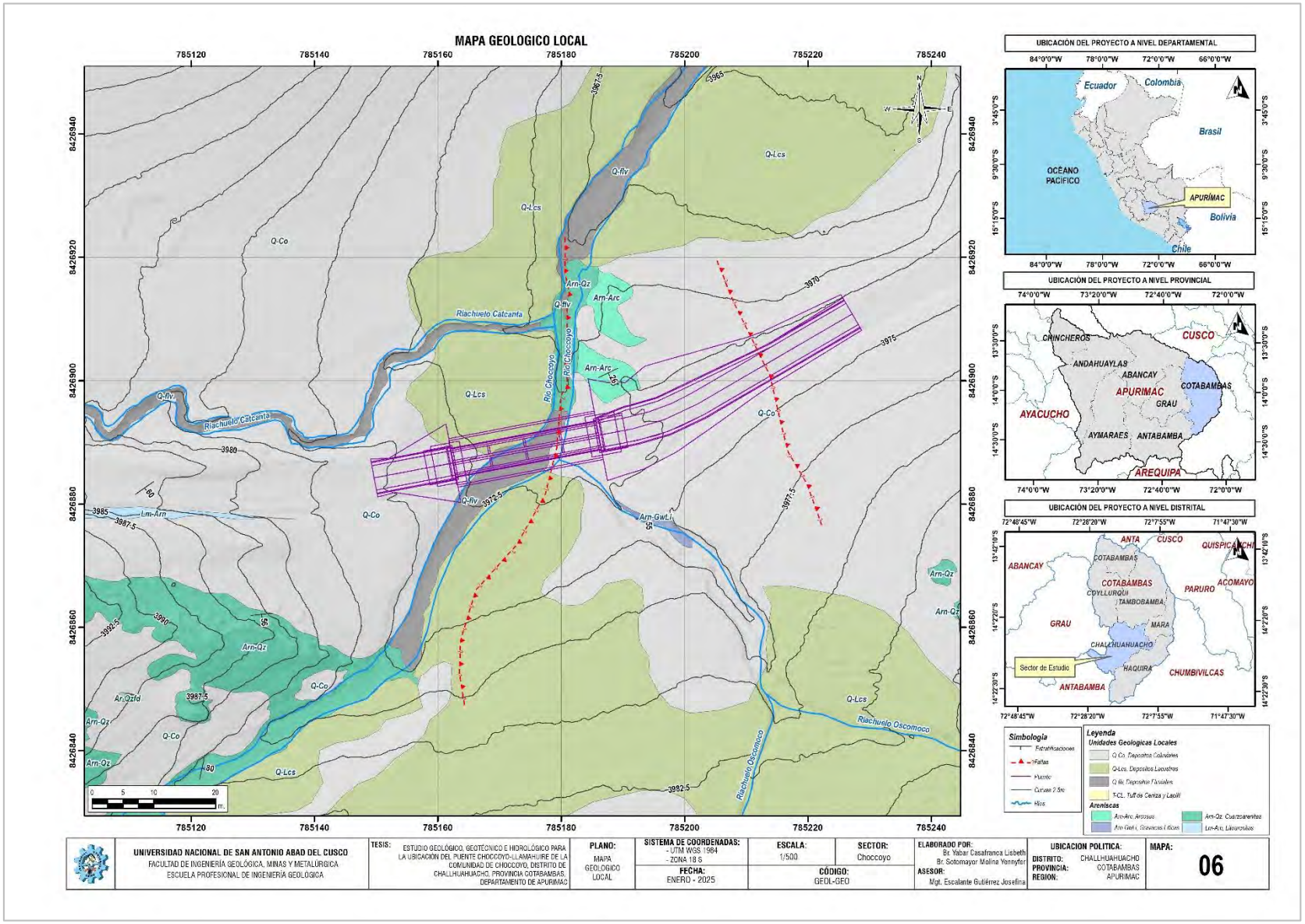
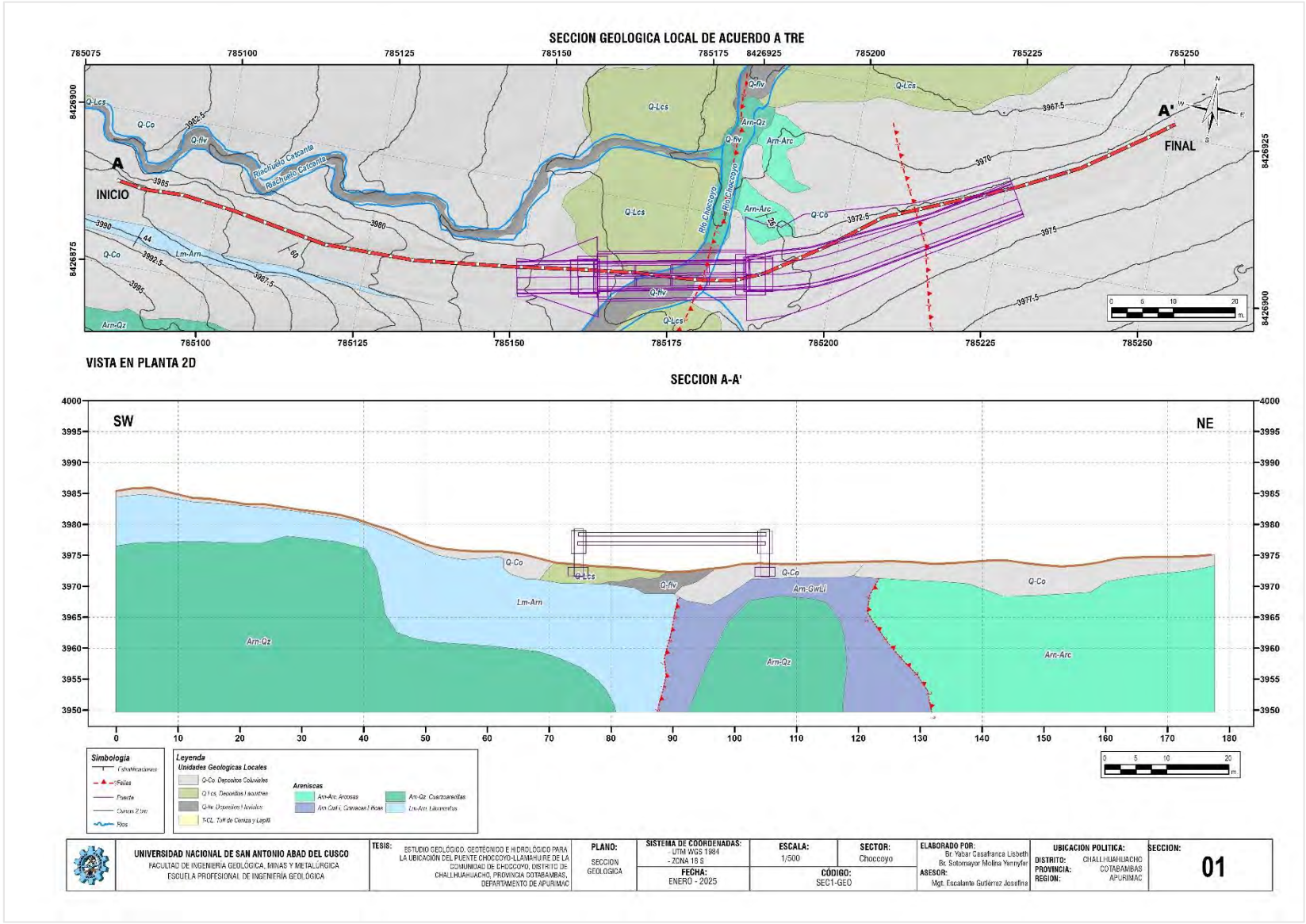


Figura 21. *Sección geológica*

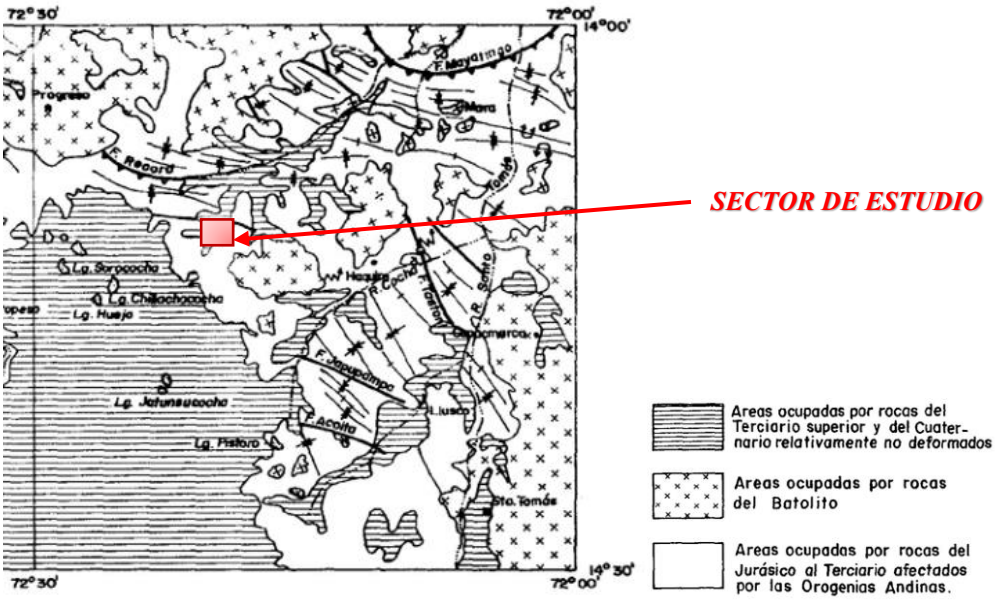


La presencia de la Formación Labra (areniscas cuarzo-feldespáticas, 1000 m de espesor regional) en el entorno del puente explica la naturaleza competente del afloramiento que sostiene el estribo derecho (RMR=67), mientras que la cobertura cuaternaria coluvio-fluvial regional explica la naturaleza blanda (SM) del estribo izquierdo. Esta asimetría litológica, de escala regional, es la causa raíz del contraste geotécnico encontrado y debe gobernar las decisiones de diseño diferenciado de cimentación.

4.3. Geología Estructural

Acorde a Gutiérrez, V. (1981), El campo de estudio específico se ubica en zonas ocupadas por rocas del Terciario Superior y del Cuaternario relativamente sin deformaciones, además de zonas ocupadas por rocas del Jurásico al Terciario afectadas por las orogenias Andinas. Dentro de los sectores previamente mencionados, se detectan pliegues regionales que superan los 15km de longitud según el ingemmet, vinculados a grandes fallas normales, inversas y de rumbo.

Figura 22. *Esquema estructural del cuadrángulo de Santo Tomas*



Fuente: *Gutiérrez, V. (1981). Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas. Hojas :29-p, 29-q y 29-r. Boletín N°35 Serie A. Carta Geológica Nacional. Ingemmet. Lima-Perú. Pág. 64*

4.4. Geología Estructural Local

En esta sección se conocerá la disposición de las estructuras de las unidades geológicas, que a su vez nos permitirá entender la disposición estructural del sector.

4.4.1. Estratificaciones (S)

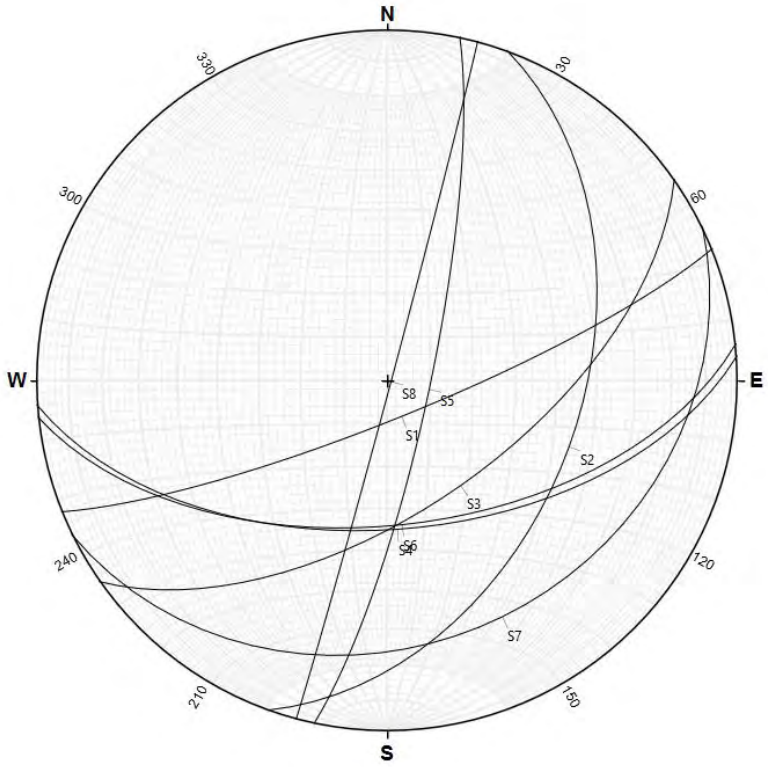
Se caracterizan por la disposición en capas de los sedimentos, rocas sedimentarias y determinadas rocas metamórficas. En referencia tanto a la geometría (aparato en niveles sucesivos) como a la génesis (intervalos sucesivos de sedimentación). En el sector las estratificaciones se localizaron sobre afloramientos de areniscas.

Para ello, se examinó la información de estratificaciones recolectada en campo, utilizando estereografía en el programa Stereonet de Rick Allmendinger.

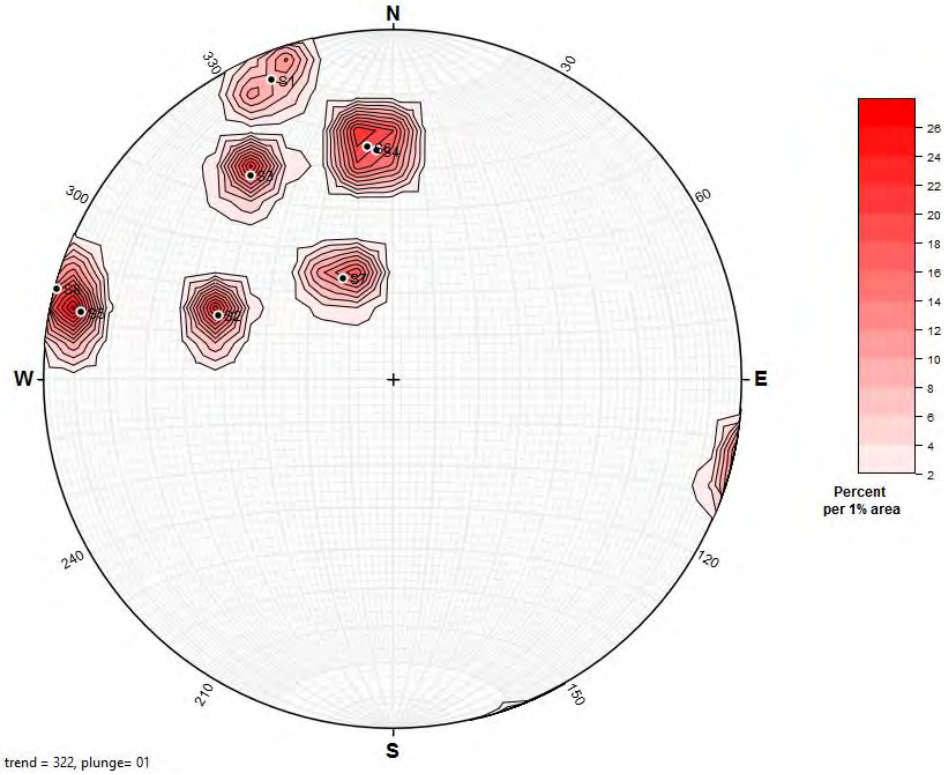
Fotografía 13. *Estratificaciones en afloramientos de areniscas*



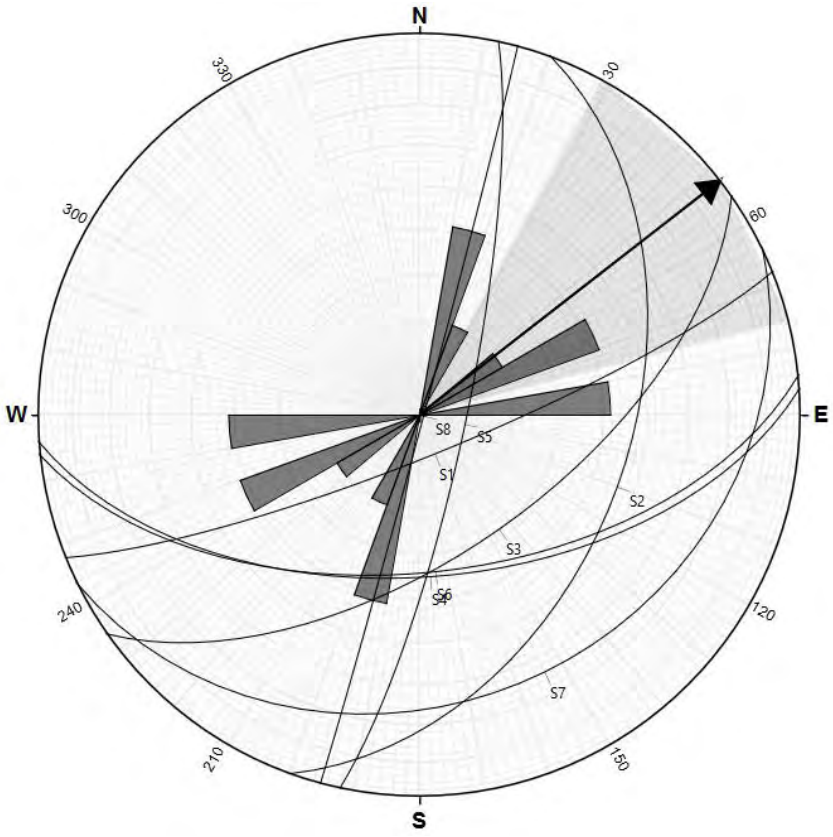
Fotografía 14. *Planos Estratificaciones (S)*



Fotografía 15. *Polos de Estratificaciones (S)*



Fotografía 16. *Roseta de Estratificaciones (S)*



Según las figuras previas, se explica el análisis estereográfico del área de estudio. En la figura 14 se puede apreciar que los planos de estratificación son variables, en la figura 16 se puede apreciar que la mayoría de las estratificaciones tienen un rumbo NE, y finalmente, en la figura 15 se pueden apreciar los polos de los planos de estratificación, los cuales podríamos clasificar en 6 grupos distintos.

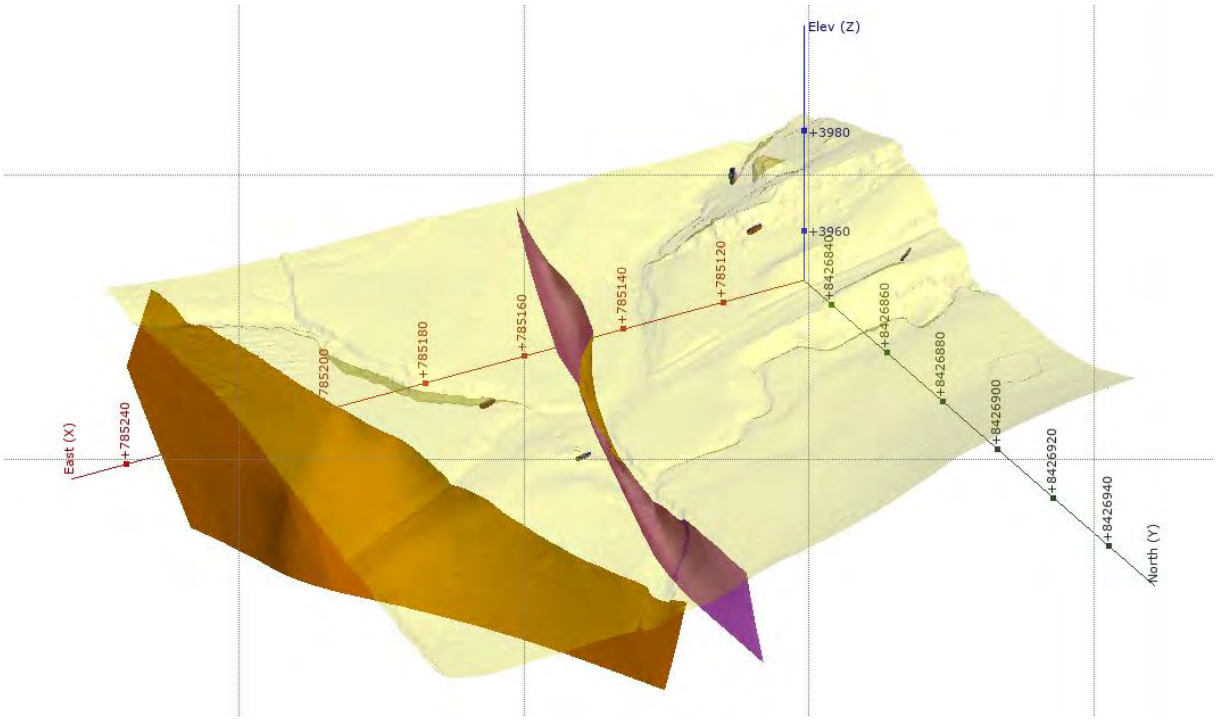
Tabla 4.*Coordenadas y descripción estructural de las estratificaciones del sector de estudio*

PUNTO	ESTE	NORTE	AZ	BZ	DIP	DIPDIR	CD	TIPO	Símbolo
1	785049.00	8426887.00	68	81	81	158	SE	Estratificación	S1
2	785090.00	8426883.00	20	44	44	110	SE	Estratificación	S2
3	785113.00	8426885.00	55	60	60	145	SE	Estratificación	S3
4	785193.00	8426884.00	86	55	55	176	SE	Estratificación	S4
5	785122.00	8426837.00	12	80	80	102	SE	Estratificación	S5
6	785132.00	8426864.00	84	56	56	174	SE	Estratificación	S6
7	785191.00	8426900.00	64	26	26	154	SE	Estratificación	S7
8	785186.00	8426955.00	15	89	89	105	SE	Estratificación	S8

4.4.2. Fallas (F)

De acuerdo con el estudio geofísico del proyecto se estableció fallas geológicas inferidas, las cuales poseen direcciones preferentes N-S con pequeñas variaciones en sus inclinaciones.

Figura 23. *Fallas Geológicas Inferidas*

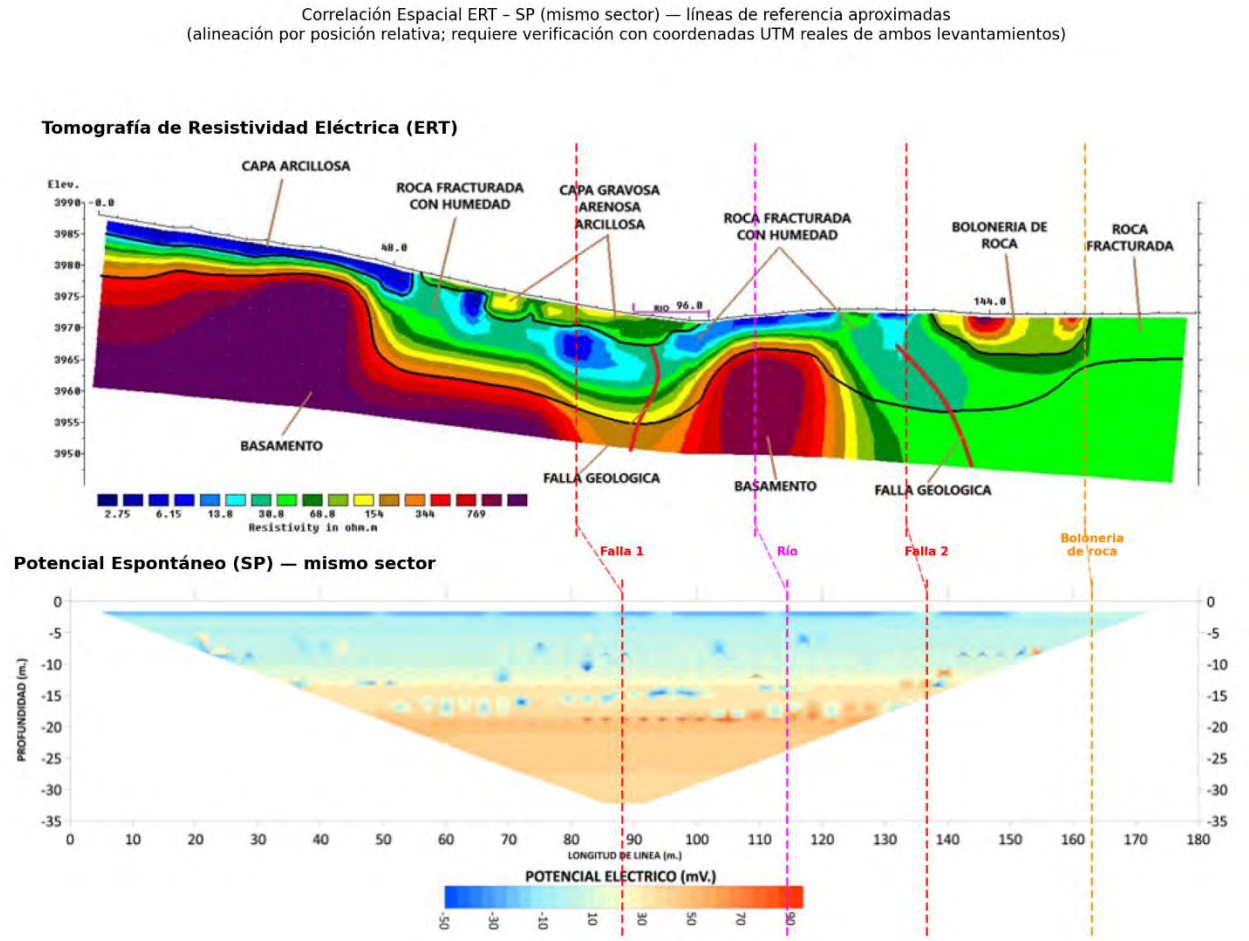


Las estructuras de falla cartografiadas en el área de estudio (Plano MP06) fueron inferidas mediante fotointerpretación y continuidad estructural del basamento sedimentario, sin evidencia de desplazamiento en superficie. La cobertura cuaternaria (Q-flv, Q-Lcs, Q-Co) que suprayace discordantemente a dichas estructuras no muestra desplazamiento, flexura ni discontinuidad en su continuidad lateral, lo que constituye el criterio principal para clasificarlas como estructuras sin actividad reciente (pre-Cuaternaria), sin incidencia geotécnica directa sobre las obras proyectadas. No obstante, dado el carácter inferido de estas estructuras y la importancia de la obra, se recomienda como medida preventiva de bajo costo el establecimiento de un control topográfico geodésico en los estribos del puente durante la etapa constructiva y los primeros años de operación.

4.5. Hidrogeología Local

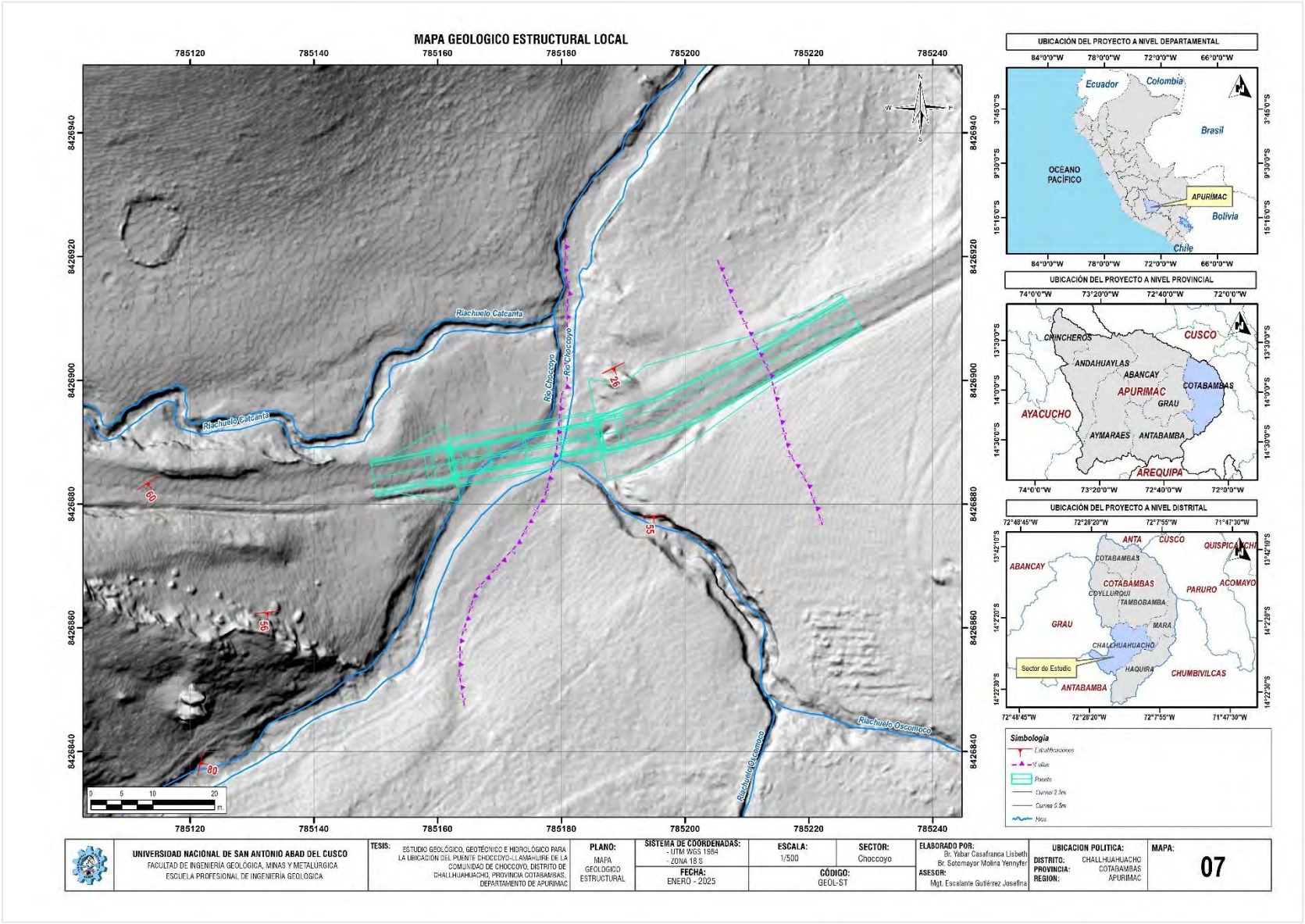
Desde el punto de vista hidrogeológico, en el área de estudio se distinguen dos dominios: (a) un acuífero libre de tipo poroso, alojado en los depósitos cuaternarios fluviales y coluviales (Q-flv, Q-Co), de permeabilidad estimada moderada a baja en función de su matriz limo-arcillosa, donde se registró el nivel freático a -1.00 m en la calicata C-02 (estribo izquierdo); y (b) un acuífero fisurado alojado en las cuarzoarenitas de la Formación Labra, cuya porosidad secundaria, según los ensayos de tomografía eléctrica y potencial espontáneo, se encuentra saturada hasta aproximadamente 8 m de profundidad, sin evidenciar un nivel freático somero generalizado en el estribo derecho. Esta heterogeneidad hidrogeológica entre estribos condiciona el diseño de la cimentación y obliga a una protección anticorrosiva diferenciada (numeral 7.5).

Figura 24. *Correlación ERT y SP*



La correlación espacial entre el perfil de resistividad eléctrica (ERT) y el perfil de potencial espontáneo (SP) del mismo sector es consistente con un modelo hidrogeológico de infiltración activa en el primer nivel (0-15 m), controlada estructuralmente por las zonas de falla identificadas en el ERT, con acumulación de agua en un posible horizonte saturado somero-medio apoyado sobre el contacto superior del basamento (>15 m). La anomalía positiva puntual coincidente con la 'Boloneria de roca' (~144 m) se interpreta como de origen mineralógico/redox más que hidrogeológico, dado el carácter resistivo y poco fracturado de esa unidad.

Figura 25. *Mapa geológico estructural del sector de estudio en Choccoyo*



Capítulo V

Hidrología de Máximas Avenidas e Hidráulica

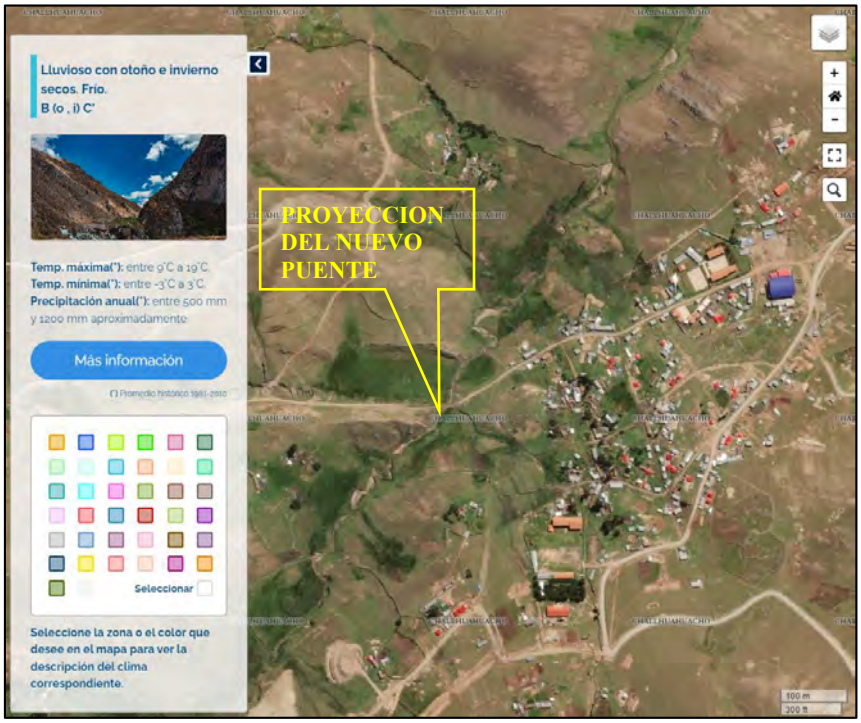
Para el modelamiento hidrológico e hidráulico para el diseño de puente propuesto se ha recurrido al software HEC-HMS y HECRAS, los cuales son permitidos según la normativa peruana detallada en el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC.

5.1. Condiciones Climatológicas

La comunidad campesina de Choccoyo según el mapa climático del Perú de acuerdo a Senamhi y según el método de Warren Thornthwaite - SENAMHI (2020), posee un clima Lluvioso con otoño e inviernos secos. Frio (B (o, i) C').

Cabe resaltar que esta región presenta durante el año, en promedio, temperaturas máximas de 9°C a 19°C y temperaturas mínimas de -3°C a 3°C. Además, los acumulados anuales de precipitación de pueden variar desde los 500 mm hasta los 1200 mm aproximadamente.

Figura 26. *Unidad climática según Senamhi*



Fuente: SENAMHI

5.1.1. Régimen Pluviométrico Mensual.

La estación Tambobamba (1996-2024) registra una precipitación media anual de 687 mm, con el siguiente régimen mensual aproximado: meses húmedos (diciembre-marzo) concentran el 72% del total anual, con máximos en enero-febrero; meses secos (mayo-agosto) representan menos del 5% del total anual, consistente con la clasificación climática Lluviosa con otoño e invierno secos, Fría (B(o,i)C') de Thornthwaite-SENAMHI (2020)

5.2. Ubicación Hidrográfica

El sector en estudio, hidrográficamente se encuentra ubicada en: Subcuenca del rio Challhuahuacho, Intercuenca Alto Apurímac, UH N4 Alto Ucayali, UH N3 Ucayali, UH N2 Alto Amazonas y UH N1 región Hidrográfica del Amazonas.

5.3. Evaluación de la Información Meteorológica

En la zona de estudio no se cuenta con ninguna información hidrométrica ni pluviométrica. Por ello para determinar las caudales de diseño se ha utilizado las estaciones meteorológicas: Curpahuasi, Tambobamba y Santo Tomas por contar con información con más de 14, 29 y 25 años de registro respectivamente, y así también se encuentra más próximo a la zona de estudio. En el siguiente cuadro se muestra las estaciones meteorológicas:

Figura 27. *Ubicación de las Estaciones meteorológicas y la zona de estudio*

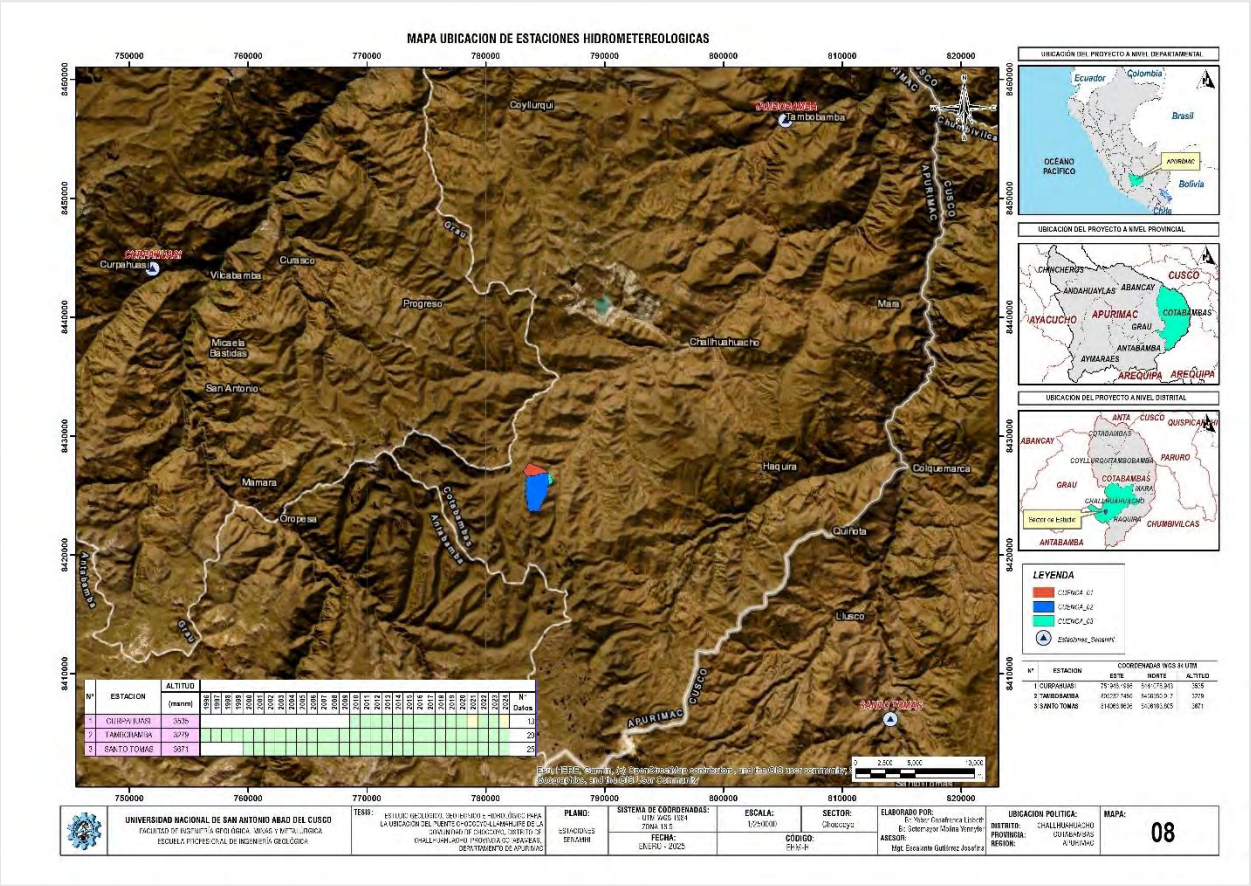


Tabla 5. *Estaciones Meteorológicas*

N°	Estación Meteorológica	Longitud	Latitud	Este	Norte	Altitud	Zona
1	Curpahuasi	72°40'.83"	14°3'46.21"	751946.497	8444076.94	3535 msnm.	18 L Sur
2	Tambobamba	72°10'30.8'	13°56'41.7"	805232.749	8456550.92	3279 msnm.	18 L Sur
3	Santo Tomas	72°5'22.3"	14°29'54.5"	814066.61	8406183.81	3796 msnm.	18 L Sur

Tabla 6. *Variables Meteorológicas*

N°	Estación Meteorológica	VARIABLES CLIMATICAS
		Precipitaciones Máximas en 24 horas
1	Curpahuasi	(2009-2024)
2	Tambobamba	(1996-2024)
3	Santo Tomas	(2000-2024)

5.4. Área del Proyecto - Infraestructura Crítica

El área del proyecto critica se encuentra en la comunidad de Choccoyo, cuya localización está afectada por la cuenca del rio Choccoyo y sus afluentes.

Figura 28. *Localización de la infraestructura critica con respecto a las cuencas del rio Choccoyo*



5.5. Parámetros Morfométricos de las Microcuencas de Estudio

En el sector de estudio se determinó que está afectado por 3 microcuencas, las cuales generarían un fenómeno de máxima avenida, sus propiedades morfométricas se detallan a continuación:

Tabla 7. *Parámetros geomorfológicos de las Microcuencas de estudio*

Parámetros Geomorfológicos		**Simbología**	**Unidades**	**Microcuenca 01**	**Microcuenca 02**	**Microcuenca 03**
1. Superficie o Área		A	**Km²**	**1.333**	**4.910**	**0.249**
2. Perímetro		P	**Km**	**6.76**	**12.65**	**3.35**
4. Longitud Axial		La	**Km**	**2.602**	**4.364**	**1.254**
5. Forma de la Cuenca	a. Ancho Promedio	Ap	**Km**	0.51	1.13	0.20
	b. Coeficiente de Compacidad	Cc	**-**	1.65	1.61	1.89
	c. Factor de forma	FF	**-**	0.20	0.26	0.16
	d. Rectángulo Equivalente	L	**Km**	2.93	5.42	1.51
		l	**Km**	0.46	0.91	0.17
	e. Radio de circularidad	Rc		0.37	0.39	0.28
6. Características de Relieve	f. Altitud Media	-	**m.s.n.m.**	**4199.62**	**4243.95**	**4066.77**
	h. Altitud más frecuente	-	**m.s.n.m.**	**4290.00**	**4345.91**	**4041.00**
	i. Integral hipsométrica	-	-	0.674	0.772	0.569
	Coeficiente de Masividad	Cm	**-**	3150.84	864.33	16306.55
	Coeficiente Orográfico	Co	-	13.23	3.67	66.32
	Coeficiente de torrencialidad	Ct	-	0.89	1.96	1.53
	i. Pendiente media de la Cuenca	Sc	**m/m**	**0.344**	**0.368**	**0.303**
7. Características de la red de drenaje	j. Tipo de corriente			**3.000**	**3.000**	**2.000**
	k. Número de orden de corrientes	Oc	**-**	3	3	2
	l. Frecuencia de densidad de ríos	Fr	**-**	2.63	3.18	3.47
	m. Extensión media del escurrimiento superficial	E	**Km**	0.38	0.31	0.29
	n. Densidad de drenaje	Dd	**Km/Km²**	2.63	3.18	3.47
	o.Pendiente media longitud axial	S	**m/m**	**0.14**	**0.14**	**0.20**
8.Tiempo de Concentración	Met. Kirpich	tc	h	0.29	0.44	0.15
	Met. Kerby	tc	h	0.51	0.65	0.34
	Met. Kerby-Kirpich	tc	h	0.81	1.09	0.48
	Met. Témez	tc	h	0.88	1.33	0.49
	Met. Giandiotti	tc	h	0.70	1.16	0.49
	Met. Giandiotti modificado	tc	h	0.47	0.75	0.33

	Met. Tournon	tc	h	0.62	1.23	0.25
	Met. Fattorelli y Marchi	tc	h	1.53	1.87	1.11
	Johnstone & Cross	tc	h	2.17	2.80	1.38
	Ven te Chow	tc	h	0.55	0.77	0.31
	Cuerpo de Ingenieros	tc	h	0.57	0.85	0.31
	Pasini	tc	h	0.44	0.79	0.17
	Ribeiro	tc	h	0.72	1.20	0.34
	Kerby-Hathaway	tc	h	0.51	0.65	0.33
	Met. Bransby Williams	tc	h	0.36	0.53	0.19
	Tiempo de concentración (Prom)	tc	h	0.74	1.07	0.45
	Lag Time (Prom)	tc	h	0.45	0.64	0.27
10. Cota Máxima		Zmax	**msnm**	4370.620	4598.120	4213.760
11. Cota Mínima		Zmin	**msnm**	3965.970	3967.590	3967.620
Relación de bifurcación						
		Orden 1		1.188	9.633	0.383
		Orden 2		0.706	2.866	0.484
		Orden 3		1.617	3.119	
Longitud total de ríos		Lt	**km**	**3.51**	**15.62**	**0.87**

Figura 29. *Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Sub Cuenca 01 Choccoyo*

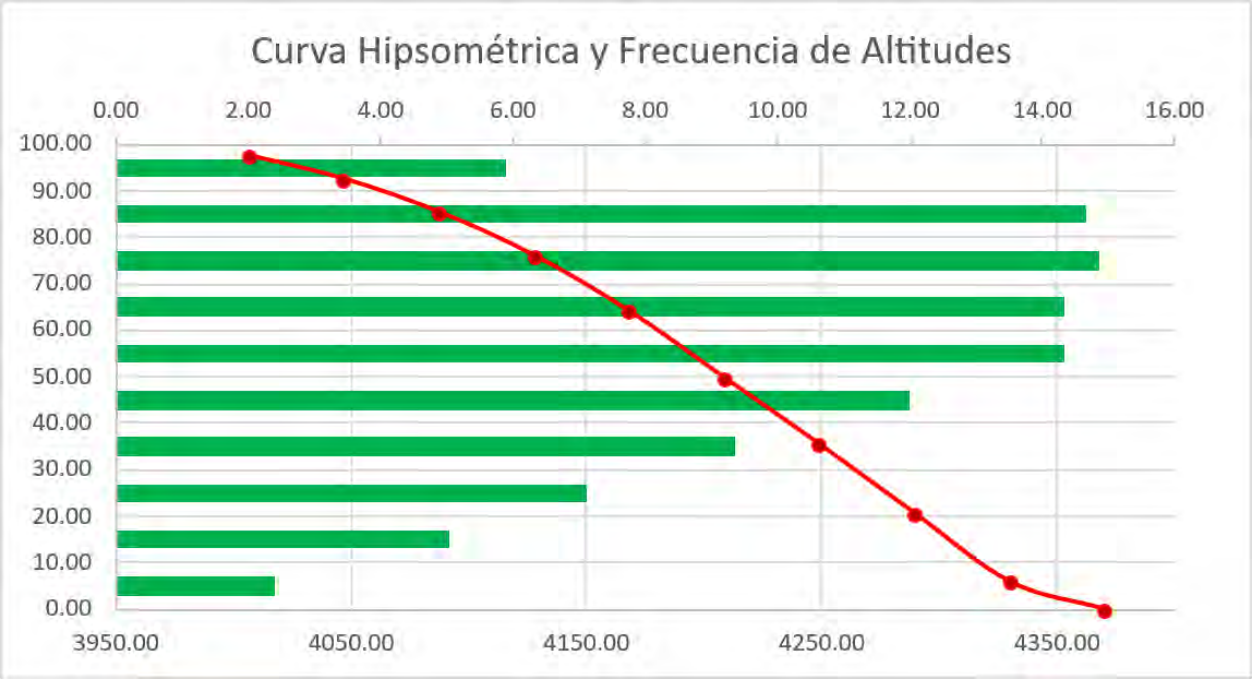


Figura 30. *Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Sub Cuenca 02 Choccoyo*

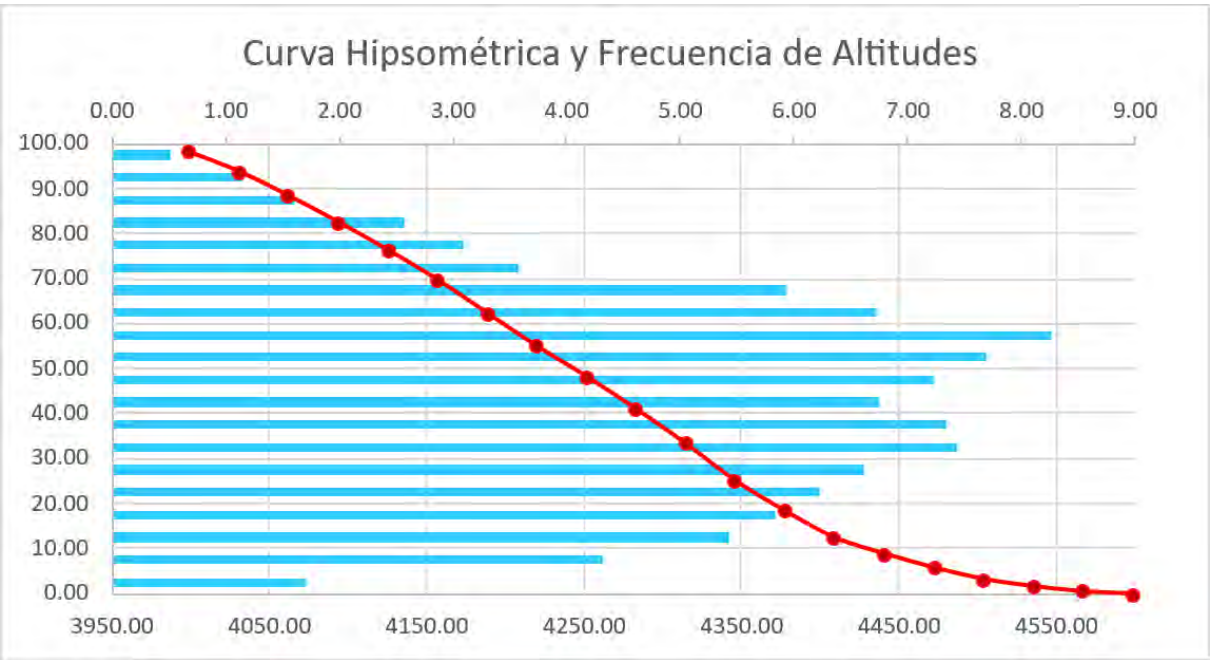


Figura 31. *Curva Hipsométrica y Frecuencia de Altitudes de la Sub Cuenca 03 Choccoyo*

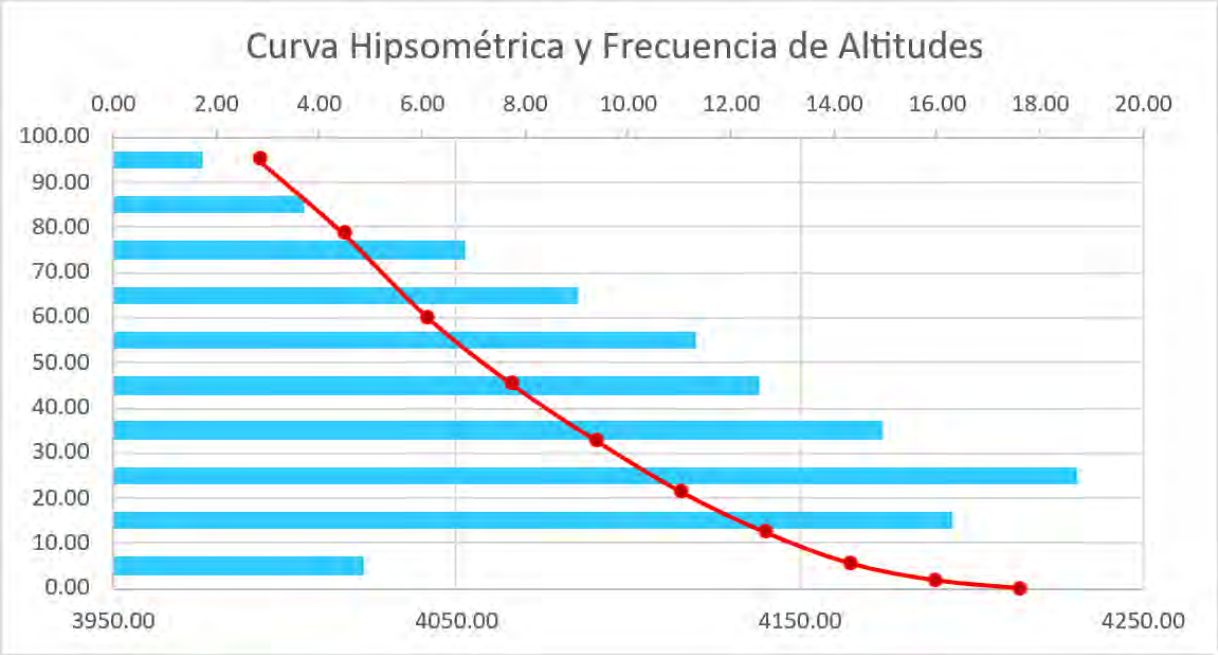


Figura 32. *Mapa de parámetros morfométricos microcuenca 01 del sector de estudio*

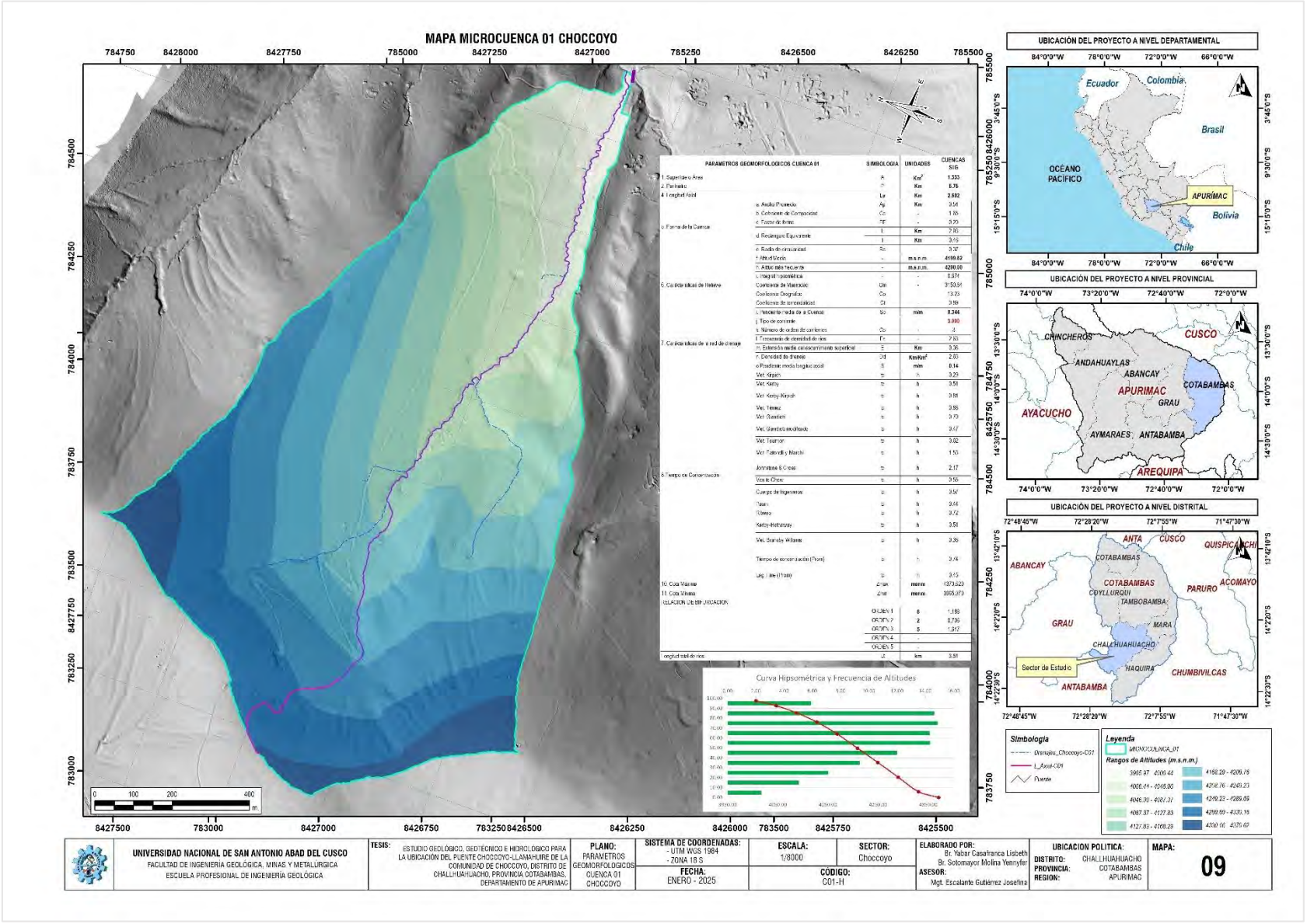


Figura 33. *Mapa de parámetros morfométricos microcuenca 02 del sector de estudio*

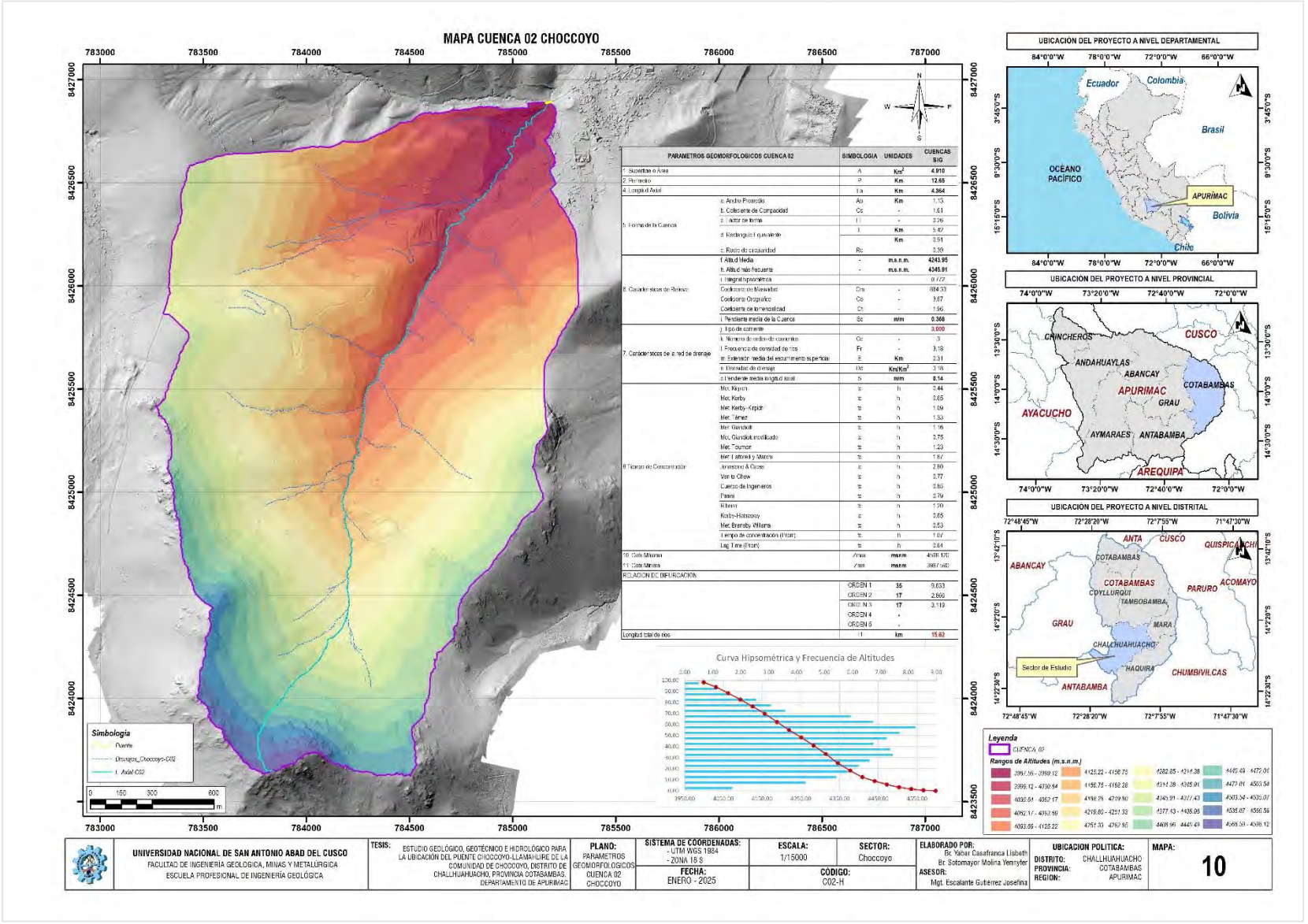
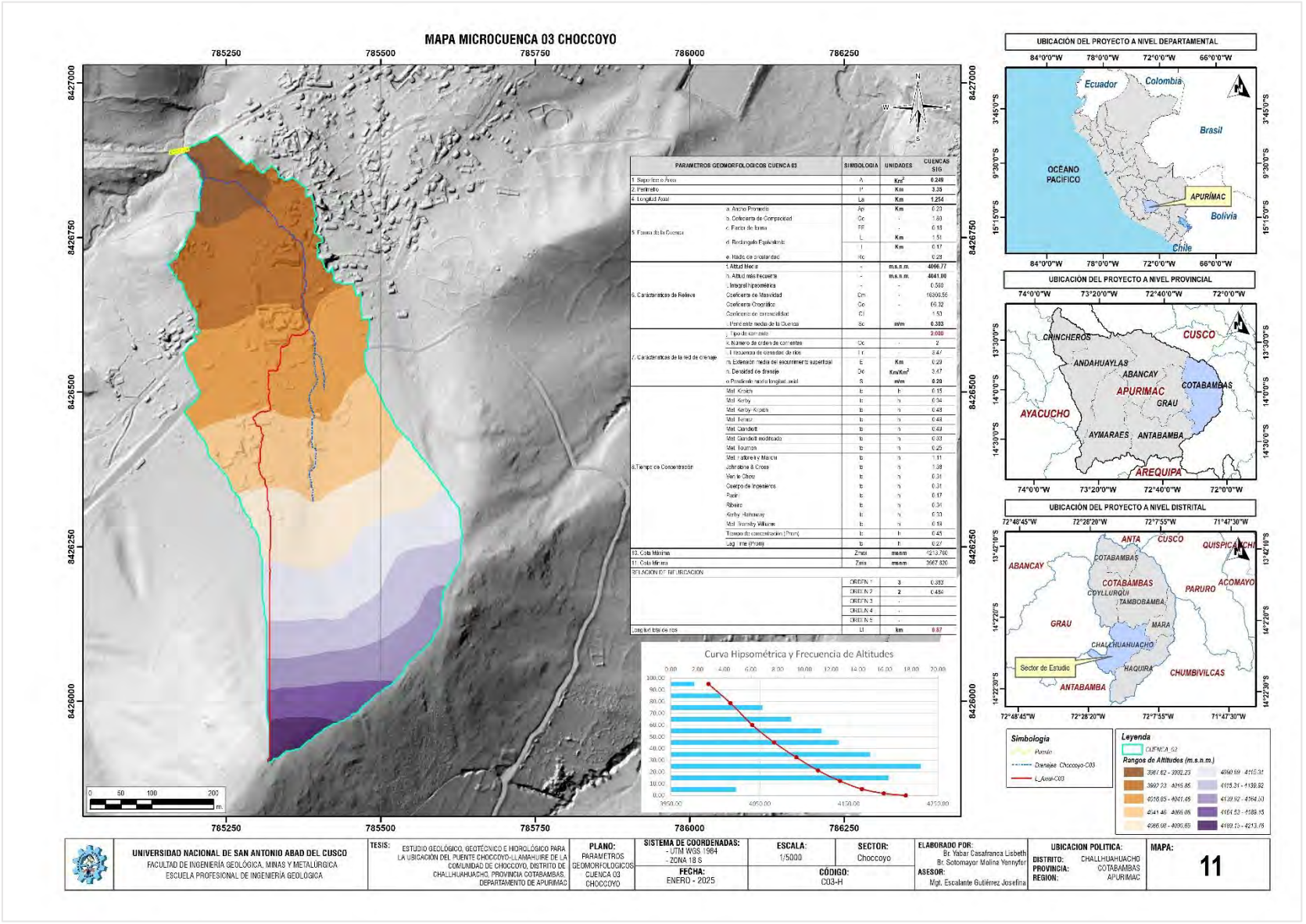


Figura 34. *Mapa de parámetros morfométricos microcuenca 03 del sector de estudio*



5.6. Selección del periodo de retorno

Para adoptar el periodo de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

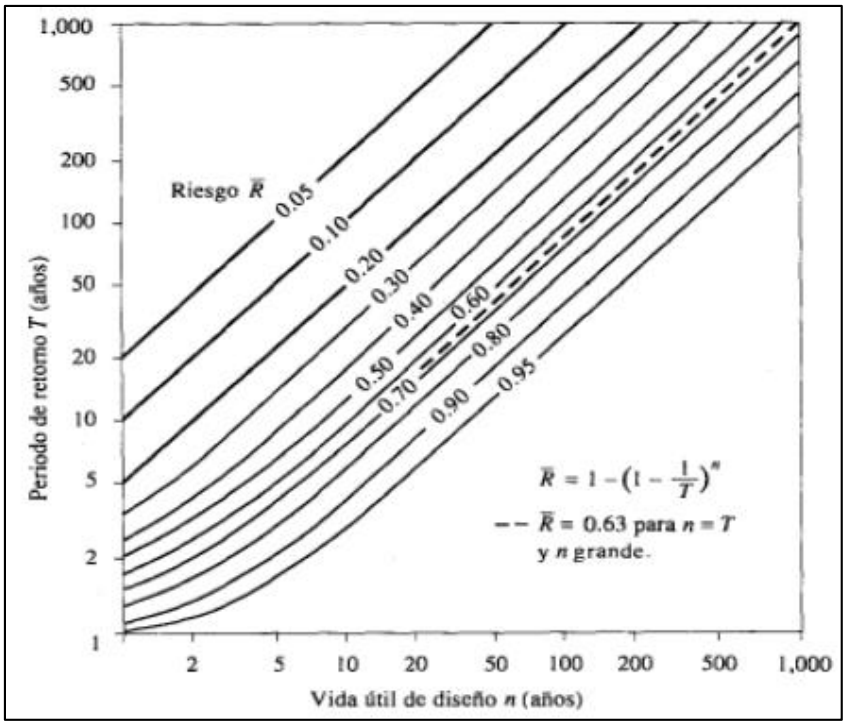
$$R = 1 - (1 - \frac{1}{T})^n$$

R: Riesgo de falla

T: Periodo de retorno (años)

N: Vida útil (años)

Figura 35. *Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil*



Nota: Hidrología Aplicada, Ven te Chow

De la gráfica anterior se tabulan los valores en el siguiente cuadro:

Tabla 8. *Valores de periodo de retorno en función del riesgo admisible y la vida útil de la estructura*

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
R	**1**	**2**	**3**	**5**	**10**	**20**	**25**	**50**	**100**	**200**
0.01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0.02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0.05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0.10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0.20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0.25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0.50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0.75	1.3	2	2.7	4.1	7.7	15	18	37	73	144
1.00	1	1.11	1.27	1.66	2.7	5	5.9	11	22	44

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje. MTC

Para el diseño de estructuras hidráulicas se recomienda utilizar como máximo los siguientes valores de riesgo, que se presentan en el siguiente cuadro recomendados en el Manual de carreteras: Hidráulica, hidrología y drenaje.

Tabla 9. *Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje*

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje. MTC

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.

- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) - Vida Útil considerado (n)

- ✓ Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.
- ✓ Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.
- ✓ Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.
- ✓ Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.

- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.

- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

Considerando un riesgo de 25%, y una vida útil de 40 años, se tiene que el periodo de retorno será:

$$\boldsymbol{Periodo\ de\ Retorno_{(Puente-Defensa\ Ribereña)} = 139.2\ años = 140\ años}$$

Para el presente proyecto se considera 200 años.

5.7. Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos

5.7.1. Selección de la información de precipitaciones máximas 24 horas

El dato de las precipitaciones máximas de 24 horas, empleadas en este estudio, se extrajo de los registros históricos del SENAMHI, provenientes de las estaciones de Curpahuasi, Tambobamba y Santo Tomas. Se escogieron los valores máximos anuales de cada estación, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10. *Precipitaciones máximas 24 horas de las estaciones Meteorológicas (de Curpahuasi, Tambobamba y Santo Tomas)*

N° Registro	AÑO	ESTACIONES		
		CURPAHUASI	TAMBOBAMBA	SANTO TOMAS
		PPmax24Hrs	PPmax24Hrs	PPmax24Hrs
1	1964			
2	1965			
3	1966			16.00
4	1967			44.00
5	1968			24.00
6	1969			
7	1970			
8	1971			
9	1972			
10	1973			
11	1974			
12	1975			
13	1976			
14	1977			
15	1978			
16	1979			
17	1980			
18	1981			
19	1982			
20	1983			
21	1984			
22	1985			
23	1986			
24	1987			
25	1988			
26	1989			
27	1990			
28	1991			
29	1992			
30	1993			
31	1994			
32	1995		30.00	
33	1996		35.00	
34	1997		38.20	
35	1998		34.50	
36	1999		25.60	20.50
37	2000		42.30	30.10
38	2001		52.70	29.80
39	2002		39.00	35.60
40	2003		48.80	25.50
41	2004		36.20	37.80
42	2005		54.70	33.80
43	2006		34.30	42.50
44	2007		28.20	41.50
45	2008		30.00	33.60

N° Registro	AÑO	ESTACIONES		
		CURPAHUASI	TAMBOBAMBA	SANTO TOMAS
		PPmax24Hrs	PPmax24Hrs	PPmax24Hrs
46	2009	26.00	65.00	22.60
47	2010	27.00	42.60	45.00
48	2011	24.00	35.40	28.50
49	2012	41.70	42.40	32.20
50	2013	32.20	28.40	37.70
51	2014	47.00	39.50	51.50
52	2015	32.40	35.60	42.90
53	2016	38.40	30.50	35.20
54	2017	40.10	45.00	51.90
55	2018	37.20	54.00	28.20
56	2019	31.50	32.30	50.30
57	2020	34.90	37.60	36.10
58	2021	10.60	29.60	38.60
59	2022	26.60	35.00	35.00
60	2023	21.50	39.00	54.60
61	2024		35.40	37.60

5.7.2. Outlier (Prueba de datos dudosos) de información de precipitación

Hace referencia a datos que difieren considerablemente de la tendencia de los datos restantes. La conservación, alteración o supresión de estos valores atípicos puede impactar de manera significativa en los parámetros estadísticos calculados a partir de los datos, especialmente en situaciones de muestras pequeñas. Todos los procedimientos para abordar los valores atípicos requieren, finalmente, un análisis que contemple aspectos matemáticos e hidrológicos.

La ecuación de frecuencias siguiente puede emplearse para identificar datos de alta incertidumbre:

$$X_H = \bar{X} + k_N.S$$

La siguiente ecuación se utiliza para detectar valores atípicos bajos:

$$X_L = \bar{X} - k_N.S$$

TABLA 12.5.3
Valores K_n para la prueba de datos dudosos

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

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de K_n de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Donde:

X_H= Alto umbral atípico en unidades de registro

$\bar{X}$=Logaritmo medio de los picos sistemáticos excluyendo los eventos de inundación cero, los picos por debajo de la base de medidor y los valores atípicos detectados.

S=Desviacion estándar de X' s

k_N=Valor K del apéndice 4 para el tamaño de muestra N

Tabla 11. *Análisis Outliers estaciones Curpahuasi/Tambobamba/Santo Tomas.*

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Curpahuasi

N°	Prec. Max diaria anual	Año	Ln Max	Condición
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Tambobamba

N°	Prec. Max	Año	Ln Max	Condición
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Santo Tomas

N°	Prec. Max	Año	Ln Max	Condición
1				
2				
3	44.00	1967	3.78	Verificado
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Curpahuasi

N°	Prec. Max diaria anual	Año	Ln Max	Condición
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46	200	2010	330	Verificado
47	24.00	2011	3.18	Verificado
48	41.70	2012	3.73	Verificado
49	32.20	2013	3.47	Verificado
50				
51	32.40	2015	3.48	Verificado
52	38.40	2016	3.65	Verificado
53	40.10	2017	3.69	Verificado
54	37.20	2018	3.62	Verificado
55	31.50	2019	3.45	Verificado
56				
57				
58	26.60	2022	3.28	Verificado
59	21.50	2023	3.07	Atípico
60				

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Tambobamba

N°	Prec. Max	Año	Ln Max	Condición
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32	35.0	1996	3.56	Verificado
33	38.2	1997	3.64	Verificado
34				
35	25.6	1999	3.24	Verificado
36	42.3	2000	3.74	Verificado
37	52.7	2001	3.96	Verificado
38	39.0	2002	3.66	Verificado
39	48.8	2003	3.89	Verificado
40	36.2	2004	3.59	Verificado
41				
42	34.3	2006	3.54	Verificado
43	28.2	2007	3.34	Verificado
44	30.0	2008	3.40	Verificado
45				
46	42.6	2010	3.75	Verificado
47	35.4	2011	3.57	Verificado
48	42.4	2012	3.75	Verificado
49	28.4	2013	3.35	Verificado
50	39.5	2014	3.68	Verificado
51	35.6	2015	3.57	Verificado
52	30.5	2016	3.42	Verificado
53	45.0	2017	3.81	Verificado
54				
55	32.3	2019	3.48	Verificado
56	37.6	2020	3.63	0
57	29.6	2021	3.39	Verificado
58	35.0	2022	3.56	Verificado
59	39.0	2023	3.66	Verificado
60	35.4	2024	3.57	Verificado

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Santo Tomas

N°	Prec. Max	Año	Ln Max	Condición
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36	30.10	2000	3.40	Verificado
37	29.80	2001	3.39	Verificado
38	35.60	2002	3.57	Verificado
39	25.50	2003	3.24	Verificado
40	37.80	2004	3.63	Verificado
41	33.80	2005	3.52	Verificado
42	42.50	2006	3.75	Verificado
43	41.50	2007	3.73	Verificado
44	33.60	2008	3.51	Verificado
45	22.60	2009	3.12	Verificado
46	45.00	2010	3.81	Verificado
47	28.50	2011	3.35	Verificado
48	32.20	2012	3.47	Verificado
49	37.70	2013	3.63	Verificado
50	51.50	2014	3.94	Verificado
51	42.90	2015	3.76	Verificado
52	35.20	2016	3.56	Verificado
53	51.90	2017	3.95	Verificado
54	28.20	2018	3.34	Verificado
55	50.30	2019	3.92	Verificado
56	36.10	2020	3.59	0
57	38.60	2021	3.65	Verificado
58	35.00	2022	3.56	Verificado
59	54.60	2023	4.00	Verificado
60	37.60	2024	3.63	Verificado

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Curpahuasi				
N°	**Prec. Max diaria anual**	**Año**	**Ln Max**	**Condición**
Promedio	32.05	**Media Ln**	3.45	
Desv. Est	6.76	**Desvió Ln**	0.22	
		K	1.730	
		Lim Superior	3.824	45.792
		Lim Inferior	3.068	21.509

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Tambobamba				
N°	**Prec. Max**	**Año**	**Ln Max**	**Condición**
Promedio	36.74	**Media Ln**	3.59	
Desv. Est	6.54	**Desvió Ln**	0.18	
		K	2.485	
		Lim Superior	4.026	56.042
		Lim Inferior	3.152	23.384

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Santo Tomas				
N°	**Prec. Max**	**Año**	**Ln Max**	**Condición**
Promedio	37.77	**Media Ln**	3.61	
Desv. Est	8.37	**Desvió Ln**	0.22	
		K	2.5022	
		Lim Superior	4.168	64.572
		Lim Inferior	3.048	21.069

Fuente: Elaboración del equipo técnico en base a la plantilla de HidroGis. Ing. Víctor Orlando Olivos Alvites (Ing. Agrícola). Datos Outliers.

Tabla 12. *Análisis Outliers 2da Revisión estaciones Curpahuasi/Tambobamba/Santo Tomas*

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Curpahuasi				
N°	**Prec. Max diaria anual**	**Año**	**Ln Max**	**Condición**
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Tambobamba				
N°	**Prec. Max**	**Año**	**Ln Max**	**Condición**
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Santo Tomas				
N°	**Prec. Max**	**Año**	**Ln Max**	**Condición**
1				
2				
3	44.00	1967	3.78	Verificado
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Curpahuasi				
N°	Prec. Max diaria anual	Año	Ln Max	Condición
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Tambobamba				
N°	Prec. Max	Año	Ln Max	Condición
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32	35.0	1996	3.56	Verificado
33	38.2	1997	3.64	Verificado
34				
35	25.6	1999	3.24	Verificado
36	42.3	2000	3.74	Verificado
37	52.7	2001	3.96	Verificado
38	39.0	2002	3.66	Verificado
39	48.8	2003	3.89	Verificado
40	36.2	2004	3.59	Verificado
41				
42	34.3	2006	3.54	Verificado
43	28.2	2007	3.34	Verificado
44	30.0	2008	3.40	Verificado
45				

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Santo Tomas				
N°	Prec. Max	Año	Ln Max	Condición
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36	30.10	2000	3.40	Verificado
37	29.80	2001	3.39	Verificado
38	35.60	2002	3.57	Verificado
39	25.50	2003	3.24	Verificado
40	37.80	2004	3.63	Verificado
41	33.80	2005	3.52	Verificado
42	42.50	2006	3.75	Verificado
43	41.50	2007	3.73	Verificado
44	33.60	2008	3.51	Verificado
45	22.60	2009	3.12	Verificado

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Curpahuasi				
N°	Prec. Max diaria anual	Año	Ln Max	Condición
46	27.00	2010	3.30	Verificado
47	24.00	2011	3.18	Verificado
48	41.70	2012	3.73	Verificado
49	32.20	2013	3.47	Verificado
50				
51	32.40	2015	3.48	Verificado
52	38.40	2016	3.65	Verificado
53	40.10	2017	3.69	Verificado
54	37.20	2018	3.62	Verificado
55	31.50	2019	3.45	Verificado
56				
57				
58	26.60	2022	3.28	Verificado
59				
60				
Promedio	33.11	Media Ln	3.48	
Desv. Est	6.09	Desvió Ln	0.19	
		K	1.677	
		Lim Superior	3.800	44.709
		Lim Inferior	3.168	23.761

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Tambobamba				
N°	Prec. Max	Año	Ln Max	Condición
46	42.6	2010	3.75	Verificado
47	35.4	2011	3.57	Verificado
48	42.4	2012	3.75	Verificado
49	28.4	2013	3.35	Verificado
50	39.5	2014	3.68	Verificado
51	35.6	2015	3.57	Verificado
52	30.5	2016	3.42	Verificado
53	45.0	2017	3.81	Verificado
54				
55	32.3	2019	3.48	Verificado
56	37.6	2020	3.63	Verificado
57	29.6	2021	3.39	Verificado
58	35.0	2022	3.56	Verificado
59	39.0	2023	3.66	Verificado
60	35.4	2024	3.57	Verificado
Promedio	36.74	Media Ln	3.59	
Desv. Est	6.54	Desvió Ln	0.18	
		K	2.485	
		Lim Superior	4.026	56.042
		Lim Inferior	3.152	23.384

DETERMINACION DE DATOS ATIPICOS - Santo Tomas				
N°	Prec. Max	Año	Ln Max	Condición
46	45.00	2010	3.81	Verificado
47	28.50	2011	3.35	Verificado
48	32.20	2012	3.47	Verificado
49	37.70	2013	3.63	Verificado
50	51.50	2014	3.94	Verificado
51	42.90	2015	3.76	Verificado
52	35.20	2016	3.56	Verificado
53	51.90	2017	3.95	Verificado
54	28.20	2018	3.34	Verificado
55	50.30	2019	3.92	Verificado
56	36.10	2020	3.59	Verificado
57	38.60	2021	3.65	Verificado
58	35.00	2022	3.56	Verificado
59	54.60	2023	4.00	Verificado
60	37.60	2024	3.63	Verificado
Promedio	37.77	Media Ln	3.61	
Desv. Est	8.37	Desvió Ln	0.22	
		K	2.5022	
		Lim Superior	4.168	64.572
		Lim Inferior	3.048	21.069

Fuente: Elaboración del equipo técnico en base a la plantilla de HidroGis. Ing. Víctor Orlando Olivos Alvites (Ing. Agrícola). Datos Outliers.

5.7.3. Análisis de la información pluviométrica

Después de seleccionar las estaciones de lluvia y formar las series de precipitación máxima en 24 horas para cada una, se realizaron varias pruebas que demuestran la efectividad o ineficacia de la utilización de las series establecidas.

5.2.3.1. Modelos de distribución

El objetivo del análisis de frecuencias es calcular las precipitaciones máximas durante 24 horas en distintos periodos de retorno. Para este estudio, se ha empleado el software hidrológico HYDROGNOMON: El software hidrológico determina las siguientes funciones de distribuciones de probabilidades como: Normal, Lognormal de 2 parámetros, Lognormal de 3 parámetros, Gama de 2 parámetros, Gama de 3 parámetros, LogPearson tipo III, Gumbel y LogGumbel.

5.2.3.2. Pruebas de Bondad de Ajuste (Kolmogorov Smirnov)

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

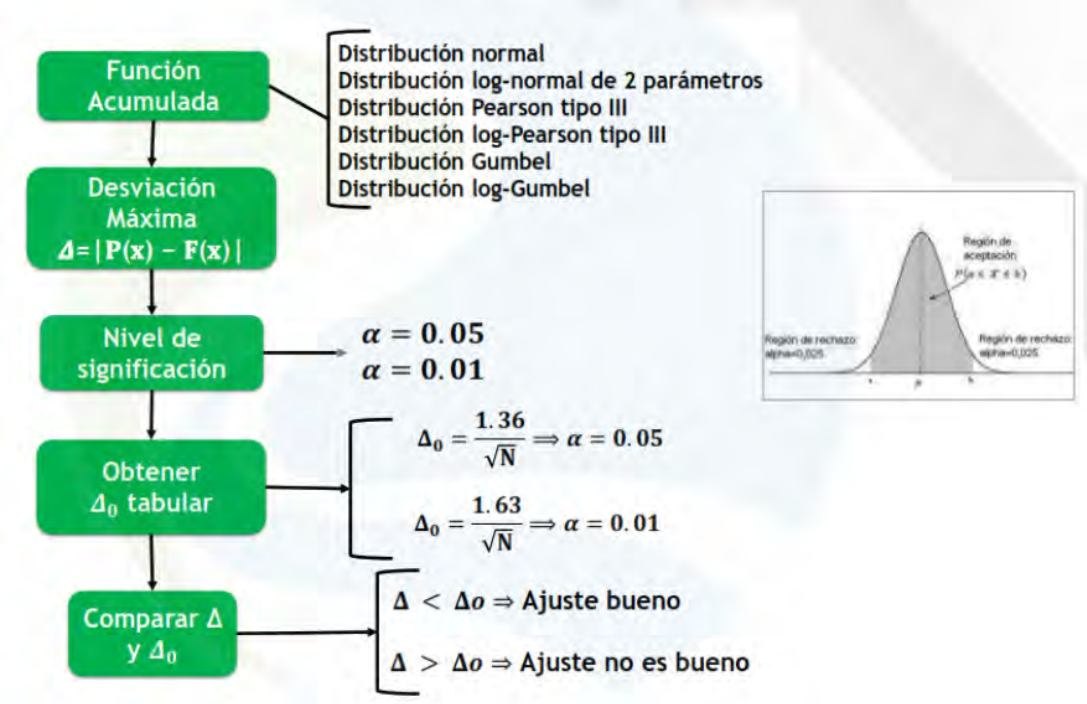
Son pruebas de hipótesis para verificar si los datos observados en una muestra aleatoria se ajustan con algún nivel de significancia a determinada distribución de probabilidad.

La hipótesis nula Ho indica la distribución propuesta, mientras que la hipótesis alternativa H1, nos indica que la variable en estudio tiene una distribución que no se ajuste a la distribución propuesta.

Ho: f(x)=fo(x)

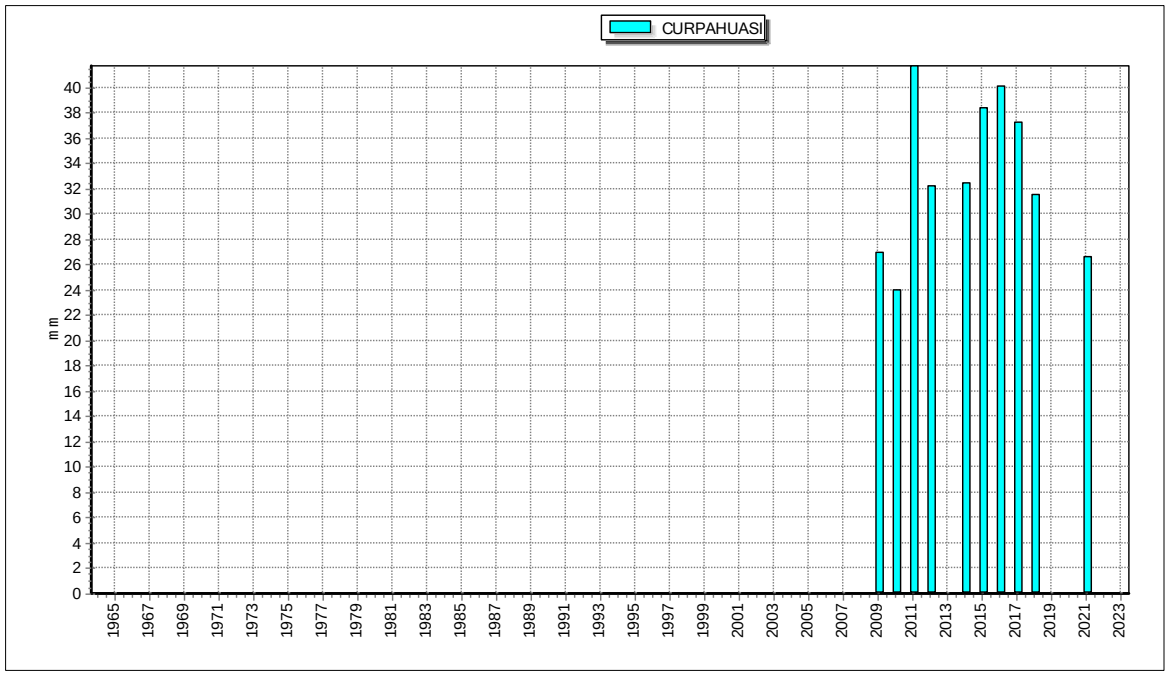
H1: f(x)≠fo(x)

Figura 36. *Pruebas de Bondad de Ajuste Kolmogorov Smirnov*



Fuente: HidroGis. Ing. Víctor Orlando Olivos Alvites (Ing. Agrícola). Pruebas de Bondad de ajuste Kolmorgorov Smirnov

Figura 37. *Serie histórica de Prec.Max 24hrs. Estación Curpahuasi*



Fuente: Propia en base al software hydrognomon.

Tabla 13. *Prueba SMIRNOV-KOLGOMOROV estación Curpahuasi*

Prueba SMIRNOV-KOLGOMOROV					
Kolmogorov-Smirnov test for:All data	**a=1%**	**a=5%**	**a=10%**	**Attained a**	**DMax**
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.989	0.1148
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.997	0.1006
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.968	0.1308
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.814	0.1757
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.805	0.1776
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.980	0.1237
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.989	0.1148
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.970	0.1295
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.911	0.1523
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.752	0.1882
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.874	0.1621
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.982	0.1217
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.993	0.1095
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.995	0.1075
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	1.000	0.0839
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.998	0.0964
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.999	0.0947
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.957	0.1362
EV2-Max (L-Momments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.879	0.1608

EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.891	0.1577
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.988	0.1160
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	1.000	0.0817
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.694	0.1993
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.980	0.1231
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.880	0.1607
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.984	0.1204

Figura 38. *Comparación de distribuciones teóricas Estación Curpahuasi*

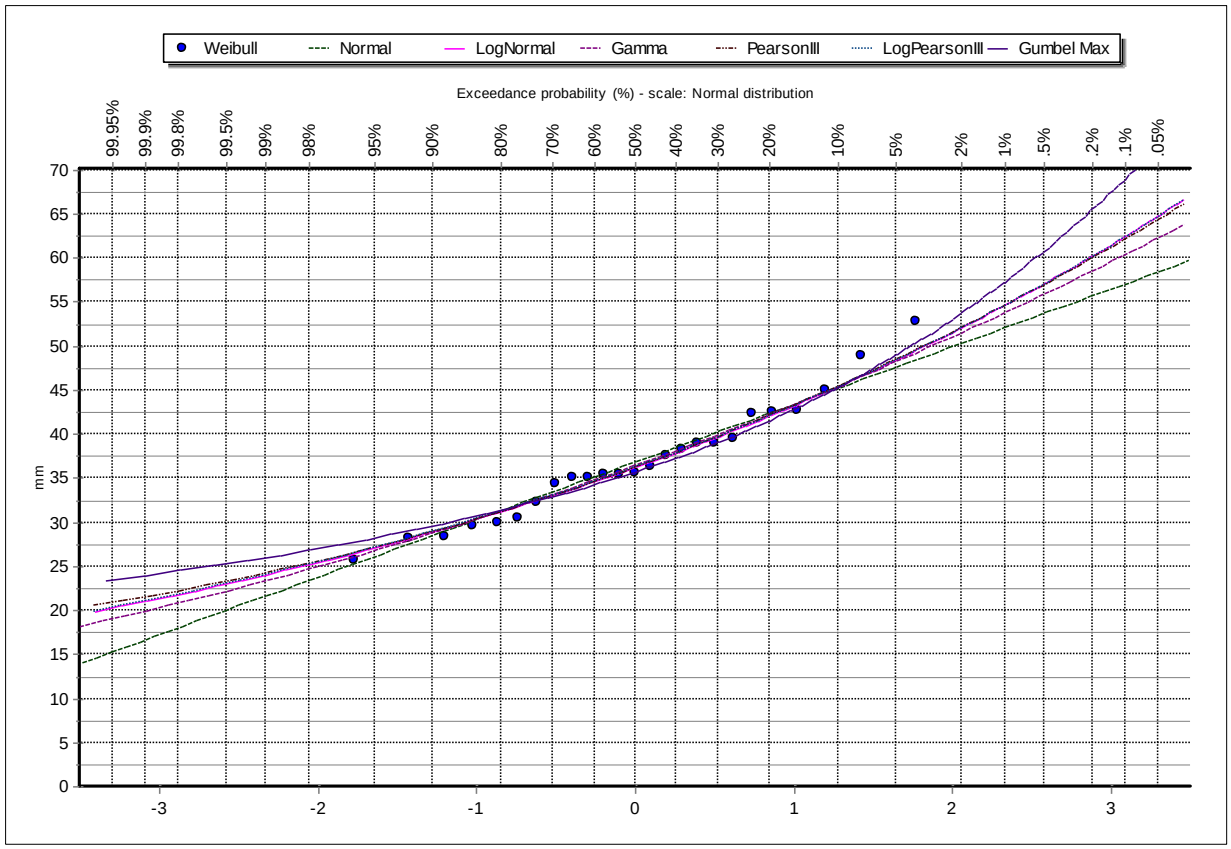


Figura 39. *Densidad de probabilidad de distribuciones teóricas estación Curpahuasi*

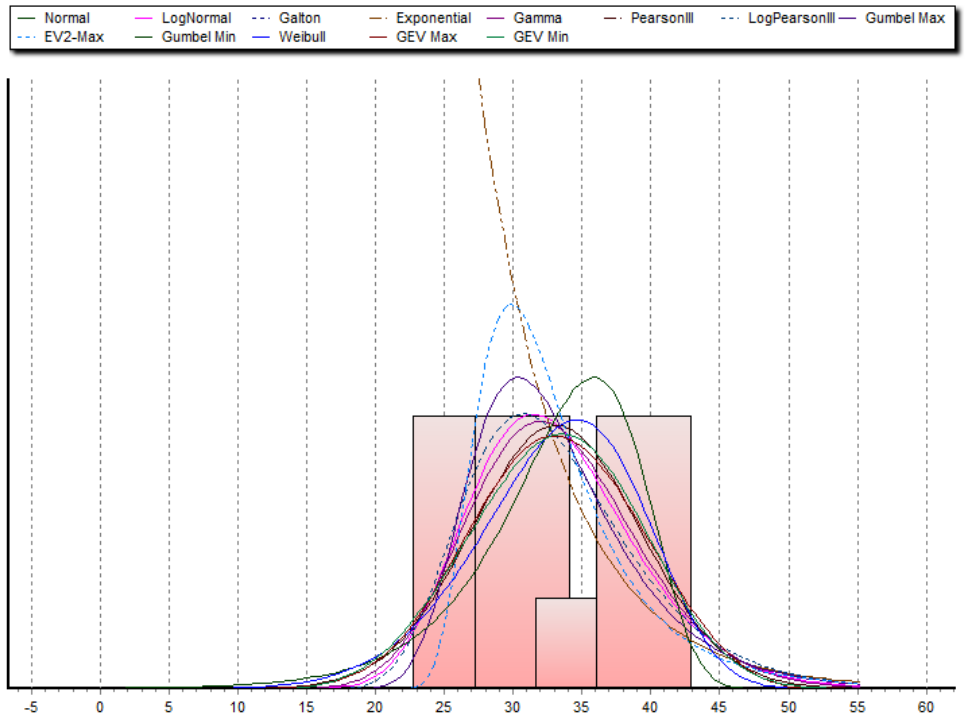
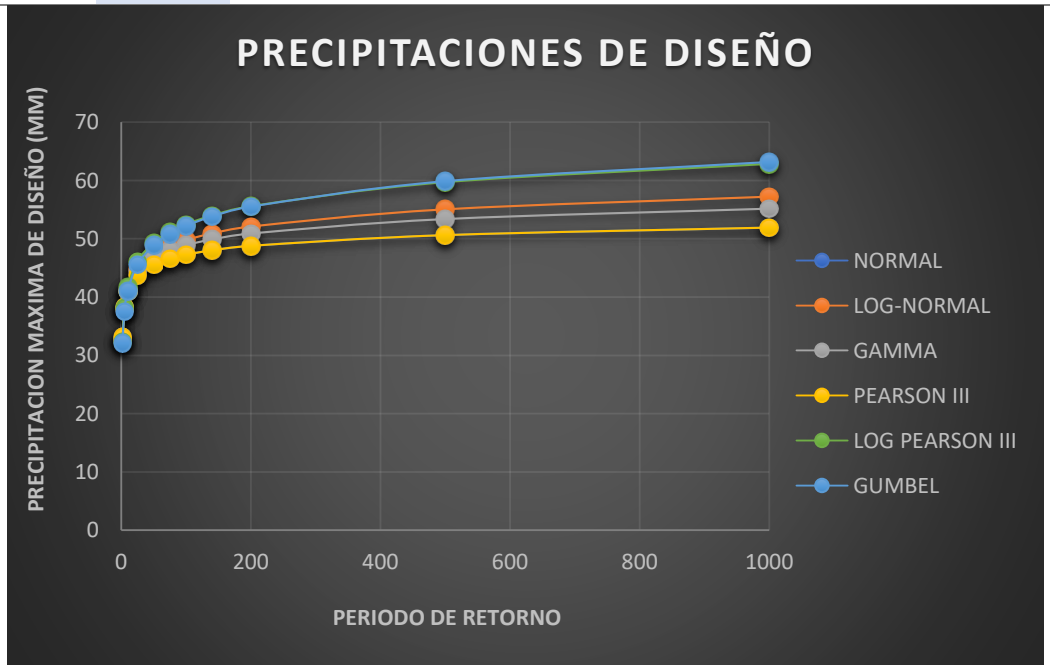


Tabla 14*. Periodos de Retorno estación Curpahuasi*

T	NORMAL	LOG-NORMAL	GAMMA	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
1000	51.94	57.2	55.2	51.9	62.8	63.2
500	50.64	55.1	53.4	50.6	59.7	59.9
200	48.80	52.1	50.9	48.8	55.6	55.5
140	48.03	50.9	49.9	48.0	54.0	53.8
100	47.28	49.8	48.9	47.3	52.5	52.2
75	46.61	48.8	48.0	46.6	51.2	50.9
50	45.62	47.4	46.8	45.6	49.3	48.9
25	43.77	44.8	44.5	43.8	46.1	45.6
10	40.92	41.1	41.1	40.9	41.7	41.1
5	38.24	38.0	38.1	38.2	38.1	37.5
2	33.11	32.6	32.7	33.1	32.3	32.1



Realizando un análisis gráfico y de acuerdo a los resultados obtenidos de la prueba de SMIRNOV - KOLGOMOROV, la distribución NORMAL es la que mejor se ajusta a la muestra analizada.

ESTACIÓN	DISTRIBUCIÓN TEÓRICA					
CURPAHUASI	Normal	LogNormal	Gamma	Pearson III	Log Pearson III	EV1-Max (Gumbel)
a=5%	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
DMax	0.115	0.131	0.124	0.115	0.130	0.152
Attained a	98.95%	96.78%	97.95%	98.95%	97.02%	91.07%

Luego, según la OMM que detalla que investigaciones de miles de años-estaciones de datos de lluvia señalan que, al multiplicar las cantidades máximas anuales de lluvia diaria u horaria, para un solo intervalo fijo de observaciones de una a 24 horas, por el factor 1.13.

Tabla 15. *Periodos de retorno con ajuste de la OMM estación Curpahuasi*

T	NORMAL	LOG-NORMAL	GAMMA	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
1000	58.7	64.7	62.3	58.7	71.0	71.4
500	57.2	62.2	60.3	57.2	67.5	67.7
200	55.1	58.9	57.5	55.1	62.8	62.7
140	54.3	57.5	56.4	54.3	61.0	60.8
100	53.4	56.3	55.3	53.4	59.3	59.0
75	52.7	55.1	54.3	52.7	57.8	57.5
50	51.6	53.5	52.9	51.6	55.7	55.3
25	49.5	50.6	50.3	49.5	52.1	51.5
10	46.2	46.5	46.5	46.2	47.1	46.4
5	43.2	42.9	43.1	43.2	43.0	42.4
2	37.4	36.8	37.0	37.4	36.5	36.3

Fuente: Resultados software Hydrognomon

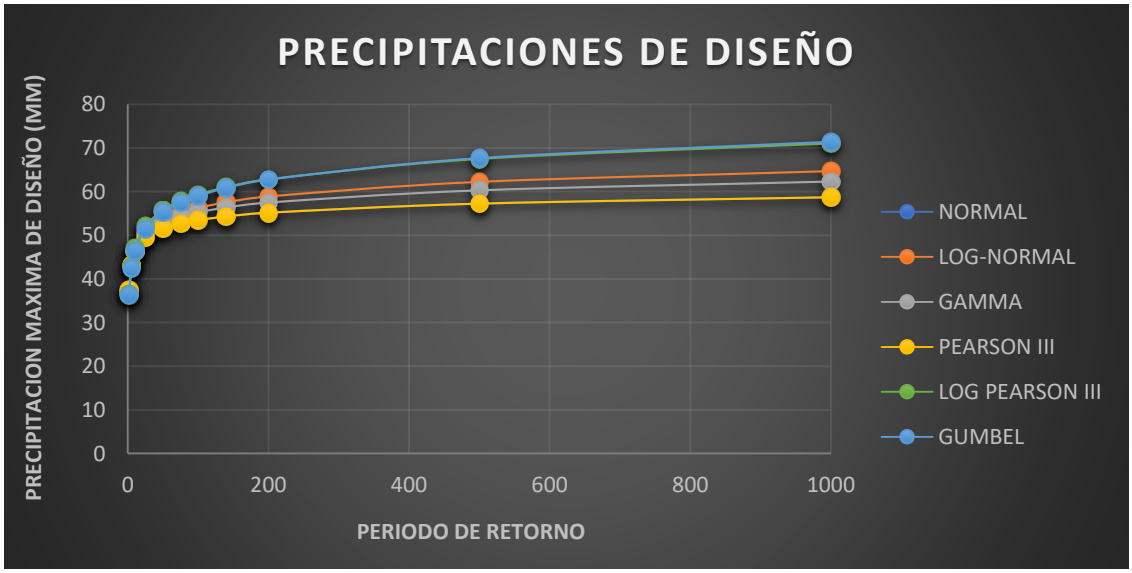


Figura 40. *Serie histórica de Prec.Max 24hrs. Estación Tambobamba*

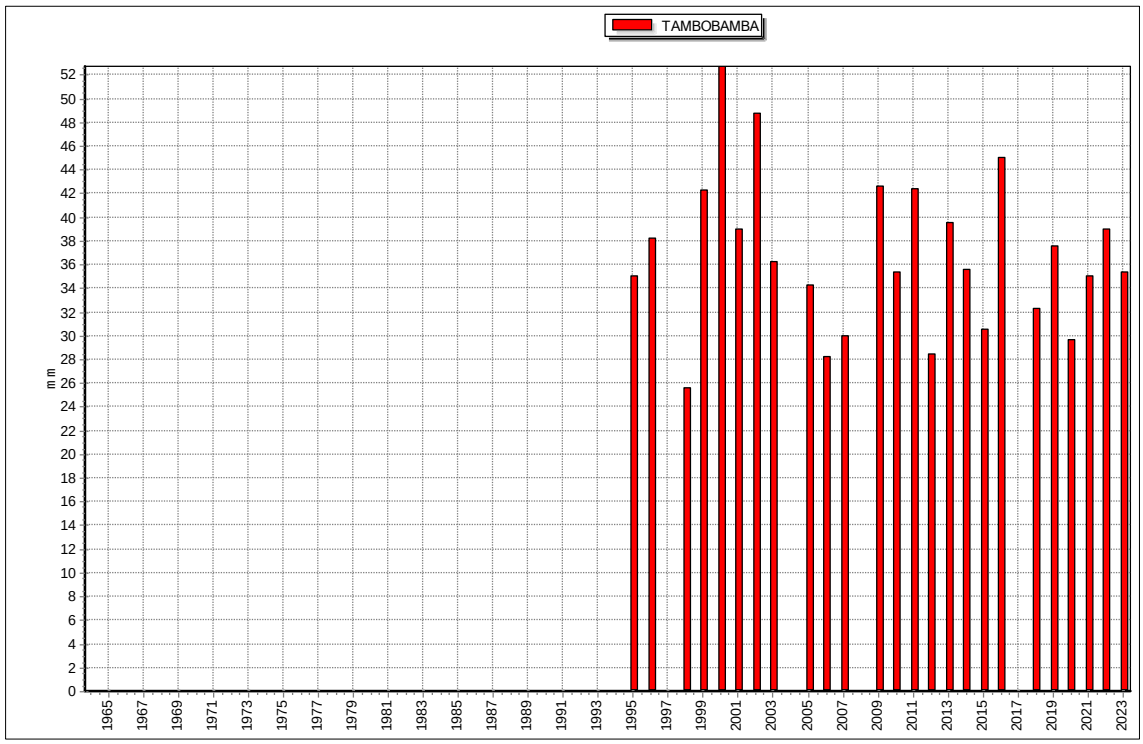


Tabla 16. *Prueba SMIRNOV-KOLGOMOROV estación Tambobamba*

PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV					
Kolmogorov-Smirnov test for:All data	**a=1%**	**a=5%**	**a=10%**	**Attained a**	**DMax**
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.996	0.0716
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.996	0.0714
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.988	0.0796
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.988	0.0798
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.286	0.1871
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.278	0.1886
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.997	0.0701
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.985	0.0816
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.991	0.0778
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.881	0.1075
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.721	0.1288
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.609	0.1422
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.905	0.1033
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.979	0.0843
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.968	0.0888
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.373	0.1729
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.971	0.0878
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.963	0.0904

EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.841	0.1134
EV2-Max (L-Momments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.560	0.1481
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.622	0.1406
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.912	0.1021
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.775	0.1222
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.636	0.1389
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.905	0.1034
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.536	0.1511
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.907	0.1030

Figura 41. *Comparación de distribuciones teóricas Estación Tambobamba*

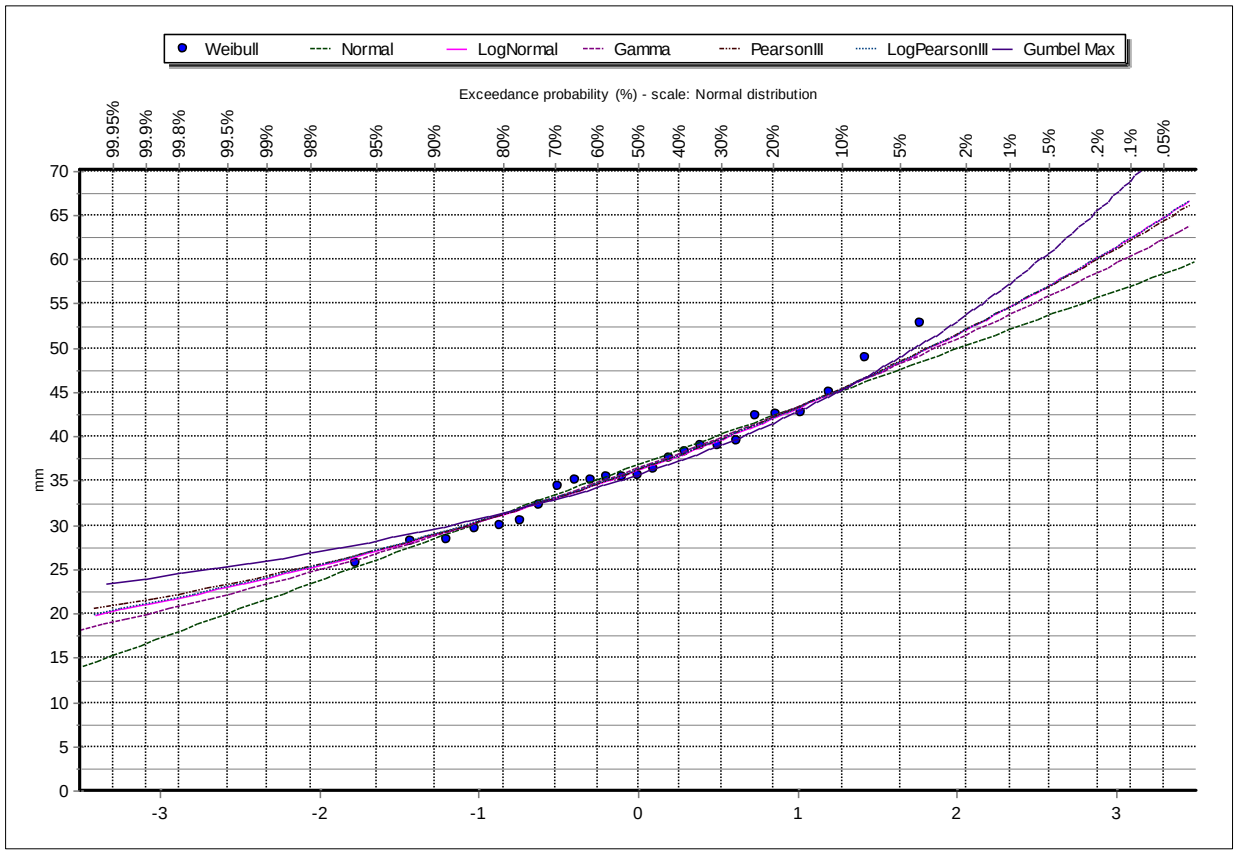


Figura 42. *Densidad de probabilidad de distribuciones teóricas estación tambobamba*

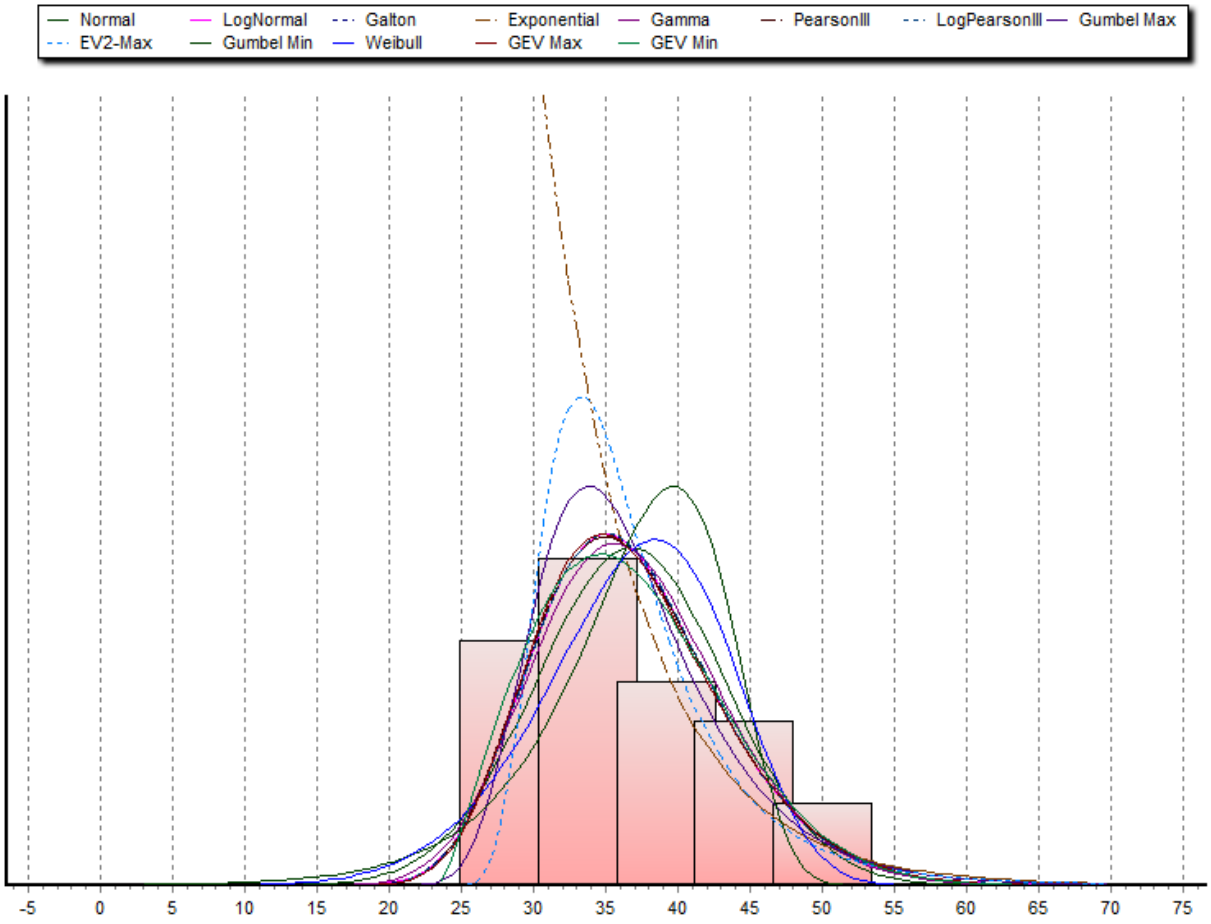
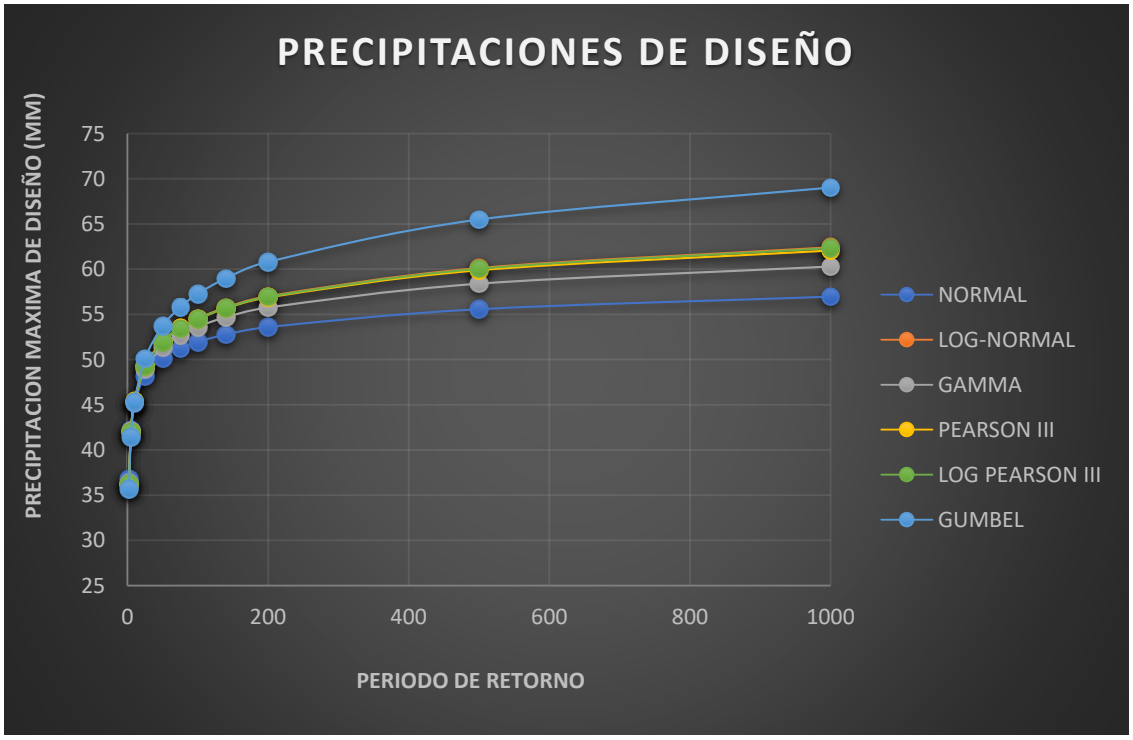


Tabla 17. *Periodos de Retorno estación Tambobamba*

T	NORMAL	LOG-NORMAL	GAMMA	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
1000	56.9	62.4	60.29	62.1	62.3	69.0
500	55.6	60.1	58.39	59.9	60.1	65.5
200	53.6	57.0	55.75	56.9	56.9	60.8
140	52.8	55.7	54.68	55.7	55.7	59.0
100	51.9	54.5	53.63	54.5	54.5	57.3
75	51.2	53.5	52.72	53.5	53.5	55.8
50	50.2	52.0	51.38	52.0	51.9	53.7
25	48.2	49.3	48.95	49.3	49.3	50.1
10	45.1	45.4	45.33	45.4	45.4	45.3
5	42.2	42.0	42.10	42.0	42.0	41.4
2	36.7	36.2	36.36	36.2	36.2	35.7

Fuente: Resultados software Hydrognomon



Realizando un análisis gráfico y de acuerdo a los resultados obtenidos de la prueba de SMIRNOV - KOLGOMOROV, la distribución GAMMA es la que mejor se ajusta a la muestra analizada.

ESTACIÓN	DISTRIBUCIÓN TEÓRICA					
ANTIOQUIA	Normal	LogNormal	Gamma	Pearson III	Log Pearson III	EV1-Max (Gumbel)
a=5%	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
DMax	0.072	0.080	0.070	0.082	0.078	0.107
Attained a	99.63%	98.81%	99.72%	98.48%	99.05%	88.06%

Tabla 18. *Periodos de retorno con ajuste de la OMM estación Tambobamba*

T	NORMAL	LOG-NORMAL	GAMMA	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
1000	64.3	70.5	68.1	70.1	70.4	78.0
500	62.8	67.9	66.0	67.7	67.9	74.0
200	60.5	64.4	63.0	64.3	64.3	68.7
140	59.6	63.0	61.8	62.9	62.9	66.6
100	58.7	61.6	60.6	61.6	61.6	64.7
75	57.9	60.4	59.6	60.4	60.4	63.0
50	56.7	58.7	58.1	58.7	58.7	60.7
25	54.5	55.7	55.3	55.7	55.7	56.6
10	51.0	51.3	51.2	51.3	51.2	51.2
5	47.7	47.4	47.6	47.5	47.4	46.8
2	41.5	40.9	41.1	40.9	40.9	40.3

Fuente: Resultados software Hydrognomon

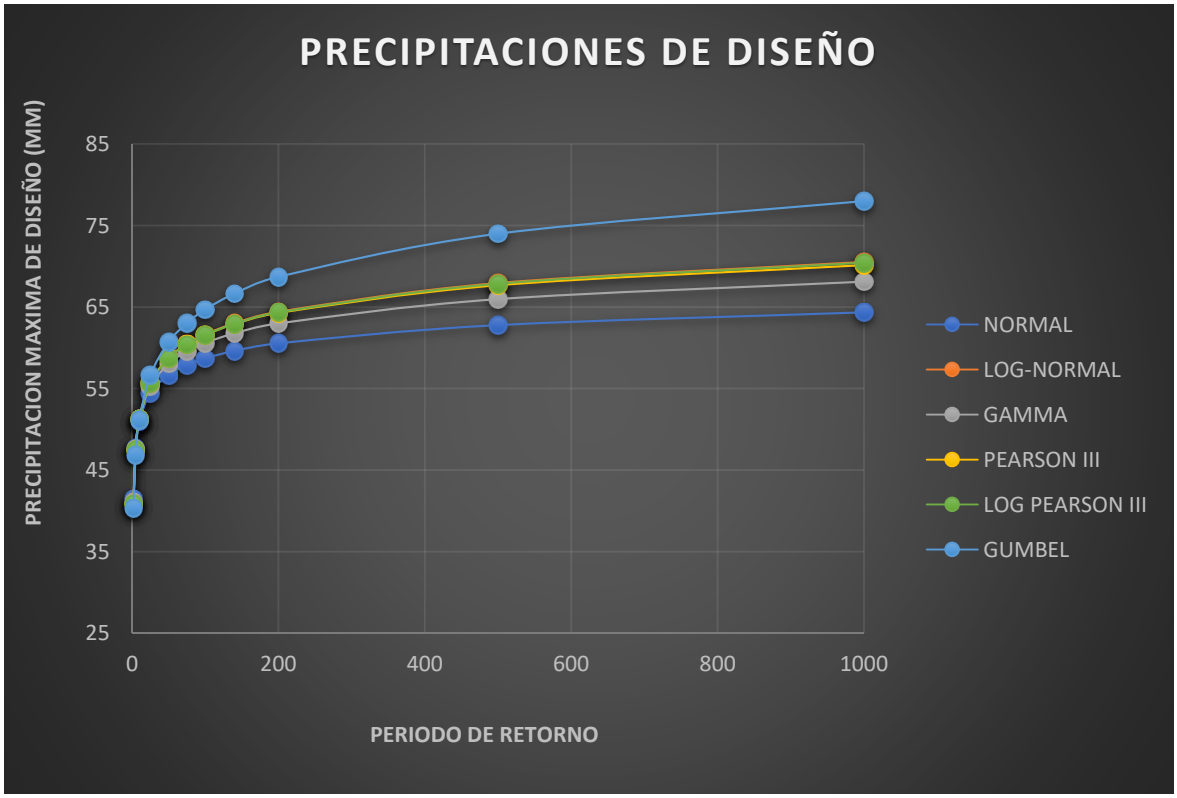


Figura 43. *Serie histórica de Prec.Max 24hrs. Estación Santo Tomas*

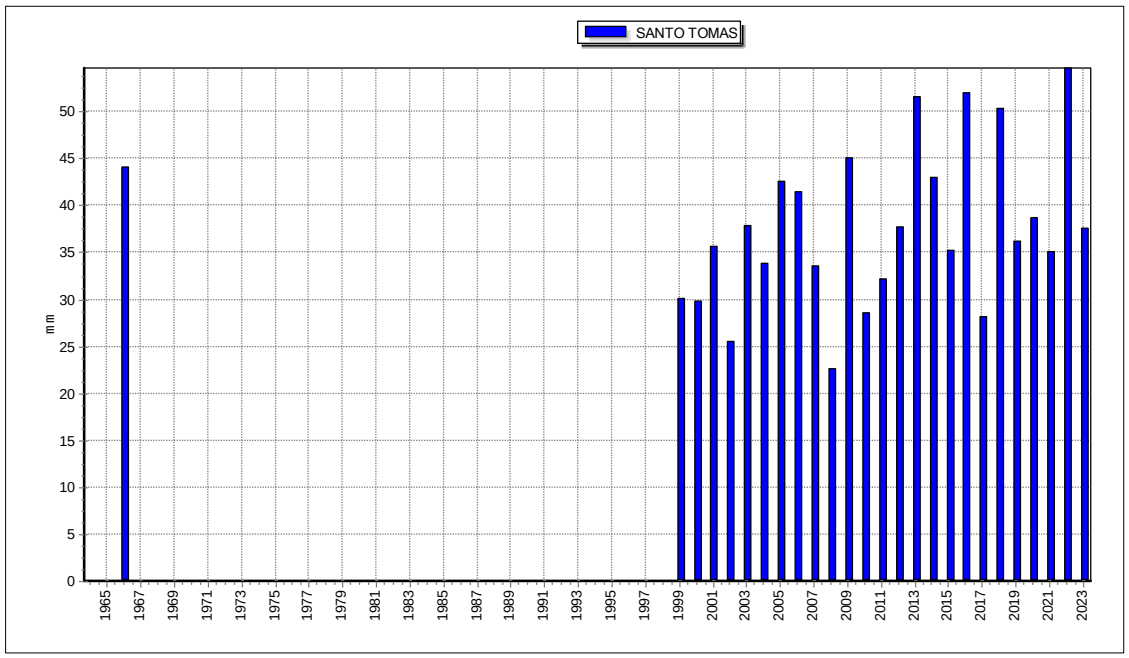


Tabla 19. *Prueba SMIRNOV-KOLGOMOROV estación Santo Tomas*

PRUEBA SMIRNOV-KOLGOMOROV					
Kolmogorov-Smirnov test for:All data	**a=1%**	**a=5%**	**a=10%**	**Attained a**	**DMax**
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.955	0.0913
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.954	0.0913
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.997	0.0701
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.994	0.0737
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.583	0.1428
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.616	0.1390
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.995	0.0718
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.994	0.0734
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.999	0.0653
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.997	0.0691
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.822	0.1142
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.432	0.1616
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.824	0.1139
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.997	0.0701
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.996	0.0708
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.487	0.1546
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.999	0.0641
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.999	0.0642
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.999	0.0629
EV2-Max (L-Momments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.893	0.1038

EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.432	0.1617
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.830	0.1131
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.595	0.1415
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.823	0.1141
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.744	0.1239
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.926	0.0979
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	0.744	0.1240

Figura 44. *Comparación de distribuciones teóricas Estación Santo Tomas*

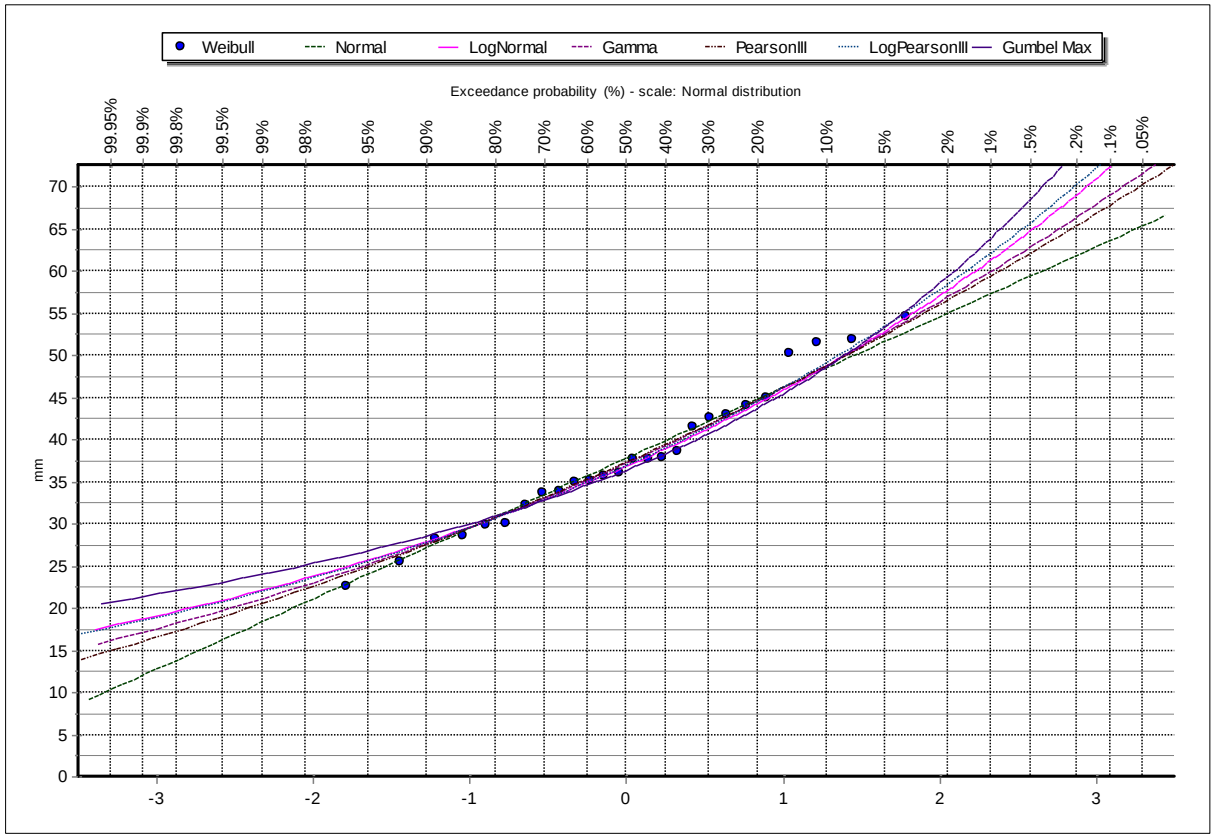


Figura 45. *Densidad de probabilidad de distribuciones teóricas estación Santo tomas*

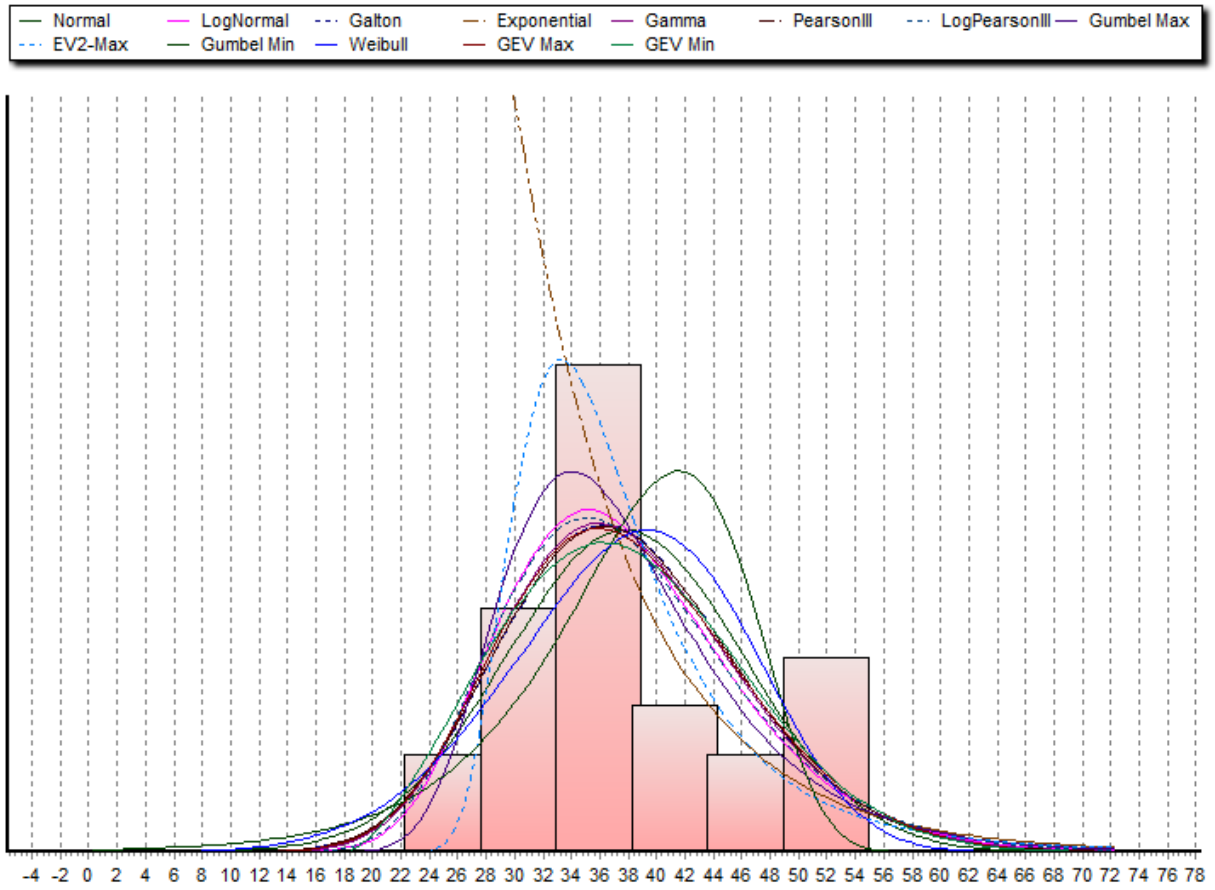
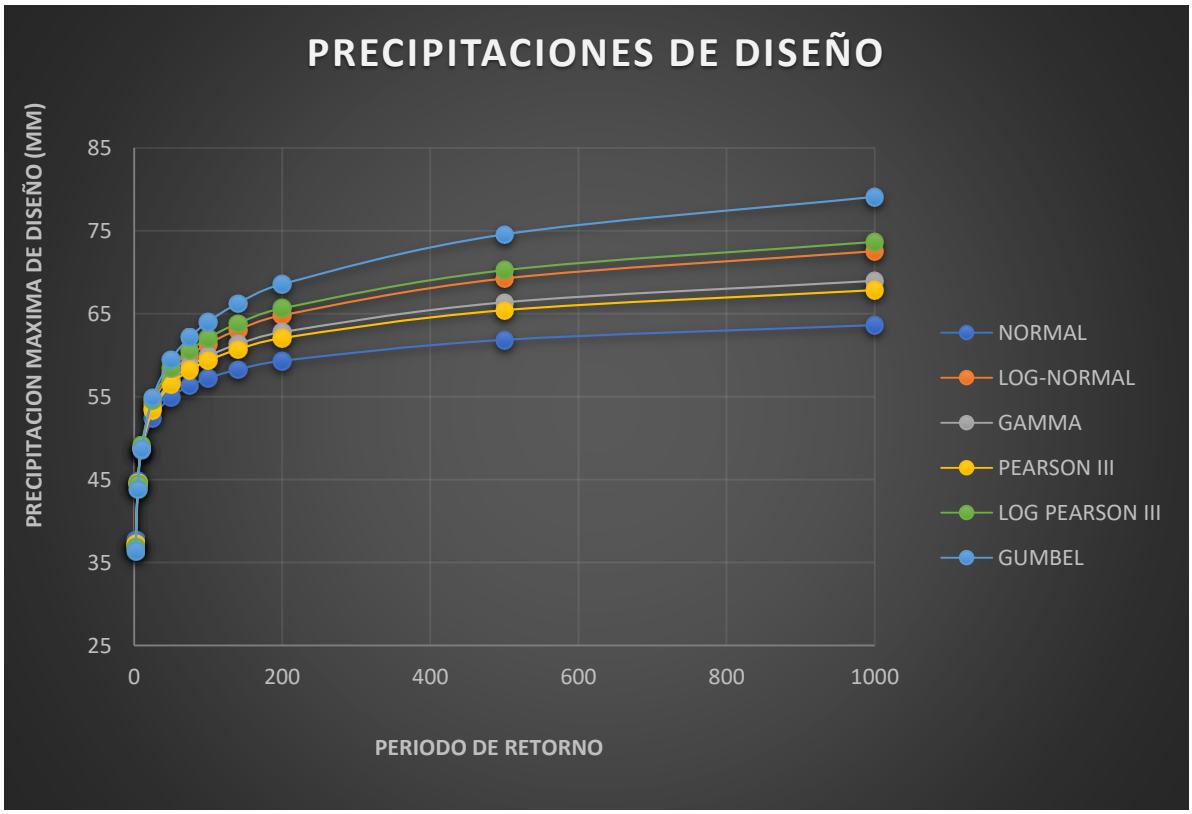


Tabla 20. *Periodos de Retorno estación Santo Tomas*

T	NORMAL	LOG-NORMAL	GAMMA	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
1000	63.6	72.5	69.0	67.8	73.66	79.1
500	61.8	69.2	66.4	65.4	70.24	74.5
200	59.3	64.8	62.8	62.0	65.65	68.6
140	58.3	63.0	61.3	60.7	63.82	66.2
100	57.2	61.4	59.9	59.3	62.08	64.0
75	56.3	59.9	58.7	58.2	60.57	62.1
50	55.0	57.8	56.9	56.5	58.41	59.5
25	52.4	54.1	53.6	53.4	54.58	54.9
10	48.5	48.8	48.8	48.8	49.14	48.7
5	44.8	44.3	44.6	44.6	44.53	43.8
2	37.8	36.9	37.2	37.3	36.89	36.4

Fuente: Resultados software Hydrognomon



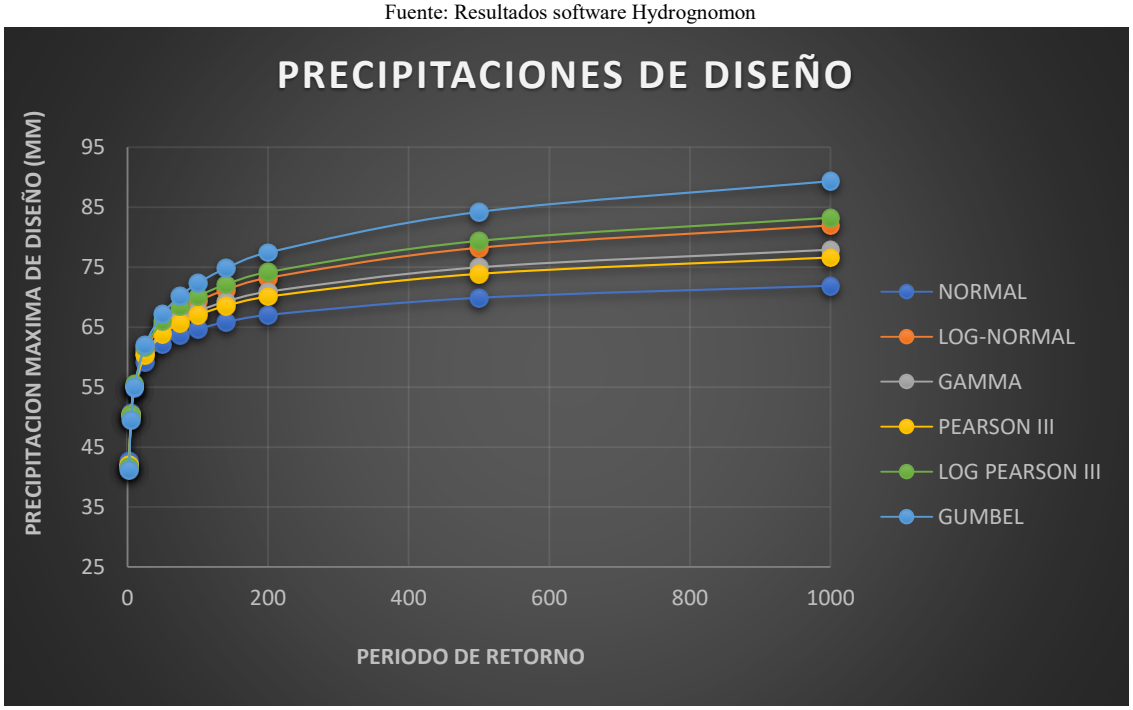
Realizando un análisis gráfico y de acuerdo a los resultados obtenidos de la prueba de SMIRNOV - KOLGOMOROV, la distribucion LOGPEARSON III es la que mejor se ajusta a la muestra analizada.

ESTACIÓN	DISTRIBUCIÓN TEÓRICA					
SANTO TOMAS	Normal	LogNormal	Gamma	Pearson III	Log Pearson III	EV1-Max (Gumbel)
a=5%	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
DMax	0.091	0.070	0.072	0.073	0.065	0.069
Attained a	95.46%	99.66%	99.54%	99.42%	99.87%	99.71%

Tabla 21. *Periodos de retorno con ajuste de la OMM Estación Santo Tomas*

T	NORMAL	LOG-NORMAL	GAMMA	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
1000	71.9	81.9	77.9	76.6	83.2	89.4
500	69.9	78.2	75.0	73.9	79.4	84.2
200	67.0	73.2	70.9	70.1	74.2	77.5
140	65.8	71.2	69.3	68.6	72.1	74.8
100	64.7	69.3	67.7	67.1	70.2	72.3
75	63.6	67.7	66.3	65.7	68.4	70.2
50	62.1	65.3	64.3	63.8	66.0	67.2
25	59.2	61.1	60.6	60.3	61.7	62.0
10	54.8	55.2	55.2	55.1	55.5	55.0
5	50.6	50.1	50.4	50.4	50.3	49.5
2	42.7	41.7	42.0	42.1	41.7	41.1

Fuente: Resultados software Hydrognomon



Luego del estudio de las distribuciones teóricas por periodos de retorno y la modificación de la OMM para cada estación del campo de estudio.

Después de modificar y modificar las funciones de distribución de probabilidades teóricas de la serie de precipitación máxima en 24 horas de cada estación en análisis, se establece la precipitación máxima diaria para distintos periodos de retorno, los cuales facilitarán la estimación de la intensidad de las precipitaciones máximas. La precipitación diaria máxima para

distintos periodos de retorno de las estaciones meteorológicas que se toman en cuenta en este estudio, se establece a través de la distribución Normal, Gamma y Gumbel máximo. Por tener un porcentaje de error estándar inferior al de otras distribuciones y se presentan:

Tabla 22. *Precipitaciones máximas 24 horas de las estaciones posteriormente analizadas*

ESTACION	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)										
	2	5	10	25	30	35	50	75	100	200	500
CURPAHUASI	32.11	38.93	43.05	47.92	48.84	49.61	51.36	53.30	54.66	57.87	62.01
TAMBOBAMBA	37.07	45.10	50.42	57.14	58.46	59.57	62.13	65.03	67.08	72.01	78.52
SANTO TOMAS	35.60	43.67	48.59	54.45	55.56	56.49	58.61	60.97	62.62	66.53	71.59

5.8. Determinación de Precipitaciones Máximas en 24 Horas para diferentes periodos de Retorno en el Punto de Interés

Tras las etapas previas, se llevó a cabo el modelado y/o Isoyetas para cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 30, 35, 50, 75, 100, 200 y 500 años). Con la herramienta Zonal Statistics del módulo Spatial Analyst del software ArcGIS, se determinó la precipitación areal máxima de 24 horas en el lugar de interés (Microcuencas 01, 02 y 03) para cada periodo de retorno. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 23. *Precipitaciones máximas 24h (mm) en las cuencas del sector de estudio de Choccoyo*

TR (años)	MICROCUENCA 01	MICROCUENCA 02	MICROCUENCA 03
2	39.963	40.075	40.178
5	46.894	47.026	47.096
10	50.794	51.121	51.251
25	55.221	55.670	55.819
50	58.228	58.771	58.935
75	59.931	60.268	60.373
100	61.040	61.678	61.856
140	62.349	63.034	63.220
200	63.705	64.440	64.633
500	67.058	67.924	68.137

Figura 46. *Mapa de regionalización por periodos de retorno microcuenca 01 Choccoyo*

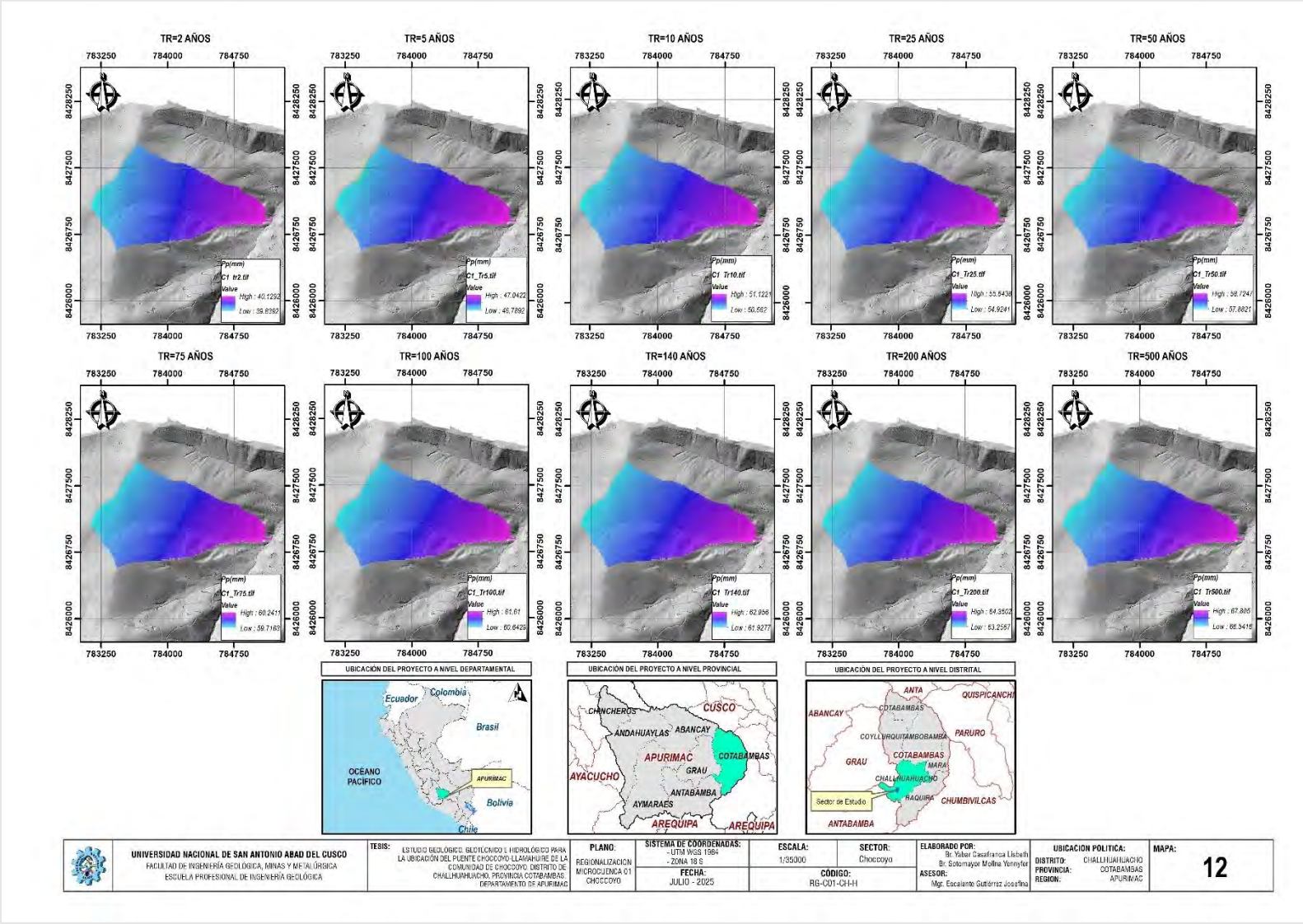


Figura 47. *Mapa de regionalización por periodos de retorno microcuenca 02 Choccoyo*

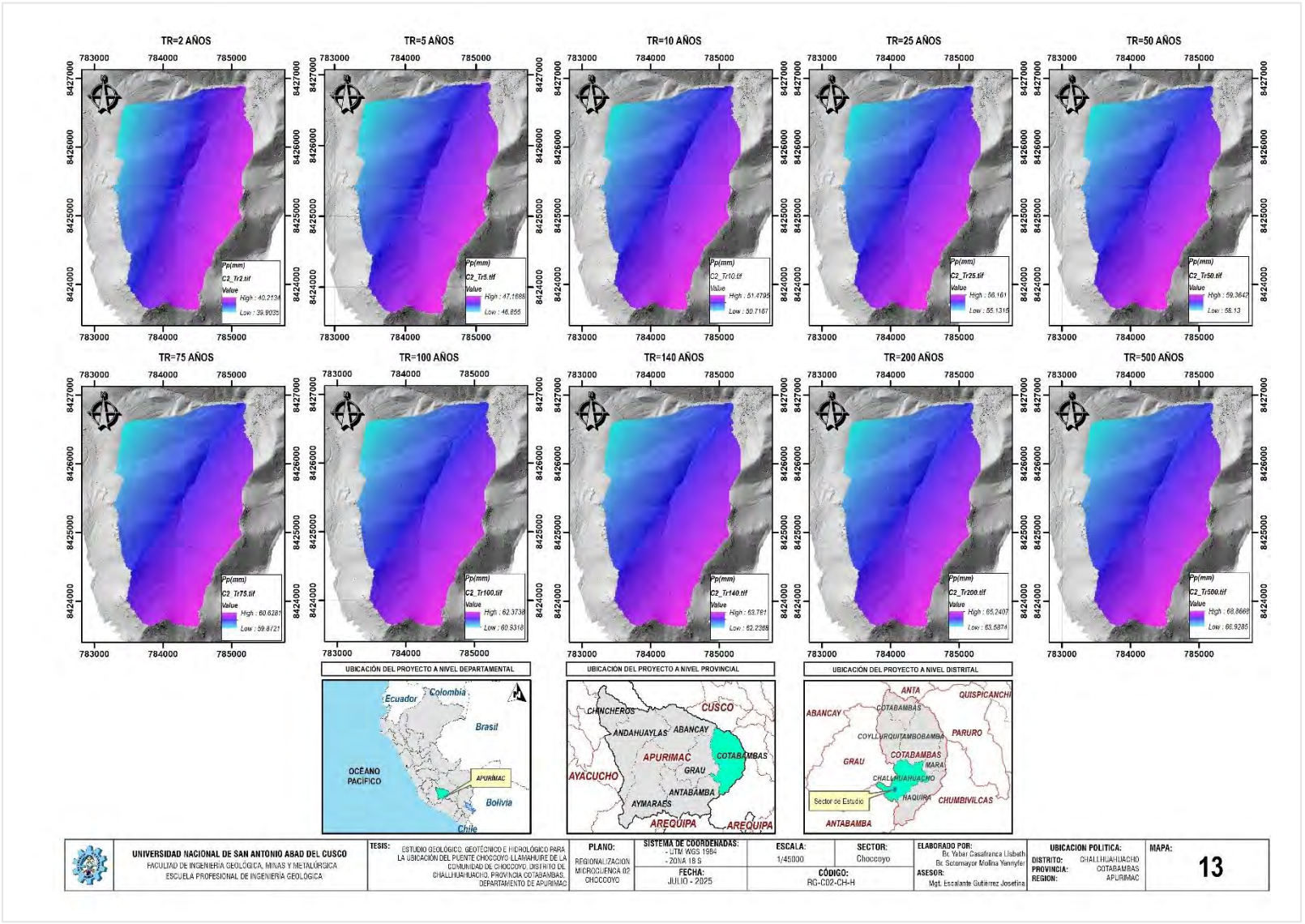
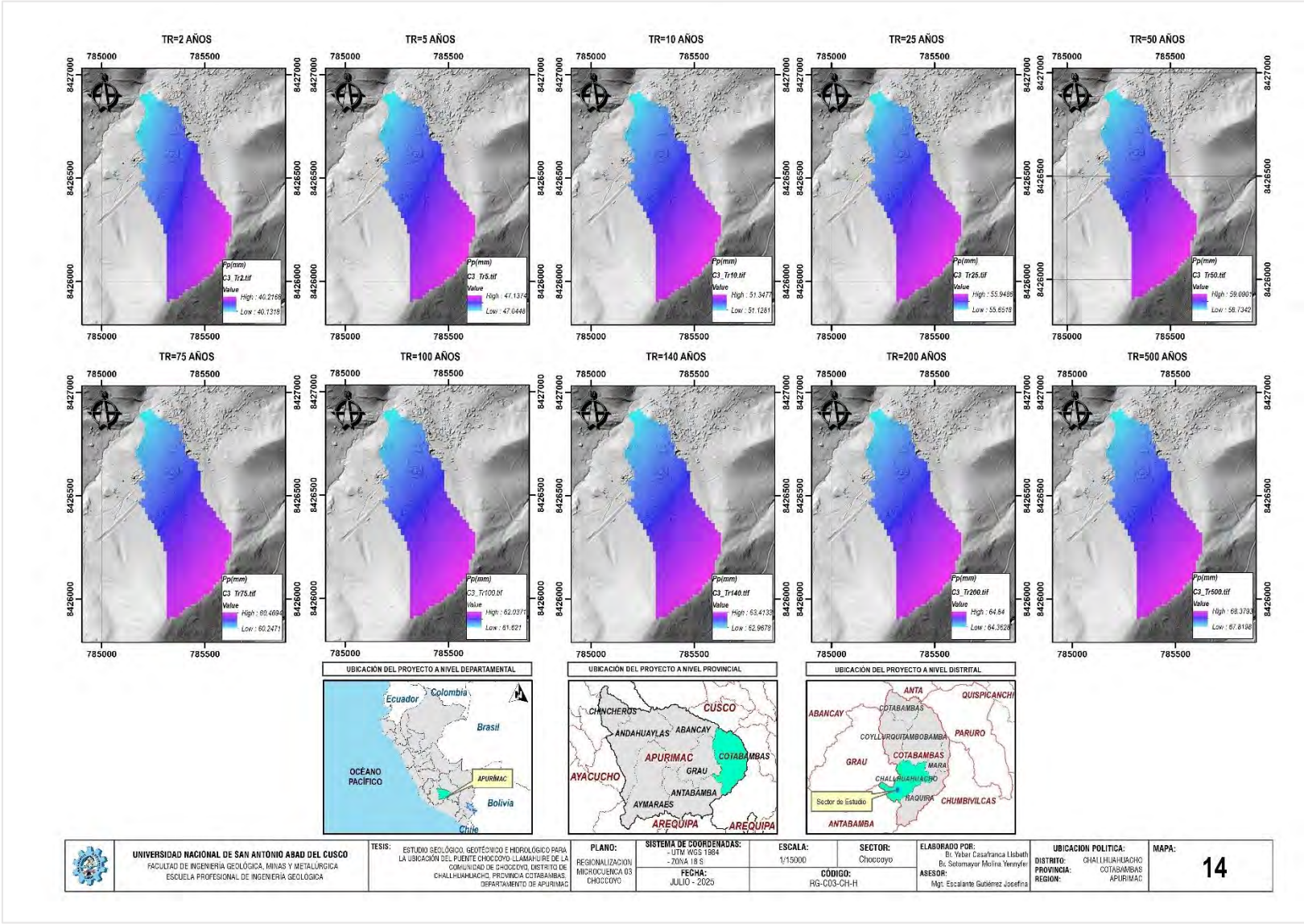


Figura 48. *Mapa de regionalización por periodos de retorno microcuenca 03 Choccoyo*



5.9. Determinación de la Tormenta de Diseño

La conceptualización de tormentas de diseño puede derivarse de la extrapolación de los patrones generales de precipitación de zonas contiguas o de la compilación de datos históricos pluviométricos de una determinada área geográfica. Esta metodología encuentra aplicación en un espectro que va desde la cuantificación de caudales máximos mediante el método racional para sistemas de drenaje pluvial en infraestructuras viales, hasta la implementación de series temporales de precipitación (hietogramas) en modelos de respuesta hidrológica para el dimensionamiento de estructuras de almacenamiento y retención hídrica en sitios localizados.

5.9.1. Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia

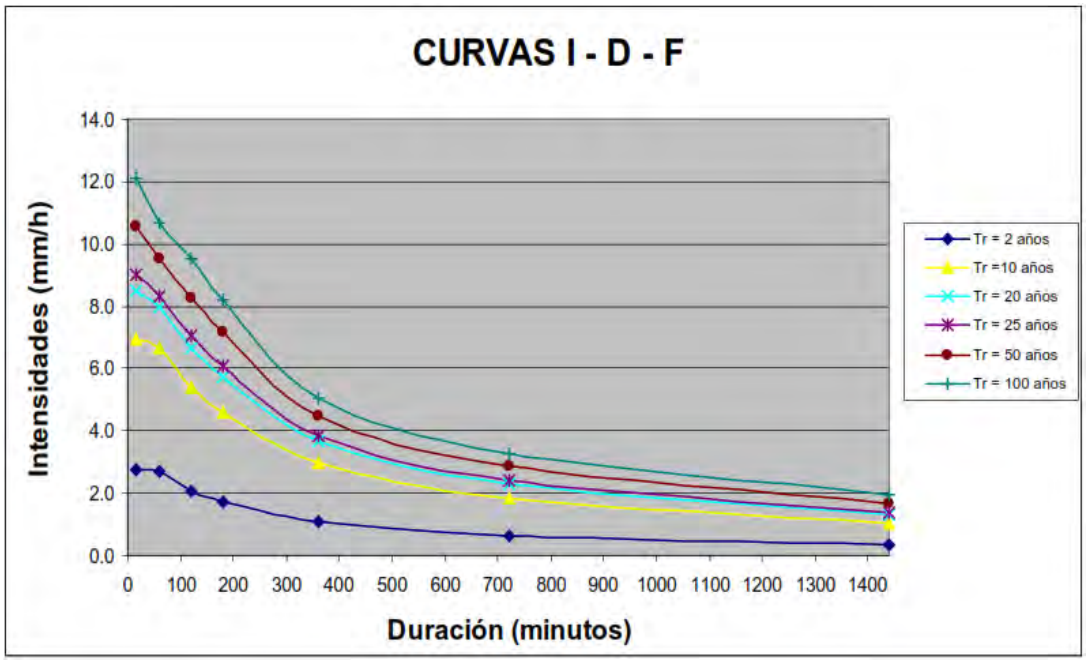
La tasa de precipitación, o intensidad, representa la profundidad de lluvia por unidad de tiempo (mm/h). Este valor puede corresponder a la intensidad instantánea en un momento dado o al promedio registrado a lo largo de la duración total del evento pluvial. Frecuentemente, se utiliza la intensidad promedio, cuya formulación es:

$$i = \frac{P}{Td}$$

La intensidad de precipitación se cuantifica como la razón entre la profundidad pluviométrica (P, expresada en milímetros) y la duración del evento (Td, comúnmente en horas). Por su parte, la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno pluvial se asocia con su período de retorno (T), definido como el intervalo temporal promedio transcurrido entre eventos de precipitación que igualan o superan una magnitud preestablecida de diseño. En este sentido, las curvas que correlacionan la intensidad, la duración y la frecuencia (curvas IDF) constituyen un elemento fundamental en la ingeniería hidrológica, al sintetizar la relación entre la magnitud de la intensidad de lluvia, su extensión temporal y su probabilidad de ocurrencia.

Para crear curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), se requieren registros de lluvia del sitio de interés. Se debe seleccionar la precipitación más intensa para diversas duraciones anuales y realizar un análisis de frecuencia con estas series. Esto implica examinar los hietogramas de cada tormenta anual para identificar y extraer los valores máximos de lluvia para periodos como una hora, dos horas, etc. Con estos valores, se construyen series anuales, donde para cada año se elige el valor más alto correspondiente a cada duración. Cada una de estas series se somete a un estudio probabilístico para obtener una distribución de la intensidad de lluvia por duración, la cual se plasma en un gráfico de intensidad vs. duración, usando el período de retorno como parámetro. Es crucial notar que la creación de estas series anuales es un proceso arduo y minucioso, que involucra el análisis detallado de registros, digitalización, validación con datos cercanos y la identificación de los picos de lluvia para cada duración.

Figura 49. *Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima*



Fuente: *Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje*

La intensidad de lluvia de diseño ("I") y su duración ("D") están ligadas por una ecuación con coeficientes "a", "b" y "n", los cuales son específicos para cada lugar y período de retorno. Estos coeficientes se obtienen mediante la linealización de la ecuación y posterior aplicación de una regresión lineal. Es importante que la duración de la lluvia de diseño sea igual al tiempo de concentración (tc) del área de drenaje, ya que en ese instante se produce el pico de escorrentía al contribuir toda la superficie. Sin embargo, en nuestro país, la escasez de datos pluviométricos complica la elaboración de estas curvas IDF. Habitualmente, solo se dispone de datos de precipitación máxima en 24 horas, por lo que la intensidad de la precipitación máxima suele calcularse para ese intervalo.

Cuando las tormentas tienen una duración inferior a una hora o no se dispone de registros de lluvia para determinar sus intensidades máximas, es posible estimarlas mediante el método de Dick Peschke (Guevara, 1991). Este método relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima registrada en 24 horas y se expresa así:

$$P_d = P_{24h}\left[\frac{d}{1440}\right]^{0.25}$$

Donde:

Pd: *precipitación total (mm)*

d: *duración en minutos*

P24h: *precipitación máxima en 24 horas (mm)*

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración.

El modelo de Dick y Peschke se emplea cuando las tormentas duran menos de una hora o cuando no hay registros pluviográficos para determinar las intensidades máximas. En estos casos, las intensidades pueden calcularse con la metodología ya explicada, que vincula la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas.

Se puede establecer como un procedimiento lo siguiente:

1. Seleccionar las lluvias mayores para diferente tiempo de duración.
2. Ordenar de mayor a menor.
3. Asignar a cada valor ordenado una probabilidad empírica.
4. Calcular el tiempo de retorno de cada valor.
5. Graficar la curva intensidad-frecuencia-duración.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente relación:

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

Donde:

I: *Intensidad máxima (mm/h)*

K, m, n: *factores característicos de la zona de estudio*

T: *período de retorno en años*

t: *duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)*

Si se toman los logaritmos de las ecuaciones anterior se obtiene:

Log(I)=Log (K)+mLog (T)-nLod (t)

Bien: $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$

Donde:

Y *= Log(I); a0 = Log K*

X1 *= Log (T); a1 = m*

X2 *= Log (t); a2 = -n*

Los factores de K, m, n, se obtienen a partir de los datos existentes. El procedimiento se muestra en los cuadros adjuntos.

A partir de los valores de lluvia máxima en 24 horas, asociados a cada período de retorno, es posible calcular las intensidades de precipitación para duraciones menores a un día. Los anexos incluyen la distribución temporal e intensidad de las lluvias, así como el diagrama Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-Tr) en escala logarítmica con sus ecuaciones correspondientes para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 30, 35, 50, 75, 100, 200 y 500 años. Los cuadros y gráficos subsiguientes detallan el procedimiento para establecer la ecuación que modela el comportamiento de la intensidad de precipitación en la región del proyecto, que comprende tres microcuencas principales. Debido a que estas microcuencas tienen tiempos de concentración inferiores a una hora y a la falta de registros pluviométricos, se optó por el método de Dick & Peschke. En nuestro estudio, se analizaron cinco microcuencas influyentes en el proyecto. Es crucial considerar las duraciones de las tormentas, basándose en los tiempos de concentración previamente determinados, al aplicar los diferentes métodos.

Nº	Nombre	$I = \frac{KT^m}{t^n}$		
		K	m	n
1	Cho01	390.105	0.089	0.7500
2	Cho02	390.546	0.092	0.7500
3	Cho03	391.306	0.092	0.7500

Tabla 24. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo*

Bloques Alternos (Tr = 140 años) Microcuenca 01 Choccoyo					
Duración (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P. Acumulada (mm)**	**P. Incremental (mm)**	**Tiempo (min)**	**Precipitación (mm)**
5	181.493	15.124	15.124	0-5	0.760
10	107.917	17.986	2.862	5-10	0.930
15	79.620	19.905	1.919	10-15	1.227
20	64.168	21.389	1.484	15-20	1.919
25	54.279	22.616	1.227	20-25	15.124
30	47.342	23.671	1.055	25-30	2.862
35	42.173	24.601	0.930	30-35	1.484
40	38.154	25.436	0.835	35-40	1.055
45	34.928	26.196	0.760	40-45	0.835

Figura 50. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo*

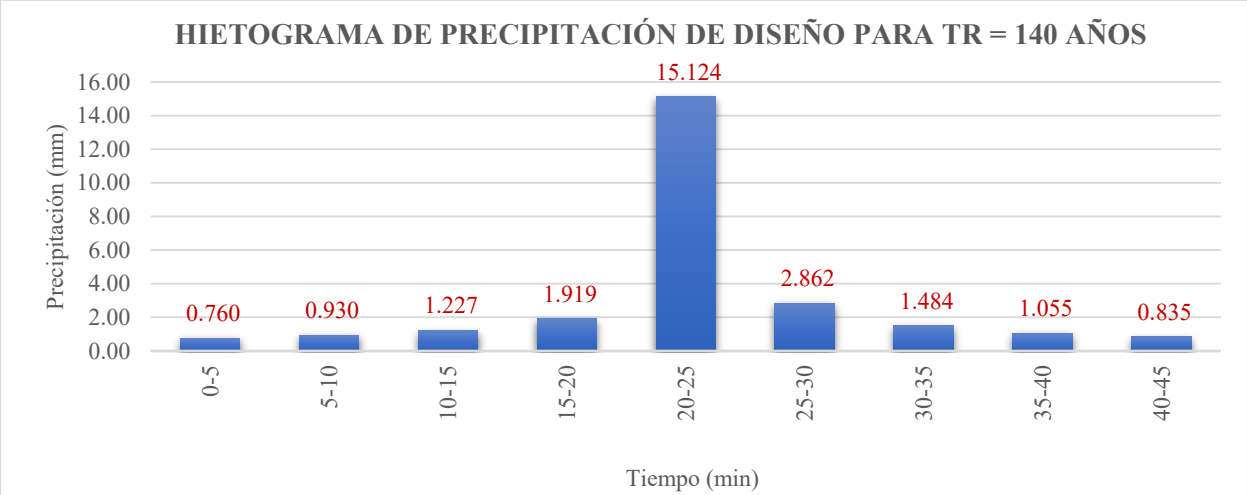


Tabla 25. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo*

Bloques Alternos (Tr = 200 años) Microcuenca 01 Choccoyo					
Duración (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P. Acumulada (mm)**	**P. Incremental (mm)**	**Tiempo (min)**	**Precipitación (mm)**
5	187.379	15.615	15.615	0-5	0.785
10	111.416	18.569	2.954	5-10	0.960
15	82.202	20.550	1.981	10-15	1.267
20	66.249	22.083	1.532	15-20	1.981
25	56.039	23.350	1.267	20-25	15.615
30	48.877	24.439	1.089	25-30	2.954
35	43.541	25.399	0.960	30-35	1.532
40	39.392	26.261	0.862	35-40	1.089
45	36.061	27.046	0.785	40-45	0.862

Figura 51. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo*

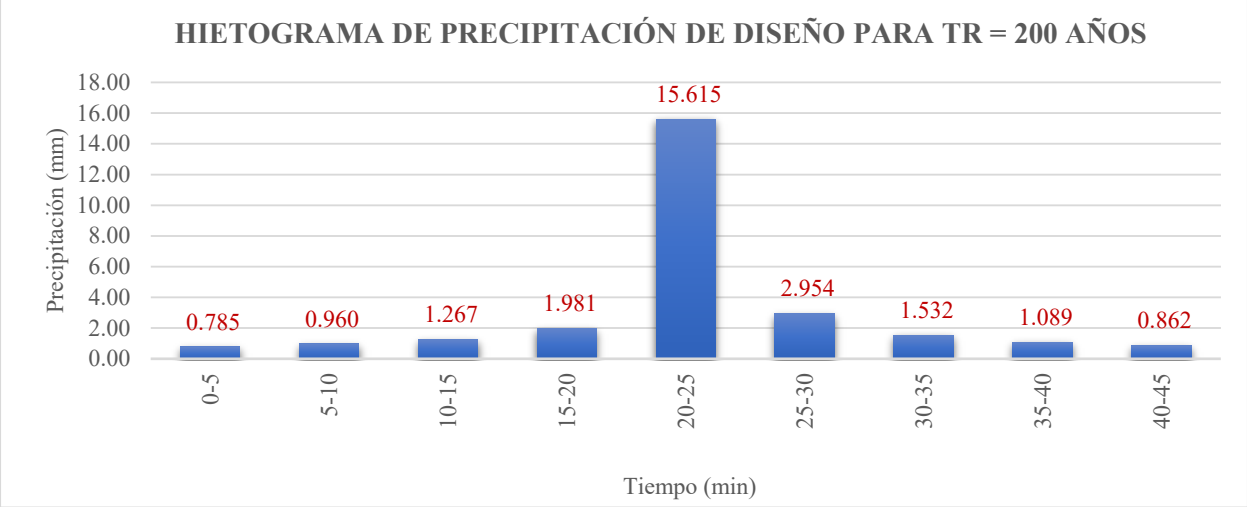


Tabla 26. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo*

Bloques Alternos (Tr = 500 años) Microcuenca 01 Choccoyo					
Duración (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P. Acumulada (mm)**	**P. Incremental (mm)**	**Tiempo (min)**	**Precipitación (mm)**
5	203.390	16.949	16.949	0-5	0.852
10	120.936	20.156	3.207	5-10	1.042
15	89.225	22.306	2.150	10-15	1.375
20	71.909	23.970	1.663	15-20	2.150
25	60.828	25.345	1.375	20-25	16.949
30	53.054	26.527	1.182	25-30	3.207
35	47.261	27.569	1.042	30-35	1.663
40	42.757	28.505	0.936	35-40	1.182
45	39.142	29.357	0.852	40-45	0.936

Figura 52. *Hietograma de precipitación de diseño para TR =500 AÑOS Microcuenca 01 Choccoyo*

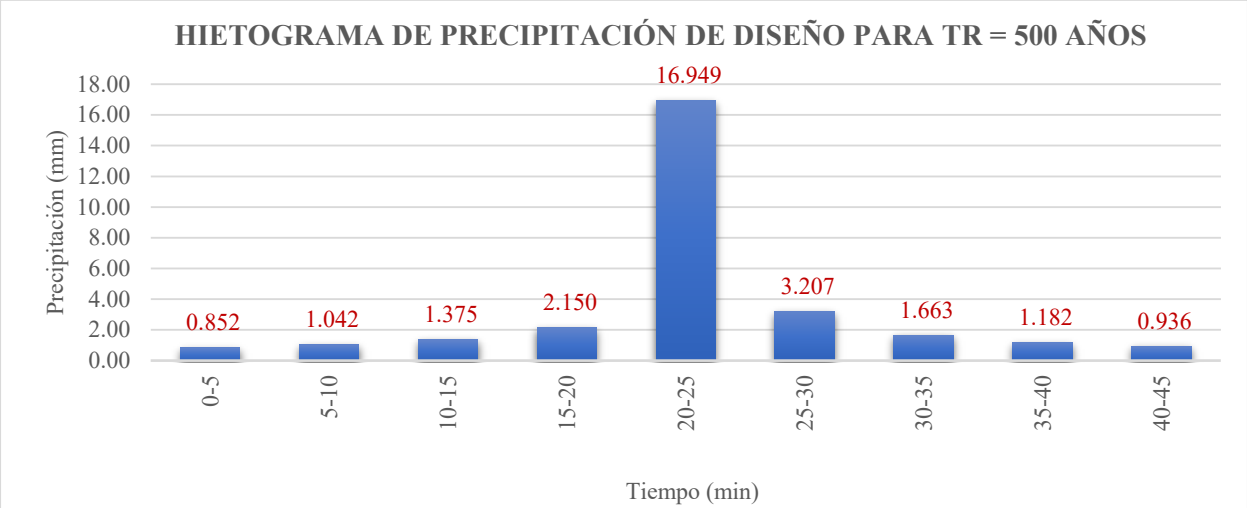


Tabla 27. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo*

Bloques Alternos (Tr = 140 años) Microcuenca 02 Choccoyo					
Duración (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P. Acumulada (mm)**	**P. Incremental (mm)**	**Tiempo (min)**	**Precipitación (mm)**
3	269.135	13.457	13.457	0-3	0.326
6	160.029	16.003	2.546	3-6	0.349
9	118.067	17.710	1.707	6-9	0.377
12	95.154	19.031	1.321	9-12	0.411
15	80.490	20.123	1.092	12-15	0.453
18	70.203	21.061	0.938	15-18	0.506
21	62.538	21.888	0.827	18-21	0.577
24	56.579	22.631	0.743	21-24	0.676
27	51.795	23.308	0.676	24-27	0.827
30	47.860	23.930	0.622	27-30	1.092
33	44.558	24.507	0.577	30-33	1.707
36	41.743	25.046	0.539	33-36	13.457
39	39.311	25.552	0.506	36-39	2.546
42	37.186	26.030	0.478	39-42	1.321
45	35.310	26.483	0.453	42-45	0.938
48	33.642	26.914	0.431	45-48	0.743
51	32.147	27.325	0.411	48-51	0.622
54	30.798	27.718	0.393	51-54	0.539
57	29.574	28.095	0.377	54-57	0.478
60	28.458	28.458	0.363	57-60	0.431
63	27.435	28.807	0.349	60-63	0.393
66	26.494	29.144	0.337	63-66	0.363
69	25.626	29.469	0.326	66-69	0.337
72	24.821	29.785	0.315	69-72	0.315

Figura 53. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo*

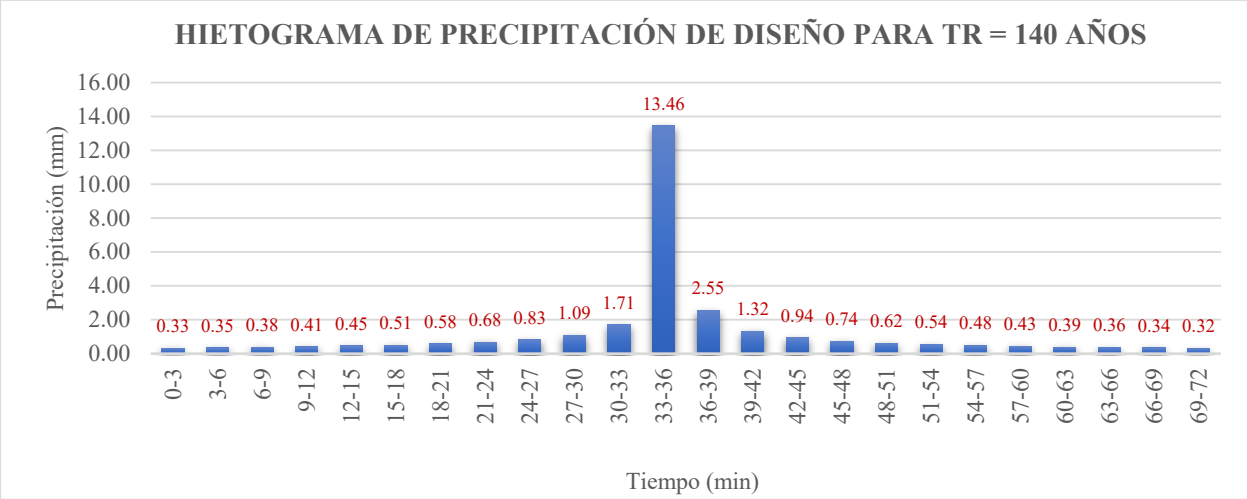


Tabla 28. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo*

Bloques Alternos (Tr = 200 años) Microcuenca 02 Choccoyo					
Duración (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P. Acumulada (mm)**	**P. Incremental (mm)**	**Tiempo (min)**	**Precipitación (mm)**
3	278.057	13.903	13.903	0-3	0.336
6	165.334	16.533	2.631	3-6	0.361
9	121.981	18.297	1.764	6-9	0.390
12	98.308	19.662	1.364	9-12	0.425
15	83.159	20.790	1.128	12-15	0.468
18	72.531	21.759	0.970	15-18	0.523
21	64.612	22.614	0.855	18-21	0.596
24	58.454	23.382	0.768	21-24	0.699
27	53.512	24.080	0.699	24-27	0.855
30	49.446	24.723	0.643	27-30	1.128
33	46.035	25.319	0.596	30-33	1.764
36	43.127	25.876	0.557	33-36	13.903
39	40.614	26.399	0.523	36-39	2.631
42	38.418	26.893	0.494	39-42	1.364
45	36.481	27.361	0.468	42-45	0.970
48	34.757	27.806	0.445	45-48	0.768
51	33.212	28.230	0.425	48-51	0.643
54	31.819	28.637	0.406	51-54	0.557
57	30.554	29.026	0.390	54-57	0.494
60	29.401	29.401	0.375	57-60	0.445
63	28.345	29.762	0.361	60-63	0.406
66	27.373	30.110	0.348	63-66	0.375
69	26.475	30.446	0.336	66-69	0.348
72	25.643	30.772	0.326	69-72	0.326

Figura 54. *Hietograma de precipitación de diseño para TR =200 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo*

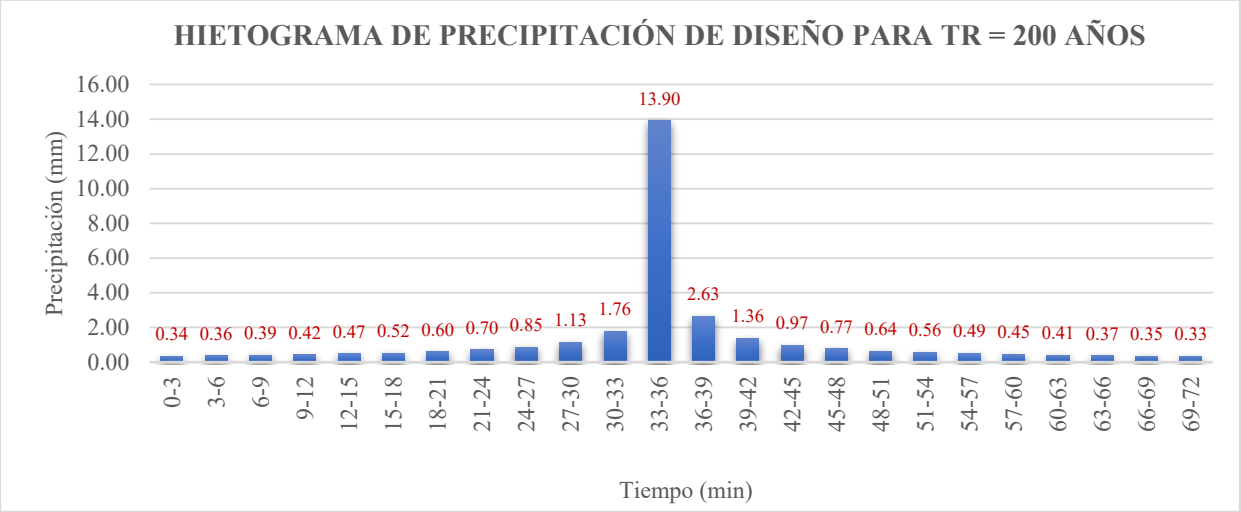
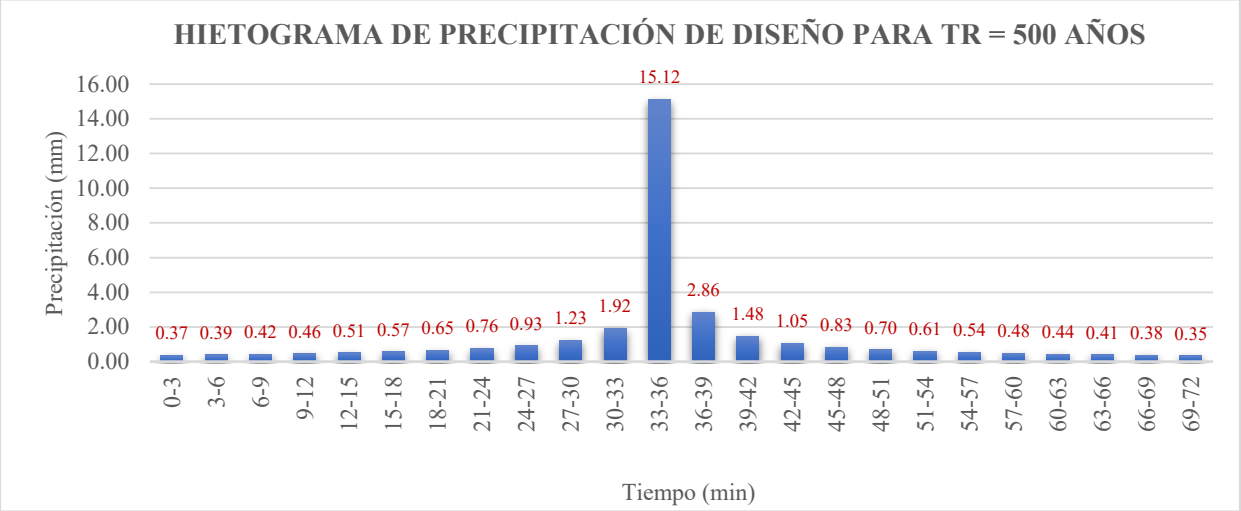


Tabla 29. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo*

Bloques Alternos (Tr = 500 años) Microcuenca 02 Choccoyo					
Duración (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P. Acumulada (mm)**	**P. Incremental (mm)**	**Tiempo (min)**	**Precipitación (mm)**
3	302.357	15.118	15.118	0-3	0.366
6	179.783	17.978	2.860	3-6	0.392
9	132.641	19.896	1.918	6-9	0.424
12	106.899	21.380	1.484	9-12	0.462
15	90.426	22.606	1.227	12-15	0.509
18	78.869	23.661	1.054	15-18	0.569
21	70.258	24.590	0.930	18-21	0.648
24	63.563	25.425	0.835	21-24	0.760
27	58.189	26.185	0.760	24-27	0.930
30	53.768	26.884	0.699	27-30	1.227
33	50.058	27.532	0.648	30-33	1.918
36	46.896	28.137	0.605	33-36	15.118
39	44.163	28.706	0.569	36-39	2.860
42	41.776	29.243	0.537	39-42	1.484
45	39.669	29.752	0.509	42-45	1.054
48	37.795	30.236	0.484	45-48	0.835
51	36.115	30.697	0.462	48-51	0.699
54	34.599	31.139	0.442	51-54	0.605
57	33.224	31.563	0.424	54-57	0.537
60	31.970	31.970	0.407	57-60	0.484
63	30.822	32.363	0.392	60-63	0.442
66	29.765	32.741	0.379	63-66	0.407
69	28.789	33.107	0.366	66-69	0.379
72	27.884	33.461	0.354	69-72	0.354

***Figura 55**. Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 02 Choccoyo*



$$I = \frac{391.30572 * T^{0.0918961}}{t^{0.75}}$$

***Tabla 30.** Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo*

Bloques Alternos (Tr = 140 años) Microcuenca 03 Choccoyo					
Duración (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P. Acumulada (mm)**	**P. Incremental (mm)**	**Tiempo (min)**	**Precipitación (mm)**
3	269.923	13.496	13.496	0-3	0.678
6	160.497	16.050	2.554	3-6	0.830
9	118.413	17.762	1.712	6-9	1.095
12	95.432	19.086	1.325	9-12	1.712
15	80.726	20.181	1.095	12-15	13.496
18	70.409	21.123	0.941	15-18	2.554
21	62.722	21.953	0.830	18-21	1.325
24	56.744	22.698	0.745	21-24	0.941
27	51.947	23.376	0.678	24-27	0.745

***Figura 56.** Hietograma de precipitación de diseño para TR = 140 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo*

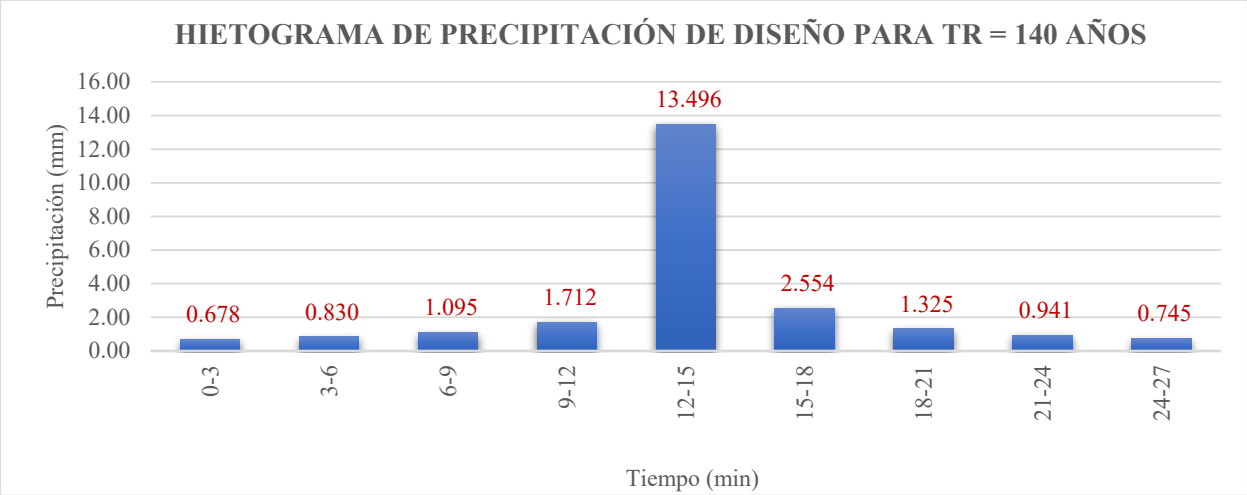


Tabla 31. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo*

Bloques Alternos (Tr = 200 años) Microcuenca 03 Choccoyo					
Duración (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P. Acumulada (mm)**	**P. Incremental (mm)**	**Tiempo (min)**	**Precipitación (mm)**
3	278.891	13.945	13.945	0-3	0.701
6	165.829	16.583	2.638	3-6	0.857
9	122.347	18.352	1.769	6-9	1.131
12	98.603	19.721	1.369	9-12	1.769
15	83.408	20.852	1.131	12-15	13.945
18	72.748	21.824	0.972	15-18	2.638
21	64.805	22.682	0.857	18-21	1.369
24	58.630	23.452	0.770	21-24	0.972
27	53.673	24.153	0.701	24-27	0.770

Figura 57. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 200 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo*

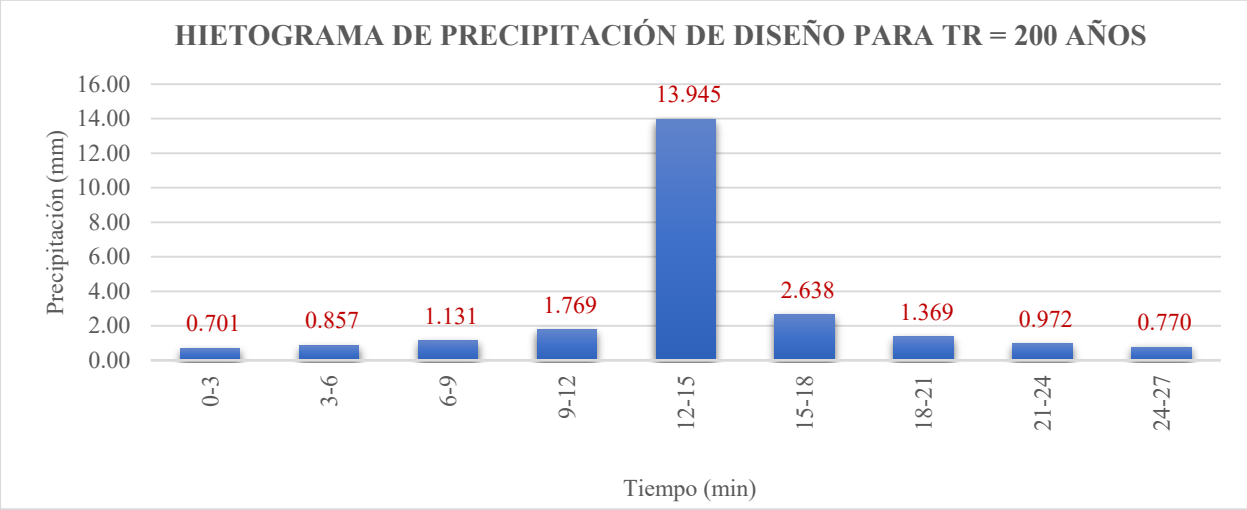
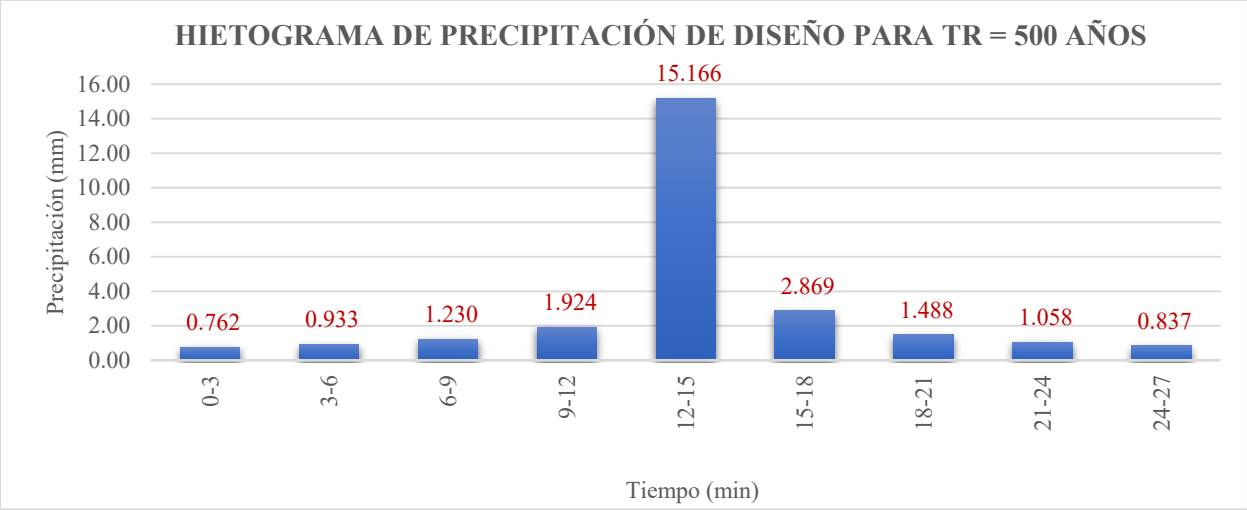


Tabla 32. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo*

Bloques Alternos (Tr = 500 años) Microcuenca 03 Choccoyo					
Duración (min)	**Intensidad (mm/h)**	**P. Acumulada (mm)**	**P. Incremental (mm)**	**Tiempo (min)**	**Precipitación (mm)**
3	303.318	15.166	15.166	0-3	0.762
6	180.354	18.035	2.869	3-6	0.933
9	133.063	19.959	1.924	6-9	1.230
12	107.239	21.448	1.488	9-12	1.924
15	90.713	22.678	1.230	12-15	15.166
18	79.120	23.736	1.058	15-18	2.869
21	70.481	24.669	0.933	18-21	1.488
24	63.765	25.506	0.837	21-24	1.058
27	58.374	26.268	0.762	24-27	0.837

Figura 58. *Hietograma de precipitación de diseño para TR = 500 AÑOS Microcuenca 03 Choccoyo*

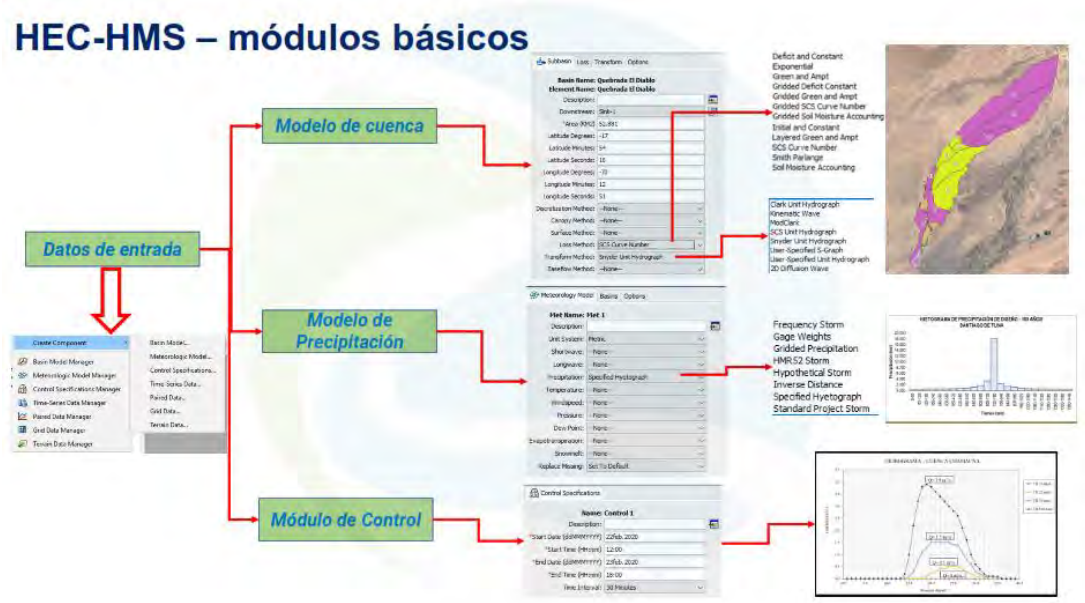


5.10. Obtención de los Caudales Máximos de Diseño

Para el dimensionamiento hidráulico del proyecto de investigación: "ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO", se estimaron los caudales máximos de diseño, en base a la precipitación máxima en 24 Horas (Pm24hr), y su transformación en intensidades máximas horarias (Curvas IDF) de la estación en el área de estudio o interés.

Los caudales máximos se obtuvieron de modelos hidrológicos desarrollados mediante el software HEC-HMS.

Figura 59. *Flujograma para cálculo de caudales en HEC-HMS*

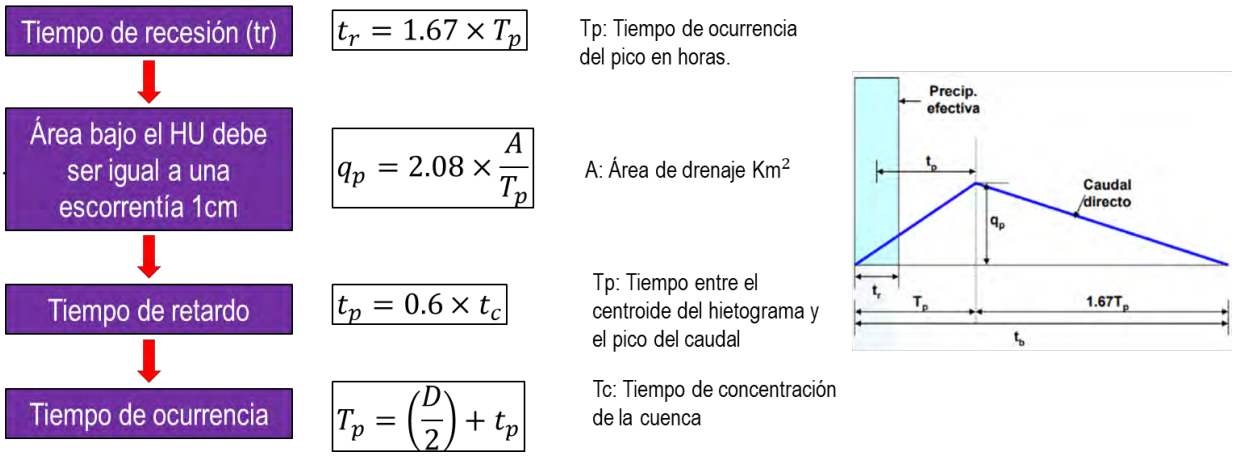


Fuente: HidroGis. Ing. Víctor Orlando Olivos Alvites (Ing. Agrícola). Módulos Básicos para el cálculo de caudales máximos por HEC-HMS

5.10.1. Hidrograma unitario sintético del SCS

Conforme al HEC-HMS Technical Reference Manual, el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) propuso un modelo paramétrico de hidrograma unitario (HU). Este modelo fue formulado a partir de la promediación de hidrogramas unitarios obtenidos de mediciones de precipitación y escorrentía en una vasta colección de pequeñas cuencas agrícolas distribuidas por todo Estados Unidos. Los documentos SCS Technical Report 55 (1986) y el National Engineering Handbook (1971) ofrecen una descripción pormenorizada de este hidrograma unitario. No obstante, es importante señalar que la aplicación de este método se aconseja únicamente para cuencas con una superficie máxima de 30 km².

***Figura 60**. Flujograma del Hidrograma unitario sintético del SCS*



Fuente: *HidroGis. Ing. Víctor Orlando Olivos Alvites (Ing. Agrícola). Modelo de cuenca – Método de transformación.*

5.10.2. Cálculo de la Curva Numero (CN) – Método NVDI

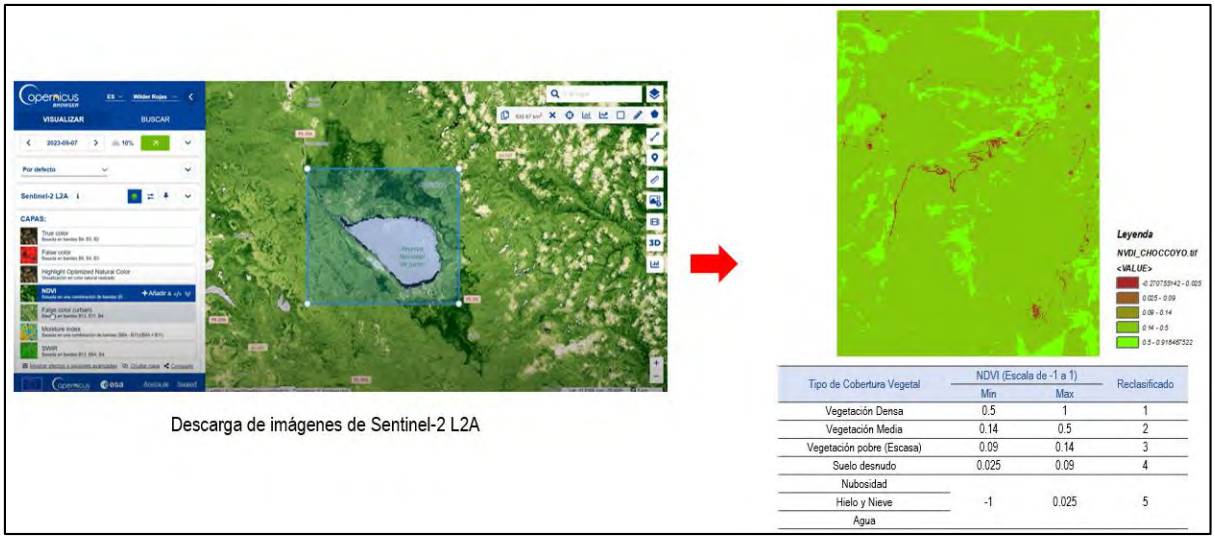
El método del Número de Curva (CN), desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los EE.UU. en 1954, es una técnica ampliamente utilizada para determinar la precipitación efectiva. Este cálculo se logra conociendo la precipitación total y un parámetro de abstracción hidrológica conocido como Número de Curva. Aunque inicialmente se concibió para cuantificar el flujo directo y estimar avenidas en el ámbito de la hidrología agrícola, su aplicación se ha extendido progresivamente a la hidrología forestal, de pastizales y urbana, e incluso a otros tipos de hidrología ante la ausencia de alternativas.

La escorrentía directa de una tormenta se obtiene al descontar las abstracciones, como la infiltración. Este proceso de descuento está condicionado por tres elementos clave: la textura del

suelo, su uso y cobertura, y la condición de humedad previa al inicio de la tormenta. El valor adimensional del CN, un factor directo en el cómputo de la precipitación efectiva, integra la influencia de estos tres factores. Mientras que la textura y el uso/cobertura del suelo son considerados estáticos o de variación lenta, la humedad antecedente del suelo presenta una dinámica más pronunciada.

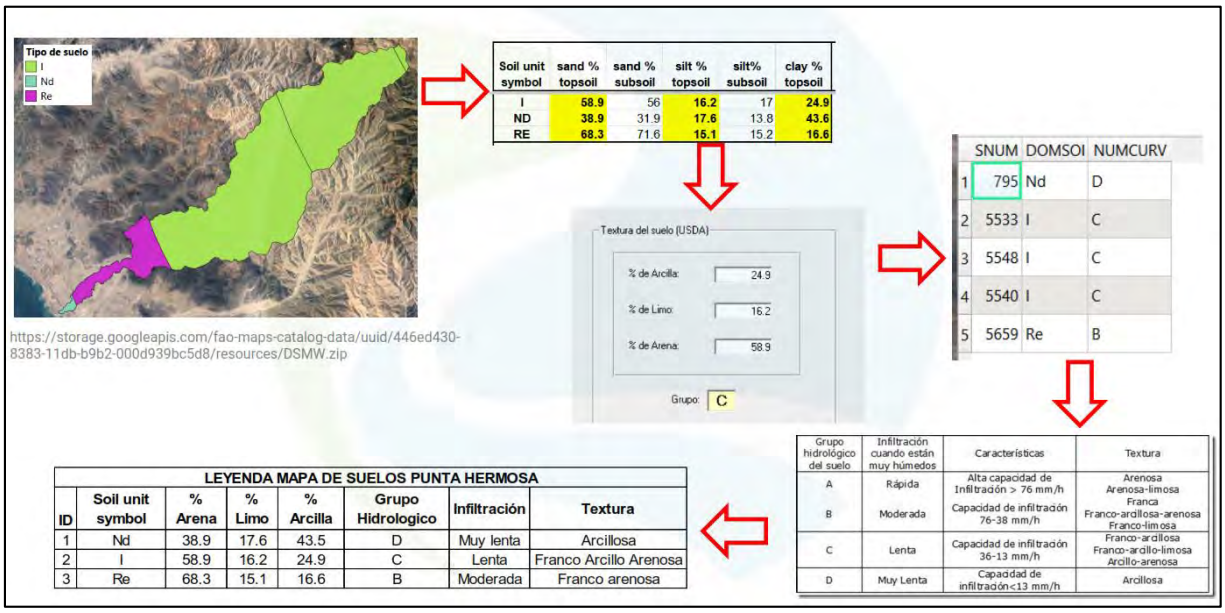
El principio subyacente al concepto del número de la curva es que una mayor capacidad de retención del suelo se traduce en una mayor escorrentía. Este modelo asume una profundidad finita del suelo, representada por el parámetro de retención potencial (S). En consecuencia, la capacidad de abstracción de precipitación es inversamente proporcional al número de la curva: un CN de 100 indica una abstracción nula y, por ende, la escorrentía es igual a la precipitación total; por el contrario, un CN de 1 implica una abstracción casi completa de la lluvia, resultando en una escorrentía prácticamente inexistente.

Figura 61. *Flujograma del Cálculo de Cobertura Vegetal a partir de NVDI*



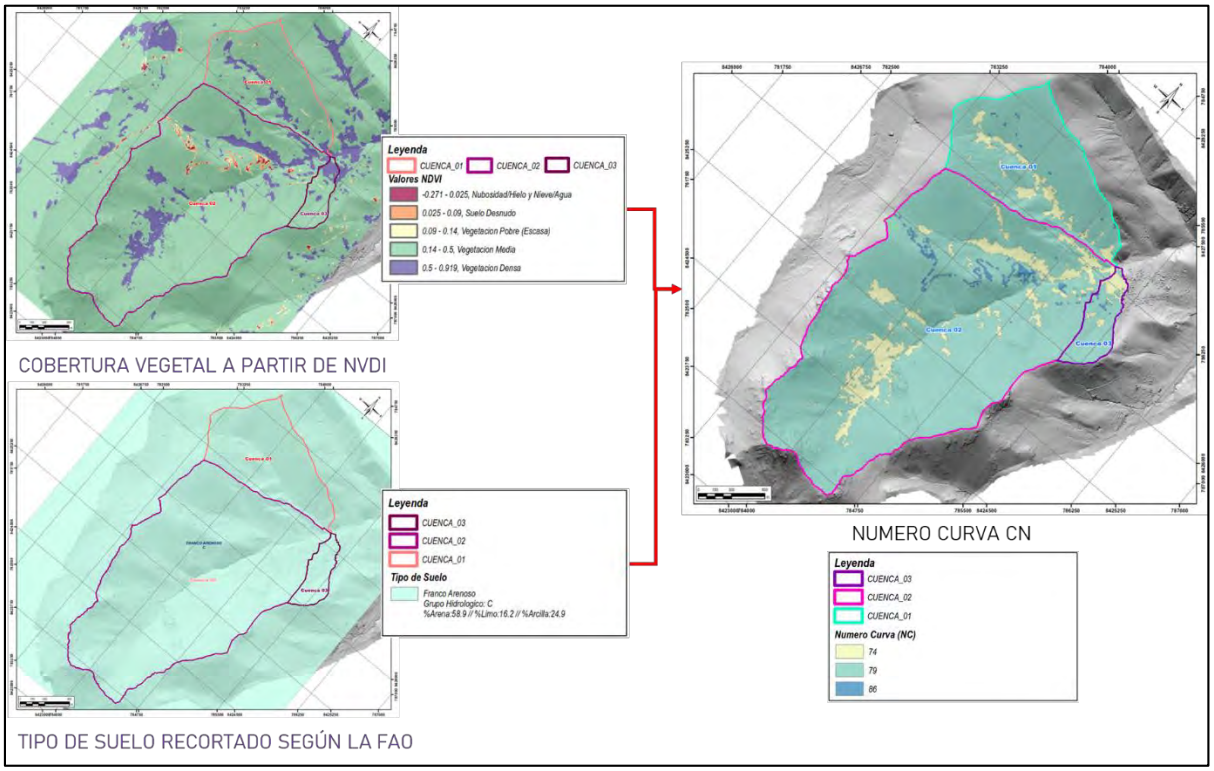
Tipo de Cobertura Vegetal	NDVI (Escala de -1 a 1)		Reclasificado
	Min	Max	
Vegetación Densa	0.5	1	1
Vegetación Media	0.14	0.5	2
Vegetación pobre (Escasa)	0.09	0.14	3
Suelo desnudo	0.025	0.09	4
Nubosidad			
Hielo y Nieve	-1	0.025	5
Agua			

Figura 62. *Flujograma del Cálculo de Grupo Hidrológico a partir de los tipos de suelos de la FAO*



Fuente: *HidroGis. Ing. Víctor Orlando Olivos Alvites (Ing. Agrícola). Cálculo de Grupo Hidrológico a partir de los tipos de suelos de la FAO.*

Figura 63. *Flujograma de Cálculo de Numero Curva CN*



5.10.3. Estimación de los Caudales Máximos de Diseño de las Microcuencas de estudio

Para las microcuencas de estudio, se procedió a la estimación de los caudales máximos de diseño correspondientes a distintos períodos de retorno. Esta tarea se llevó a cabo utilizando el software HEC-HMS. El proceso implicó la integración de los hietogramas de diseño con parámetros hidrológicos y geomorfológicos específicos de la cuenca, lo que permitió determinar los caudales pertinentes. Cabe destacar que, para esta cuenca en particular, se optó por el método de transformación del hidrograma unitario del SCS, dada su idoneidad para cuencas con una superficie inferior a 30 km².

Figura 64. *Modelo Hidrológico para la Microcuenca 01 del rio Choccoyo*

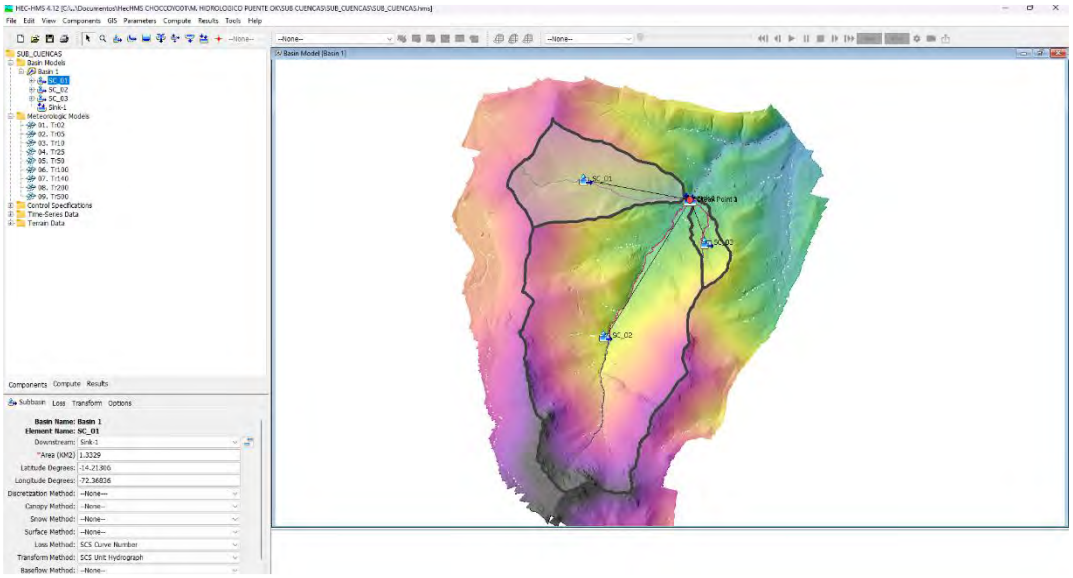
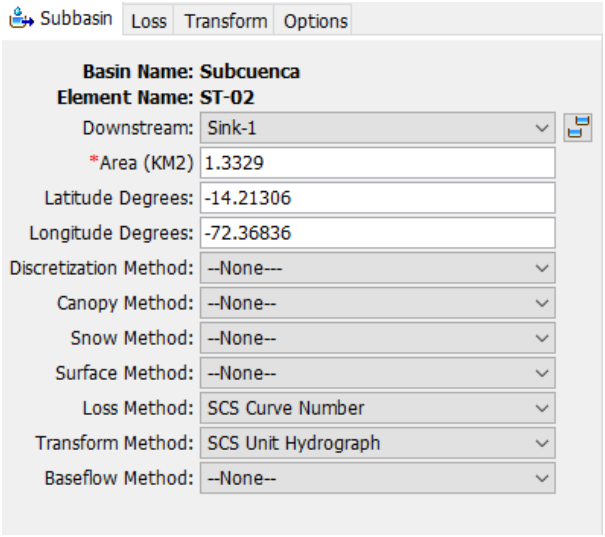
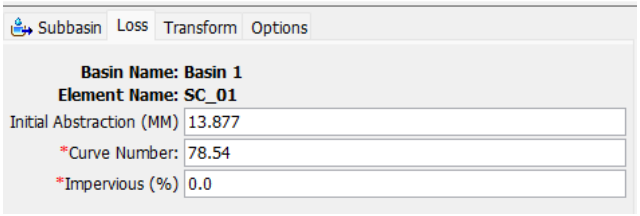


Figura 65. *Parámetros Hidrológicos para la Microcuenca 01 del rio Choccoyo*





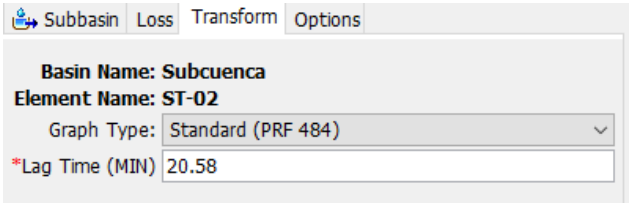
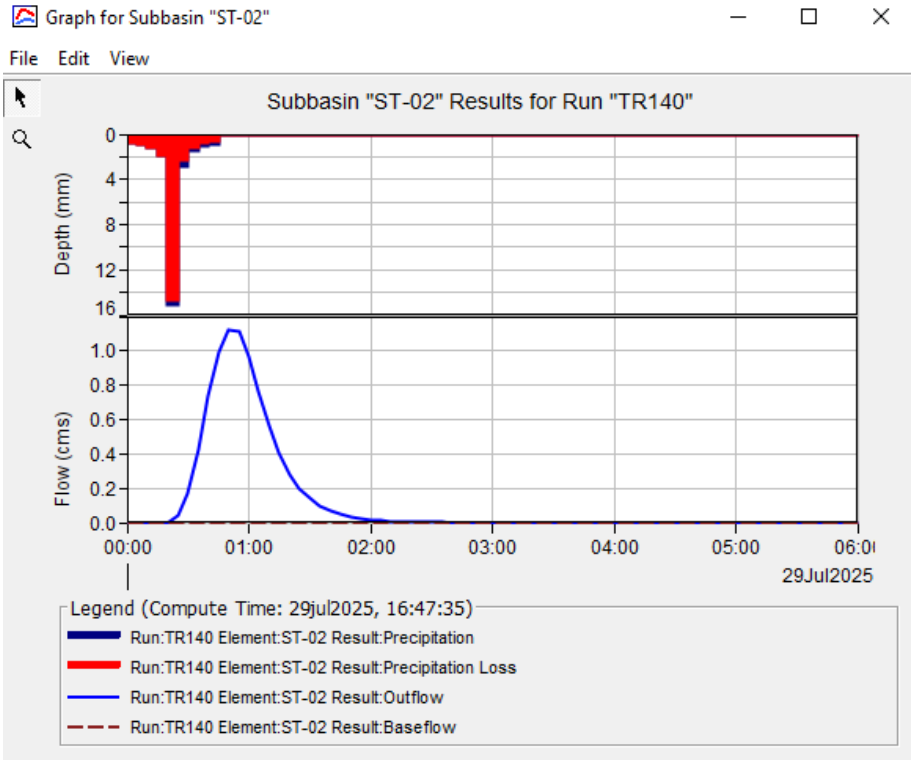


Figura 66. *Hidrograma para TR 140 años de la microcuenca 01 del río Choccoyo*



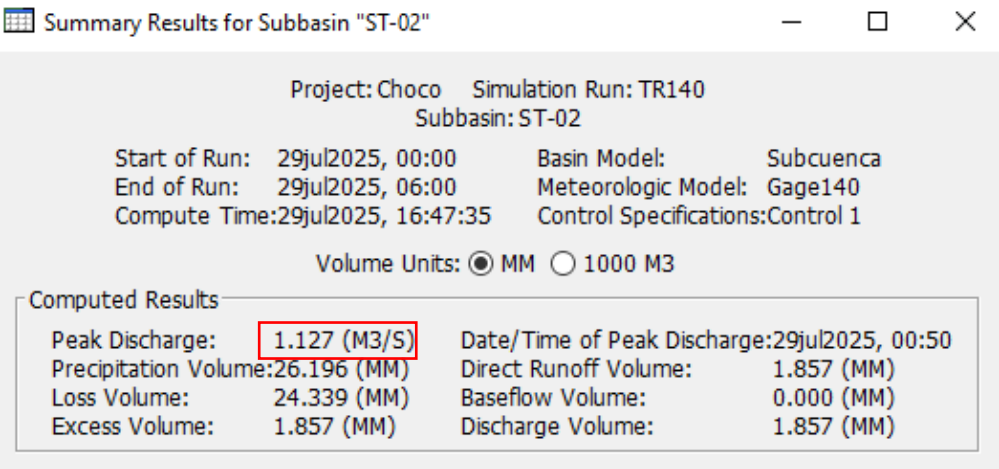
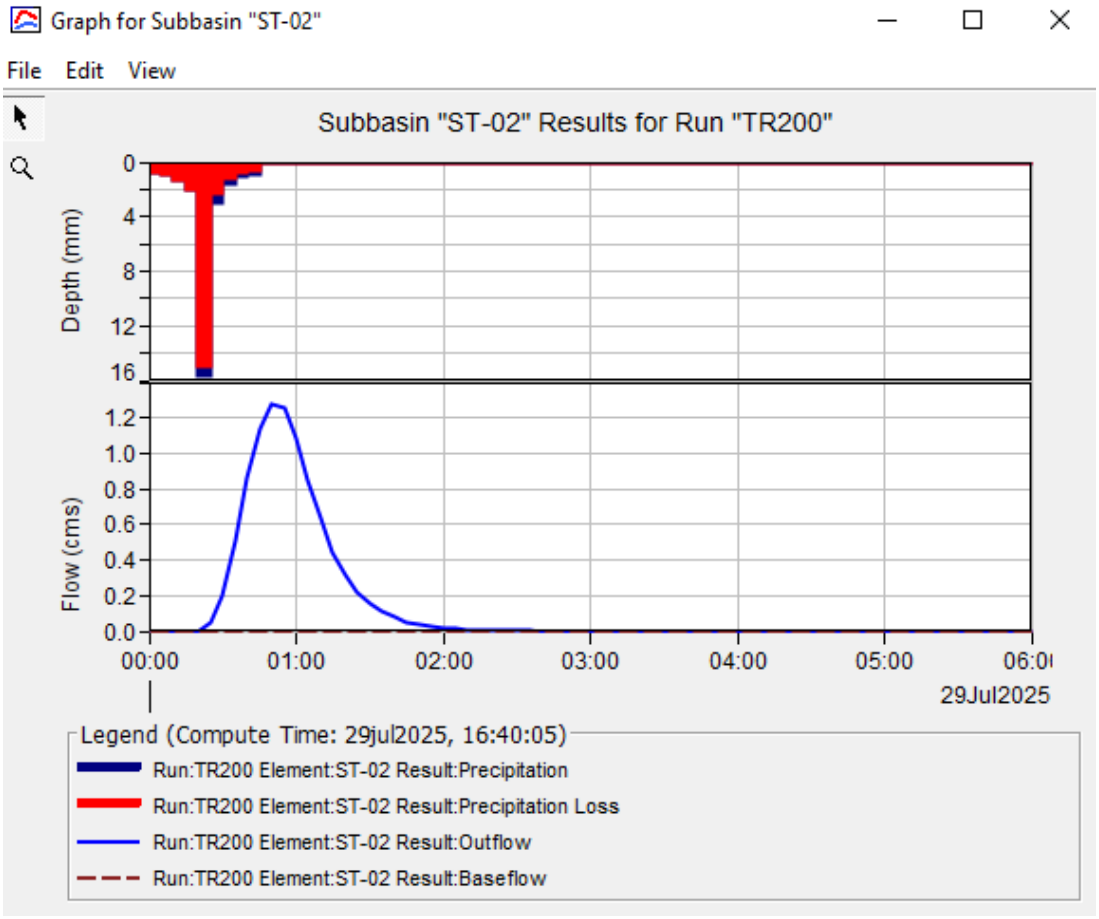


Figura 67. *Hidrograma para TR 200 años de la microcuenca 01 del río Choccoyo*



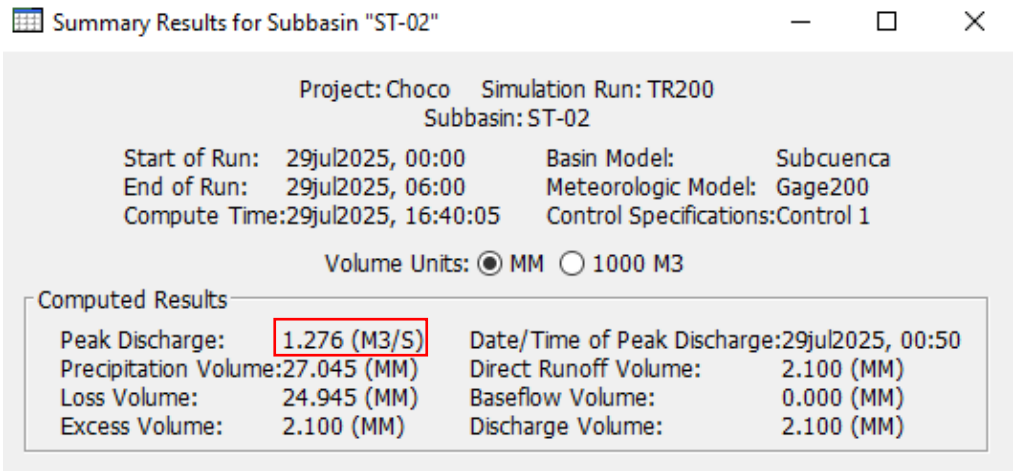
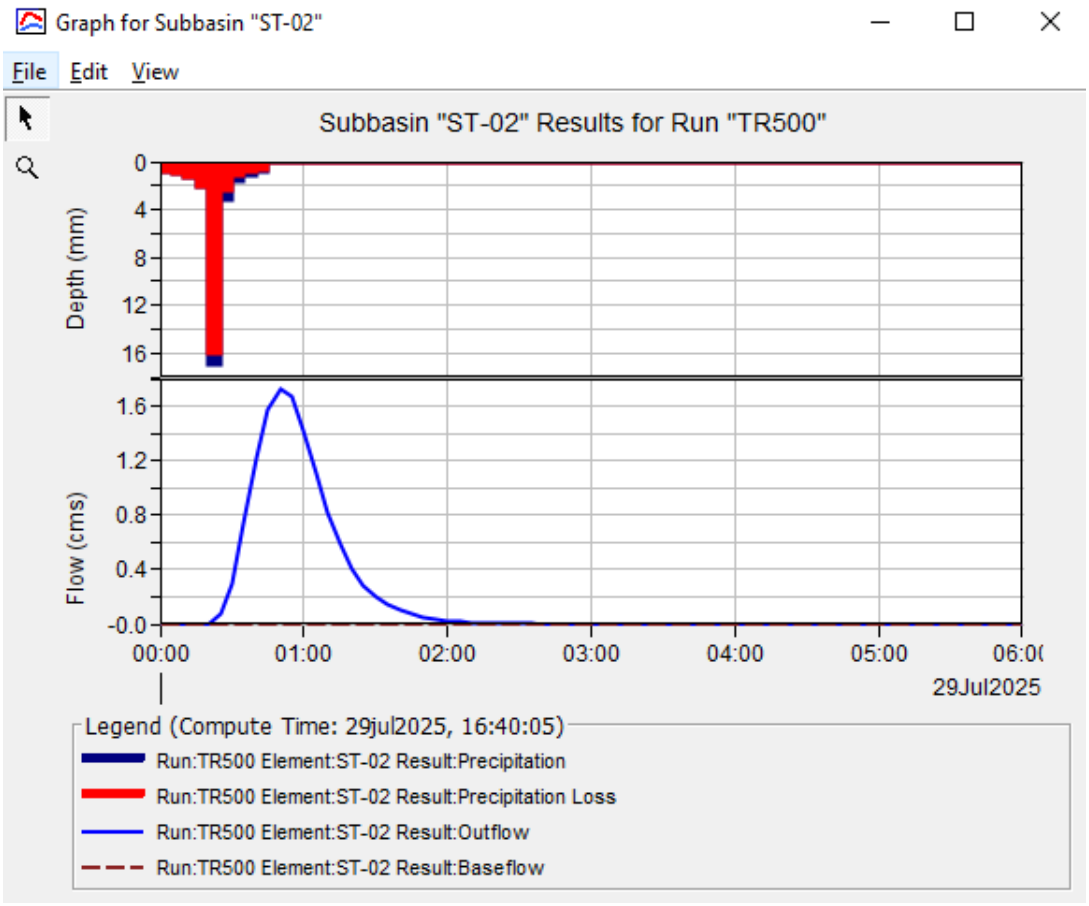


Figura 68. *Hidrograma para TR 500 años de la microcuenca 01 del río Choccoyo*



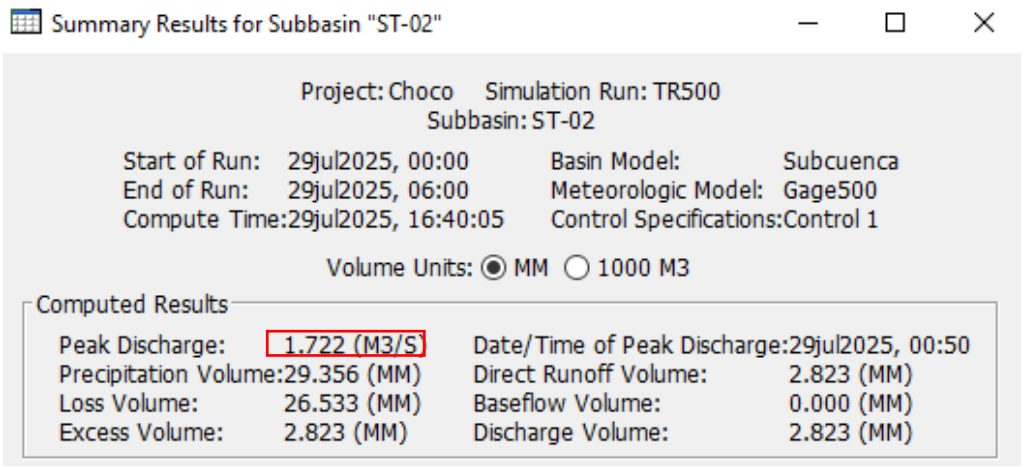


Figura 69. *Modelo Hidrológico para la Microcuenca 02 del rio Choccoyo*

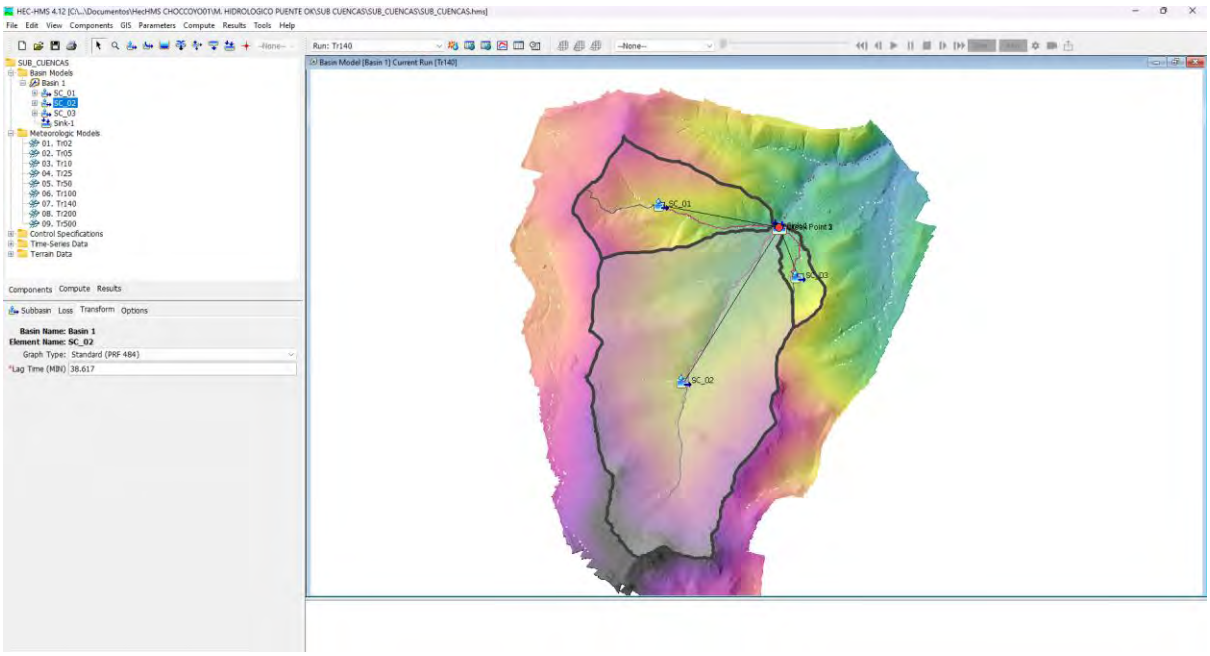


Figura 70. *Parámetros Hidrológicos para la microcuenca 02 del rio Choccoyo*

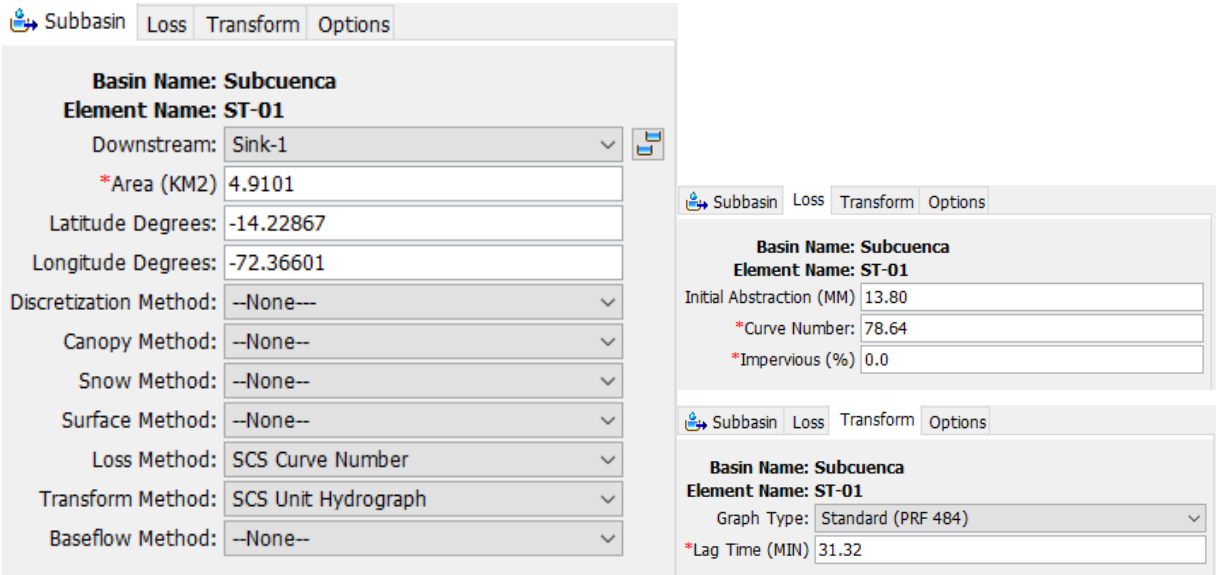
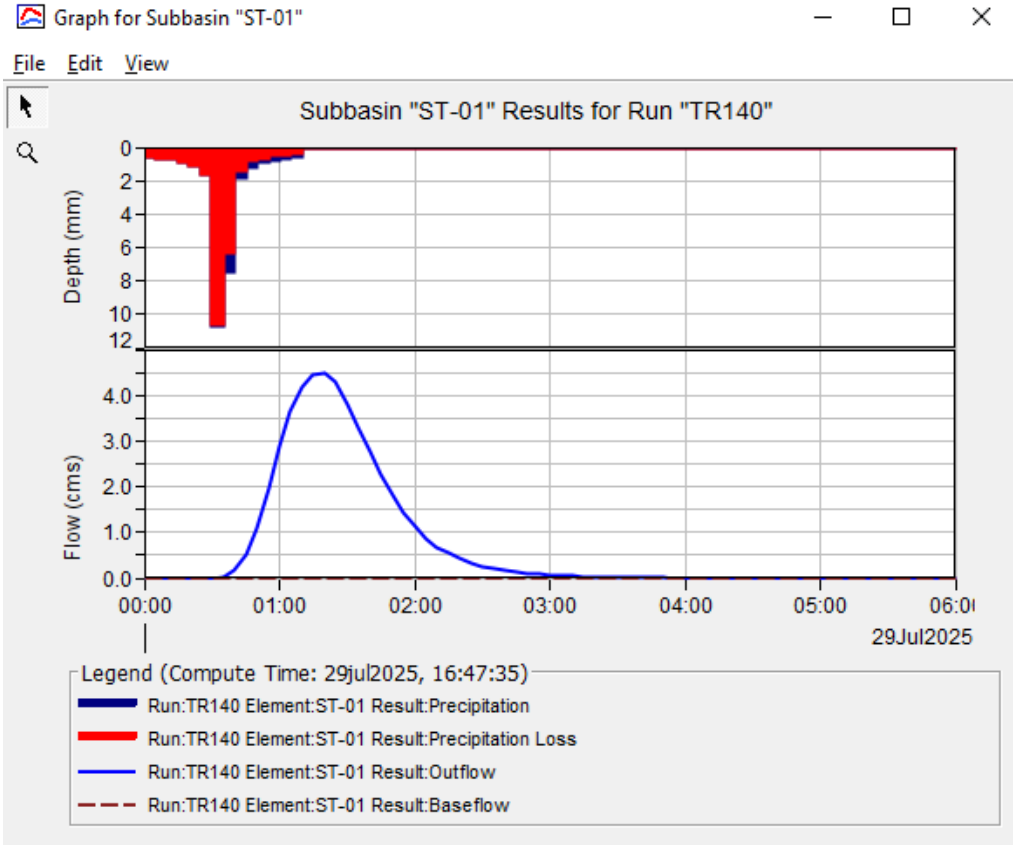


Figura 71. *Hidrograma para TR 140 años de la microcuenca 02 del río Choccoyo*



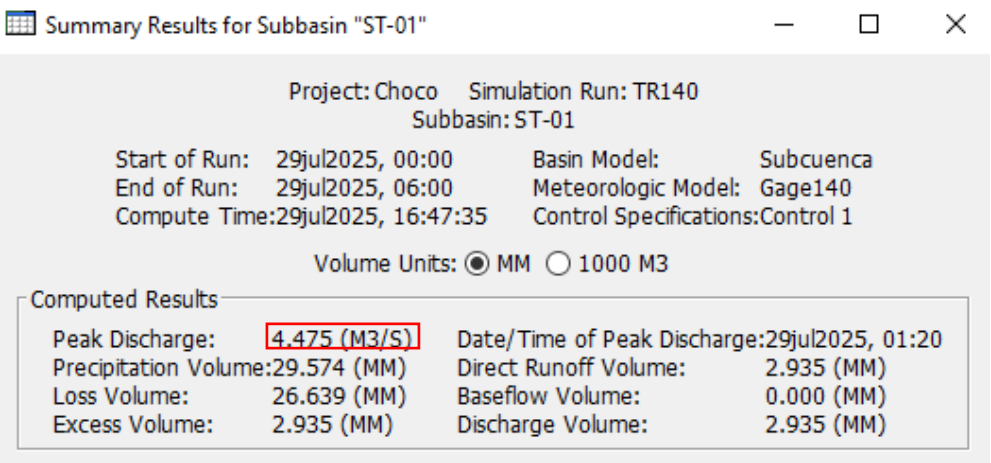
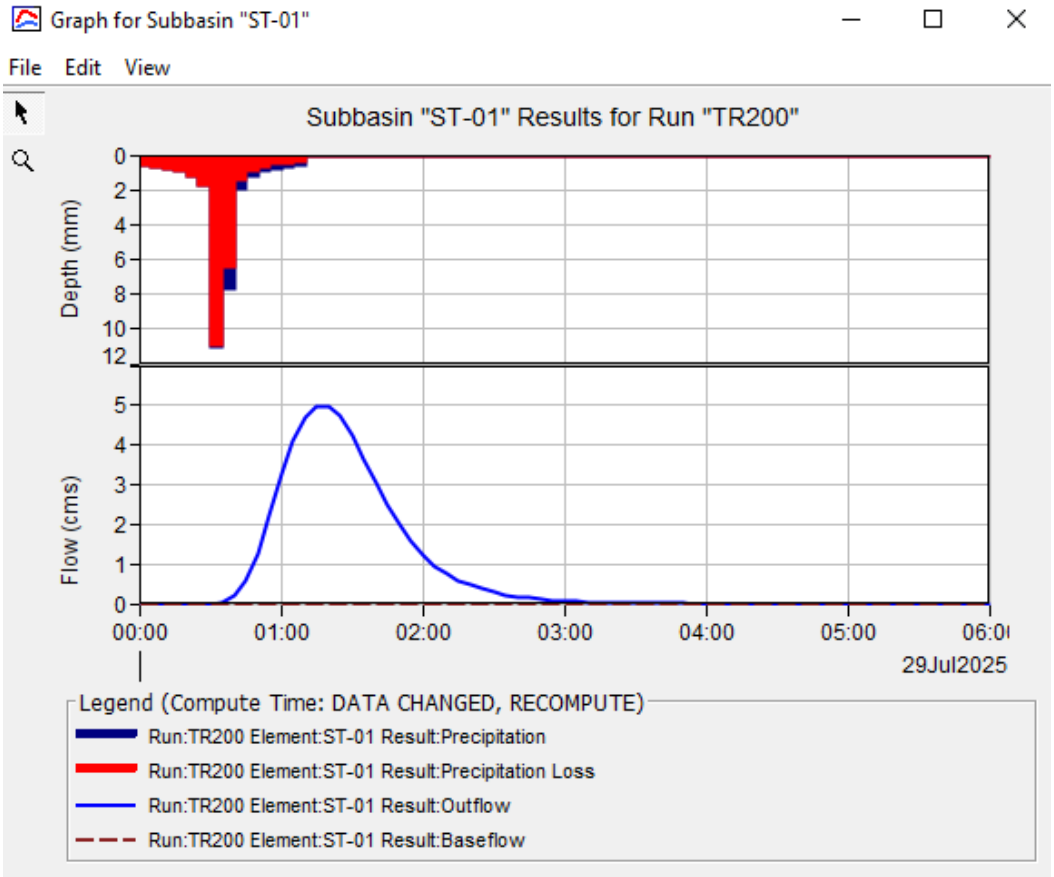


Figura 72. *Hidrograma para TR 200 años de la microcuenca 02 del río Choccoyo*



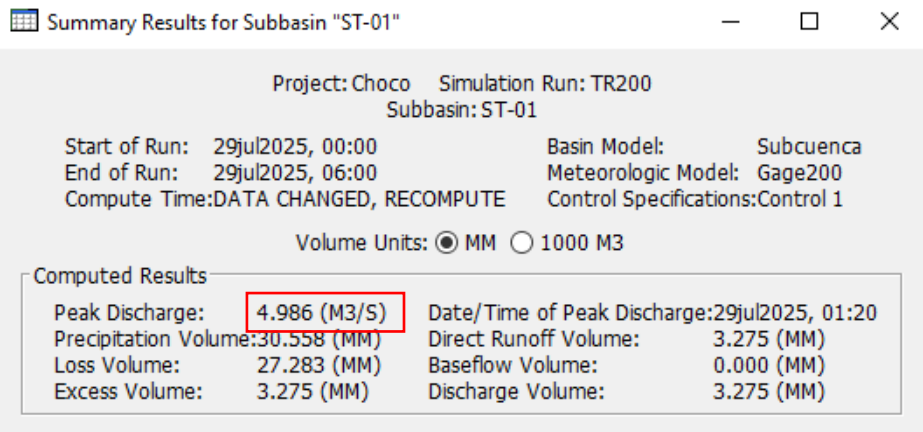
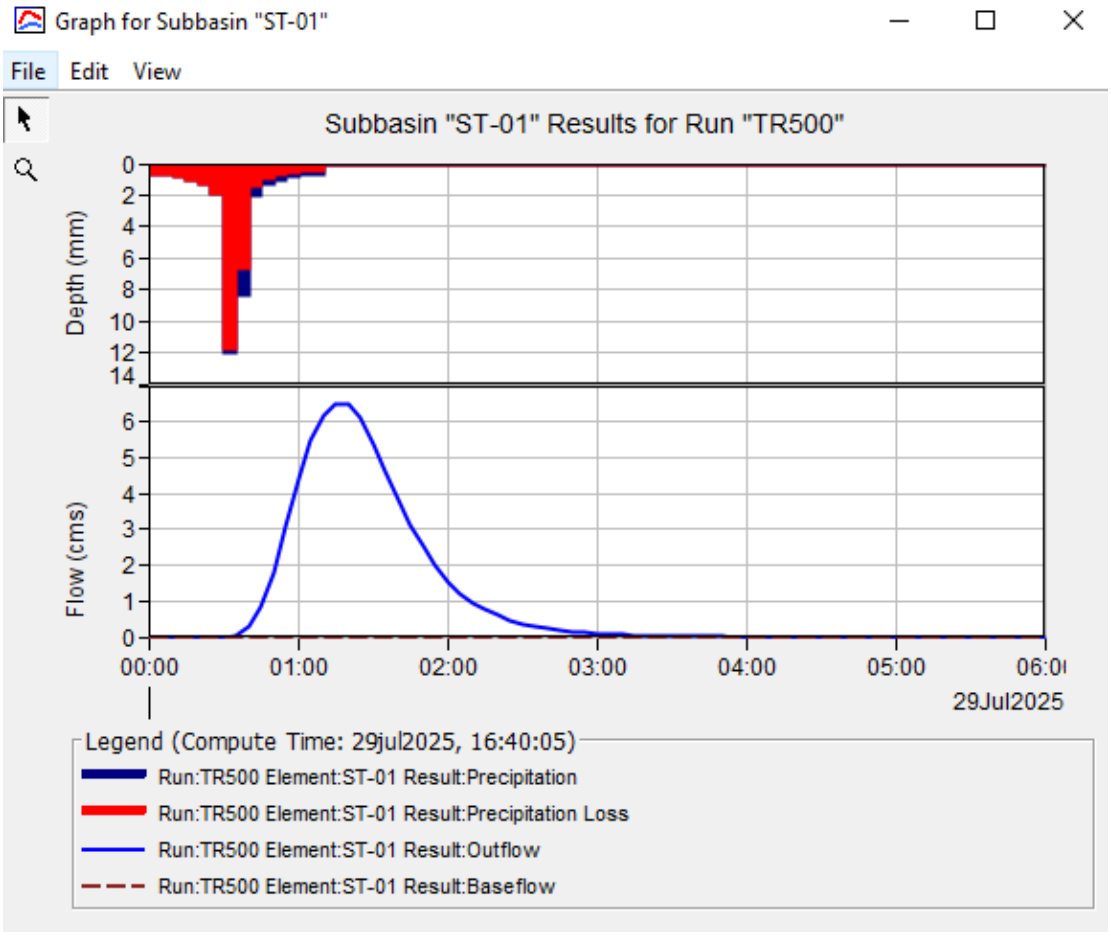


Figura 73. *Hidrograma para TR 500 años de la microcuenca 02 del río Choccoyo*



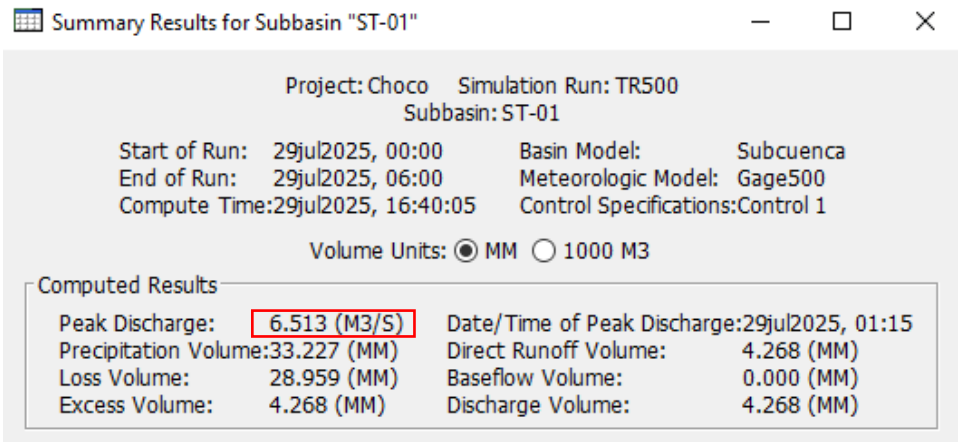


***Figura 74**. Modelo Hidrológico para la Microcuenca 03 del rio Choccoyo*

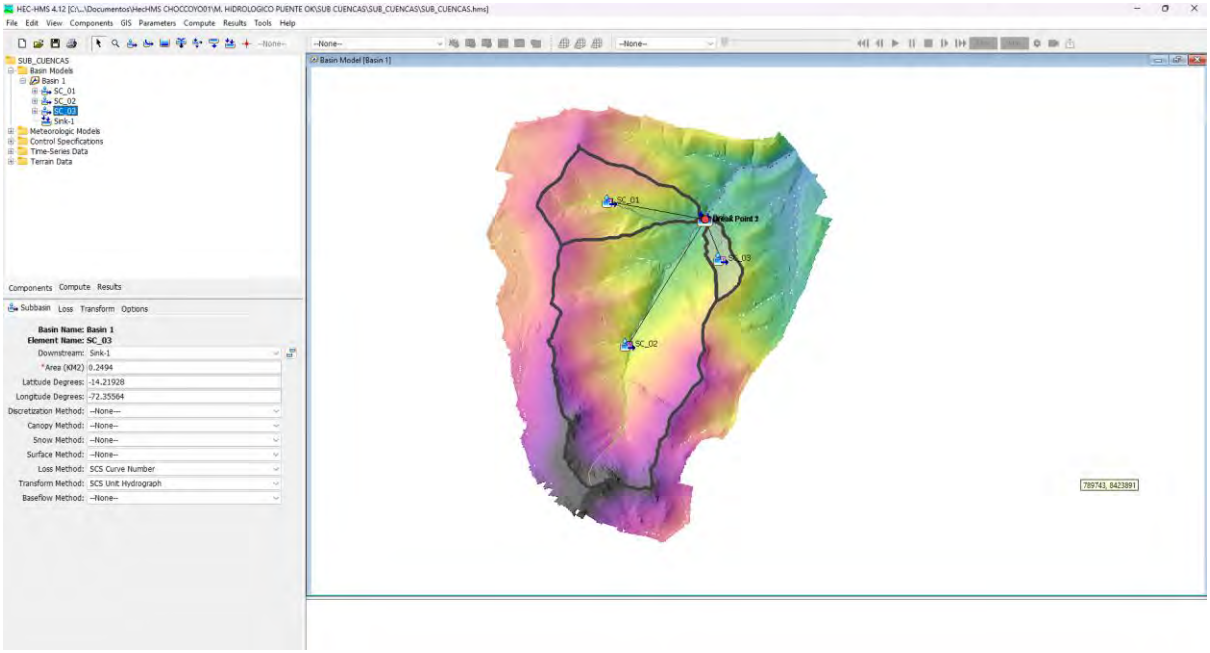


***Figura 75.** Parámetros Hidrológicos para la Microcuenca 03 del rio Choccoyo*

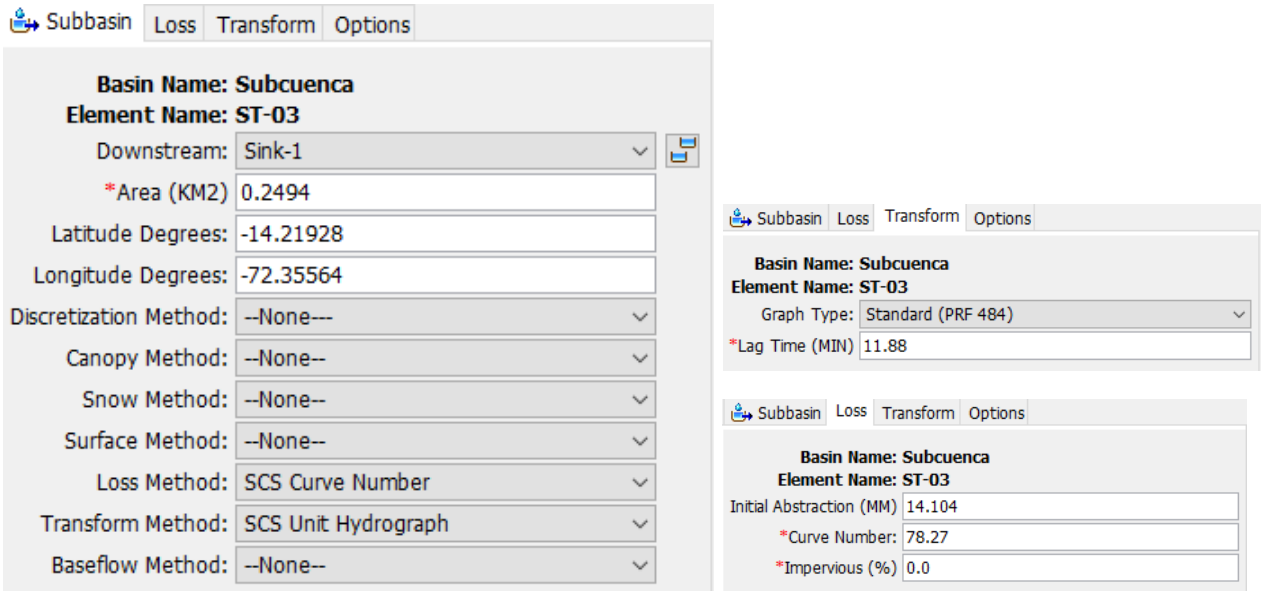
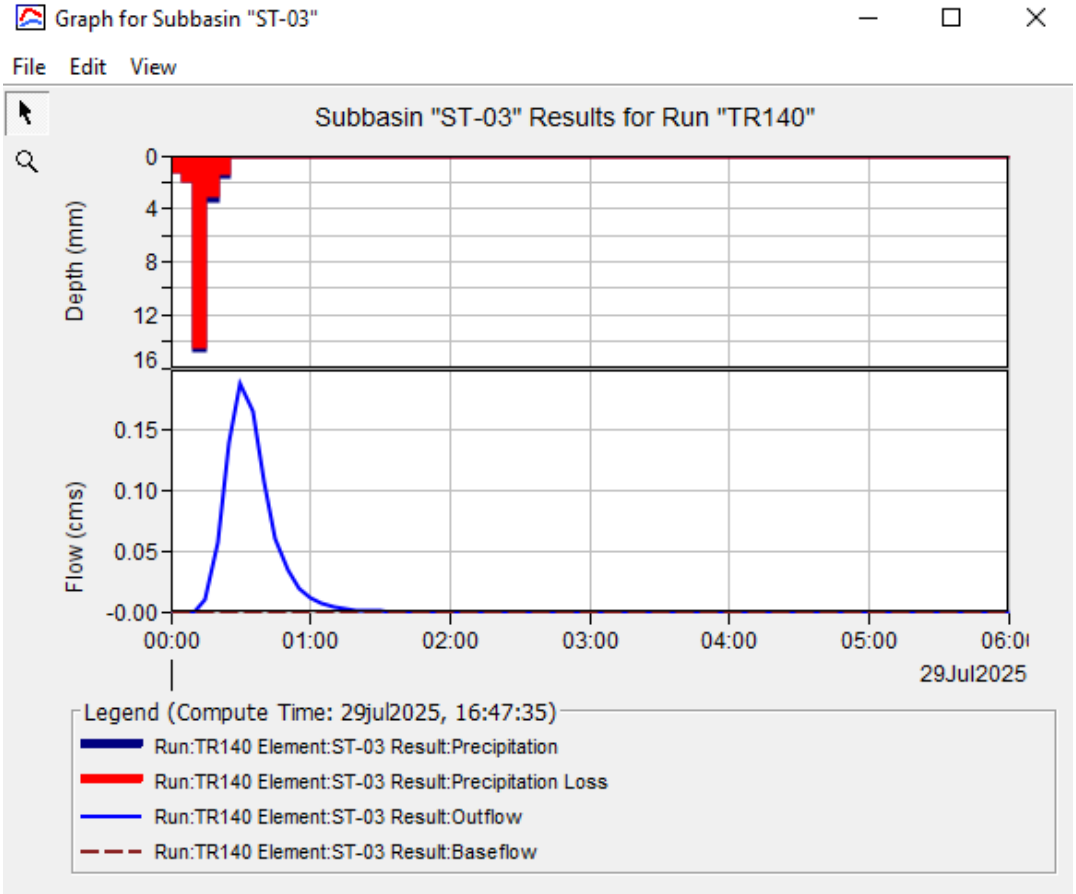


Figura 76. *Hidrograma para TR 140 años de la microcuenca 03 del río Choccoyo*



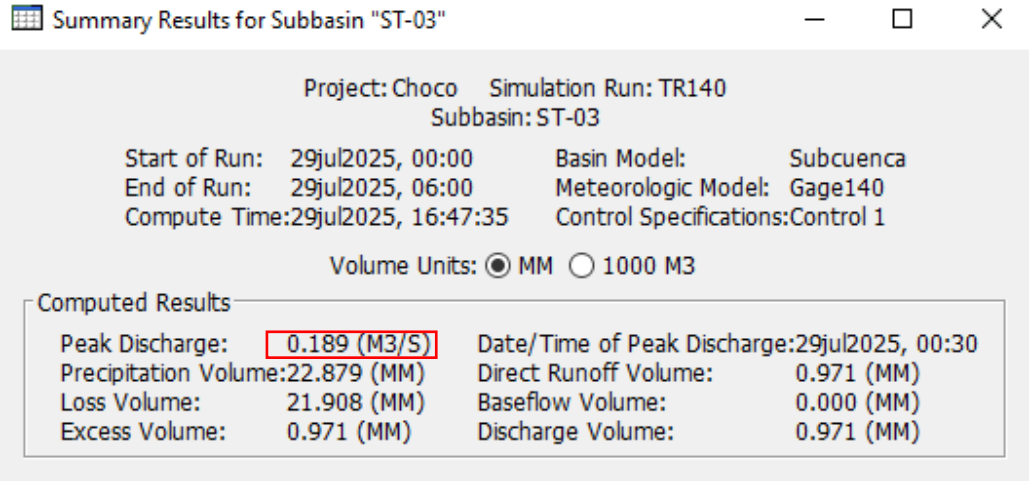
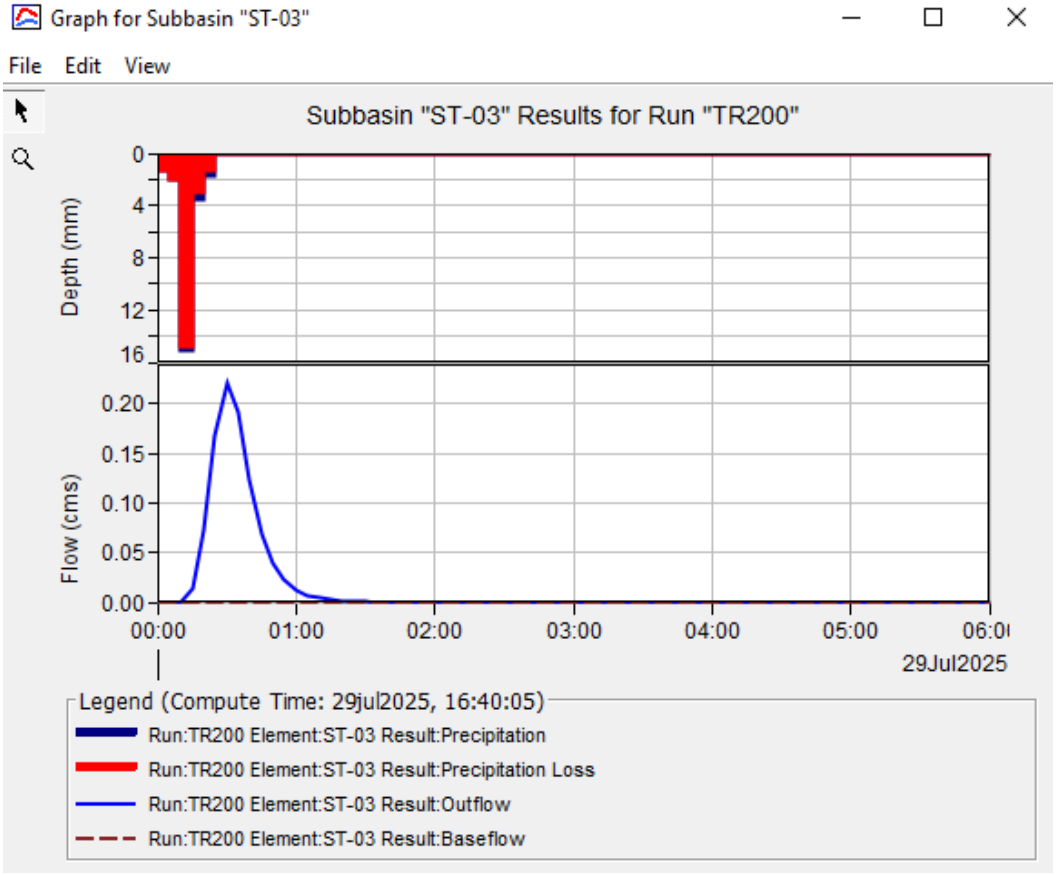


***Figura** 77.Hidrograma para TR 200 años de la microcuenca 03 del río Choccoyo*



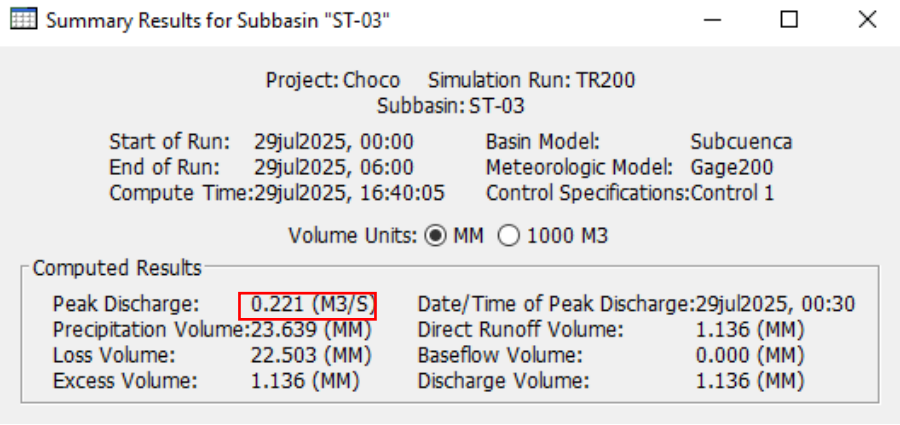
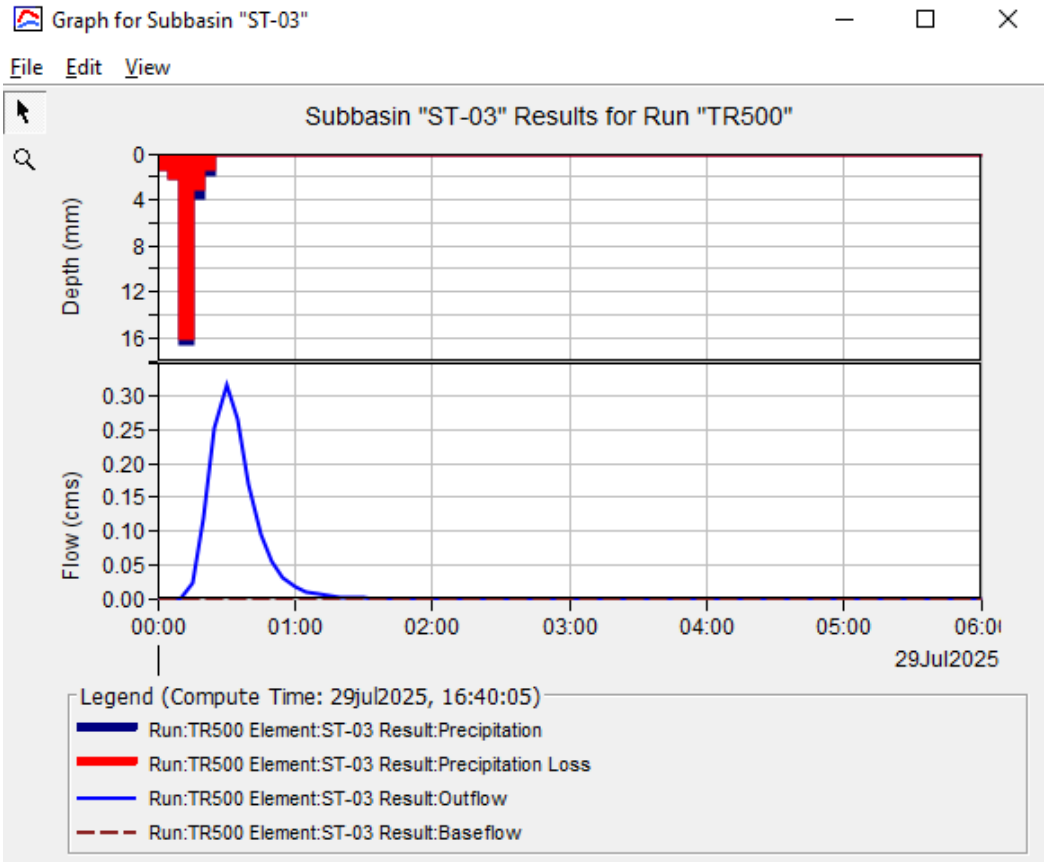


Figura 78. *Hidrograma para TR 500 años de la microcuenca 03 del río Choccoyo*



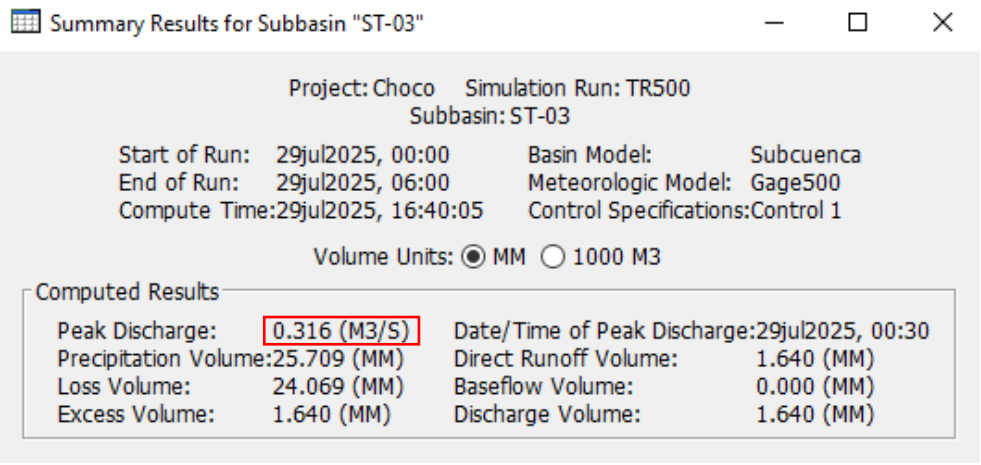


Tabla 33. *Resumen de Caudales de Diseño*

Caudales de Diseño (m3/s)			
Periodos de Retorno	**Microcuenca 01 Choccoyo**	**Microcuenca 02 Choccoyo**	**Microcuenca 03 Choccoyo**
140	1.127	4.475	0.189
200	1.276	4.986	0.221
500	1.722	6.513	0.316

Cabe señalar que el modelamiento hidrológico abarcó las tres microcuencas tal como se especifica en la tabla precedente. Sin embargo, para el modelamiento hidráulico del proyecto del puente, solo se utilizarán las microcuencas 02 y 03, dado que son las que contribuyen directamente con el flujo hacia la estructura. La inclusión de la microcuenca 01 en el modelado se justificó con el propósito de verificar y analizar los riesgos de inundación que podría representar para el proyecto, debido a su cercanía.

5.11. Metodología y Procedimiento en Modelamiento Hidráulico

5.11.1. Descripción del área de estudio

El presente estudio tiene como finalidad la determinación del tirante hidráulico óptimo para una infraestructura de puente. Dicha estructura se emplaza estratégicamente en una llanura de inundación, abarcando el río principal de la microcuenca 02, con una extensión longitudinal de 104.7 metros, y un cauce tributario de la microcuenca 03, que posee una longitud de 54 metros. Ambas locaciones se encuentran en la demarcación político-administrativa de la comunidad de Choccoyo, adscrita al Distrito de Challhuahuacho, Provincia de Cotabambas, y Departamento de Apurímac.

5.11.2. Caudales de diseño

Los Caudales de Diseño fueron calculados en estudio de hidrología lo cual se obtuvo los siguientes resultados para un periodo de retorno T=200 años para el diseño de puente y T=500 años para el cálculo de socavación.

Caudales de Diseño (m3/s)			
Periodos de Retorno	Microcuenca 01 Choccoyo	Microcuenca 02 Choccoyo	Microcuenca 03 Choccoyo
200	1.276	4.986	0.221
500	1.722	6.513	0.316

En el modelamiento hidráulico destinado al diseño del puente, se considera adecuado utilizar un período de retorno de 200 años (Tr=200 años). Esto se debe a que el caudal asociado a este período de retorno es el que mejor se corresponde con las evidencias de crecidas máximas observadas directamente en el sitio.

5.11.3. Coeficientes de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad "n" se halla en función de una multiplicidad de variables intrínsecas al entorno hidráulico, las cuales engloban la rugosidad superficial, la densidad de la vegetación, las irregularidades morfológicas del lecho, el alineamiento planimétrico del curso fluvial, la presencia de depósitos aluviales, los fenómenos de socavación, las características dimensionales y geométricas del río, la magnitud del caudal circulante, las fluctuaciones estacionales, y la concentración de material en suspensión y en transporte de fondo. En su publicación "Hidráulica de Canales", Ven Te Chow propone una tabla para la determinación del coeficiente de rugosidad de Manning, particularmente para las llanuras de inundación o los márgenes derecho e izquierdo del cauce principal.

Tabla 34. *Selección de coeficiente de Manning*

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes naturales			
D.1 Corrientes menores (ancho superior en nivel de crecida < 100 pies <> 30.5m)			
a. Corrientes en planicie			
1. Limpio, recto, nivel lleno, sin montículos ni pozos profundos	0.025	**0.03**	0.033
2. Limpio, recto, nivel lleno, sin montículos ni pozos profundos, pero más piedras y pastos	0.03	0.035	0.04
3. Limpio, serpenteante o curvado, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.04	0.045
4. Limpio, serpenteante o curvado, algunos pozos y bancos de arena, pero algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.05
5. Limpio, serpenteante, algunos pastos y piedras, niveles bajos, pendiente y sección inefectivas	0.04	0.048	0.055
6. Limpio, serpenteante, pozos, bancos de arena, matorrales, pero más piedras	0.045	0.05	0.06
7. Tramos lentos, con pastos y pozos profundos	0.05	0.07	0.08
8. Tramos con mucho pasto, pozos profundos o canales de la crecida con mucha madera y arbustos bajos o matorrales	0.075	0.1	0.15
b. Corrientes en montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendiente usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas sumergidos para niveles altos			
1. Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0.03	0.04	0.05
2. Fondo: cantos rodados y grandes rocas	0.04	0.05	0.07
D.2 Planicie de inundación			
a. Pastizales sin arbustos			

1. Pastos cortos	0.025	0.03	0.035
2. Pastos altos	0.03	0.035	0.05
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.02	**0.03**	0.04
2. Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
3. Campo de cultivos maduros	0.03	0.04	0.05
c. Arbustos o matorrales			
1. Arbustos escasos, mucha maleza	0.035	0.05	0.07
2. Pequeños matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.05	0.06
3. Pequeños matorrales y árboles, en verano	0.04	**0.06**	0.08
4. Matorrales medianos a densos, en invierno	0.045	0.07	0.11
5. Matorrales medianos a densos, en verano	0.07	**0.1**	0.16
d. Árboles			
1. Sauces densos, rectos en verano	0.11	0.15	0.2
2. Terreno limpio, con troncos, sin brotes	0.03	0.04	0.05
3. Terreno limpio, con troncos y gran crecimiento de brotes	0.05	0.06	0.08
4. Gran cantidad de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento de arbustos y nivel de inundación por debajo de las ramas	0.08	0.1	0.12
5. Gran cantidad de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento de arbustos y nivel de inundación por encima de las ramas	0.1	0.12	0.16
D.3 Cursos de agua importantes (ancho superficial de inundación > 100 pies <> 30.5m). Los valores de n son menores que lo de cursos menores con descripción similar, debido a que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva			
a. Sección regular sin cantos rodados ni arbustos	0.025		0.06
b. Sección irregular y áspera o rugosa	**0.035**		0.1

Nota: Ven Te Chow, "Hidraulica de los canales abiertos", Tabla 5.-6: Valores del coeficiente de rugosidad

La conformación de la rugosidad obedece a la interacción de todos los factores previamente aludidos; no obstante, la incidencia de estos puede ser diferencial, con algunos elementos ejerciendo una influencia preponderante. En el presente caso, la rugosidad del cauce principal ha sido cuantificada mediante la aplicación del método de Cowan, cuya formulación analítica se detalla a continuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Donde:

n_0: es función del material involucrado

n_1: toma en cuenta la irregularidad del cauce

n_2: considera las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal

n_3: toma en cuenta el efecto relativo de las obstrucciones

n_4: depende del grado de vegetación en el cauce y de las condiciones del flujo

m_5: es función del grado de los efectos de los meandros

La cuantificación del coeficiente de Manning en el río Choccoyo, referenciada en la Tabla N°92, se llevó a cabo mediante la aplicación de los valores recomendados por Ven Te Chow. La obtención del parámetro "n" para el cauce principal resultó de la evaluación de las condiciones hidráulicas y morfológicas observadas en los segmentos fluviales sujetos a investigación.

Tabla 35. *Selección de coeficiente de Manning para el cause principal*

Consideraciones del canal		Valores	
Material considerado	Tierra	n0	0.020
	Roca cortada		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Liso	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal del canal	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010 - 0.015
Efecto relativo de obstrucciones	Despreciable	n3	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005 - 0.010
	Media		0.010 -0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 0.100
Cantidad de meandros	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severa		1.300

Nota: Ven Te Chow, "Hidraulica de los canales abiertos", Tabla 5.-6: Valores del coeficiente de rugosidad n.

Se ha considerado los siguientes valores, para la margen izquierda un valor de 0.025 y derecha un valor de 0.025, que se encuentra en la categoría D2) Planicie de inundación, pastos cortos como se muestra en la tabla N°93.

Tabla 36. *Selección de coeficiente de Manning para el cauce principal*

Consideraciones del canal		**Valores**	
Material considerado	Grava gruesa	n0	0.028
Grado de irregularidad	Menor	n1	0.005
Variaciones de la sección transversal del canal	Frecuentemente alternante	n2	0.013
Efecto relativo de obstrucciones	Menor	n3	0.013
Vegetación	Baja	n4	0.008
Cantidad de meandros	menor	m5	1.000
Coeficiente de rugosidad	n=(n0+n1+n2+n3+n4) m5	**n**	**0.066**

Tabla 37. *Selección de coeficiente de Manning para las áreas de los contiguas al cauce principal*

MARGEN IZQUIERDA	**CAUCE**	**MARGEN DERECHA**
0.028	0.066	0.028

Tabla 38. *Ejemplo de valores n de Manning para varios tipos de cobertura terrestre*

Ejemplo de valores n de Manning para varios tipos de cobertura terrestre del NLCD			
NLDC Value	**n Value Range**	**Value (Promedio)**	**Description**
21	0.03 - 0.05	0.04	**Espacio abierto desarrollado:** áreas con una mezcla de algunos materiales construidos, pero principalmente vegetación en forma de césped. Las superficies impermeables representan menos del 20% de la cobertura total. Estas áreas suelen incluir unidades de vivienda unifamiliar de lotes grandes, parques, campos de golf y vegetación plantada en entornos desarrollados con fines recreativos, de control de la erosión o estéticos.
95	0.05 - 0.085	0.0675	**Humedales herbáceos emergentes:** áreas donde la vegetación herbácea perenne representa más del 80% de la cubierta vegetal y el suelo o sustrato se satura o cubre periódicamente con agua.
22	0.06 - 0.12	0.09	**Desarrolladas,** Baja Intensidad: áreas con una mezcla de materiales construidos y vegetación. Las superficies impermeables representan entre el 20% y el 49% de la cobertura total. Estas áreas suelen incluir unidades de vivienda unifamiliares.

52	0.07 - 0.16	0.115	**Arbusto/Matorral:** áreas dominadas por arbustos; menos de 5 metros de altura con un dosel arbustivo que generalmente representa más del 20% de la vegetación total. Esta clase incluye arbustos verdaderos, árboles jóvenes en una etapa de sucesión temprana o árboles atrofiados por las condiciones ambientales.
23	0.08 - 0.16	0.12	**Zonas urbanizadas de Mediana Intensidad con mezcla de materiales construidos y vegetación.** Las superficies impermeables representan entre el 50% y el 79% de la cobertura total. Estas áreas suelen incluir unidades de vivienda unifamiliares.
42	0.08 - 0.16	0.12	**Bosque siempreverde:** áreas dominadas por árboles que generalmente miden más de 5 metros de altura y representan más del 20% de la cobertura vegetal total. Más del 75% de las especies arbóreas mantienen sus hojas todo el año. El dosel nunca está exento de follaje verde.
43	0.08 - 0.20	0.14	**Bosque Mixto:** áreas dominadas por árboles generalmente superiores a 5 metros de altura y superiores al 20% de la cobertura vegetal total. Ni las especies de hoja caduca ni las de hoja perenne representan más del 75% de la cubierta arbórea total.
41	0.10 - 0.20	0.15	**Bosque caducifolio:** áreas dominadas por árboles generalmente de más de 5 metros de altura y más del 20% de la cubierta vegetal total. Más del 75% de las especies de árboles pierden follaje simultáneamente en respuesta al cambio estacional.
24	0.12 - 0.20	0.16	**Desarrollado de alta intensidad:** áreas altamente desarrolladas donde la gente reside o trabaja en grandes cantidades. Los ejemplos incluyen complejos de apartamentos, casas en hilera y comerciales/industriales. Las superficies impermeables representan del 80% al 100% de la cobertura total.
82	0.020 - 0.05	0.035	**Cultivos cultivados:** áreas utilizadas para la producción de cultivos anuales, como maíz, soja, hortalizas, tabaco y algodón, y también cultivos leñosos perennes como huertos y viñedos. La vegetación de cultivos representa más del 20% de la vegetación total. Esta clase también incluye todas las tierras que se labran activamente.
31	0.023 - 0.030	0.0265	**Tierra estéril (roca/arena/arcilla):** áreas de lecho rocoso, pavimento desértico, escarpes, taludes, deslizamientos, material volcánico, escombros glaciales, dunas de arena, minas a cielo abierto, graveras y otras acumulaciones de material terrestre. Generalmente, la vegetación representa menos del 15% de la cobertura total.
11	0.025 - 0.05	0.0375	**Aguas abiertas:** áreas de aguas abiertas, generalmente con menos del 25 % de cobertura de vegetación o suelo. Se trata de arroyos naturales en pendientes leves a moderadas.

51	0.025 - 0.05	0.0375	**Matorral enano:** áreas exclusivas de Alaska dominadas por arbustos de menos de 20 centímetros de altura con un dosel de arbustos que generalmente representa más del 20% de la vegetación total. Este tipo a menudo se asocia con pastos, juncos, hierbas y vegetación no vascular.
71	0.025 - 0.05	0.0375	**Pastizales/Herbáceas:** áreas dominadas por vegetación gramanoide o herbácea, generalmente superiores al 80% de la vegetación total. Estas áreas no están sujetas a un manejo intensivo como la labranza, pero pueden utilizarse para pastoreo.
72	0.025 - 0.05	0.0375	**Juncia/Herbáceas:** áreas exclusivas de Alaska dominadas por juncos y hierbas, generalmente más del 80% de la vegetación total. Este tipo puede ocurrir con otros pastos importantes u otras plantas similares a pastos, e incluye la tundra de juncia y la tundra de matas de juncia.
81	0.025 - 0.05	0.0375	**Pastos/Heno:** áreas de pastos, leguminosas o mezclas de pastos y leguminosas plantadas para el pastoreo de ganado o la producción de semillas o cultivos de heno, generalmente en un ciclo perenne. La vegetación de pastos/heno representa más del 20% de la vegetación total.
90	0.045 - 0.15	0.0975	**Humedales leñosos:** áreas donde la vegetación de bosque o matorral representa más del 20% de la cubierta vegetal y el suelo o sustrato se satura o cubre periódicamente con agua.
12	n/a		**Hielo/nieve perenne:** áreas caracterizadas por una capa perenne de hielo y/o nieve, generalmente superior al 25 % de la cubierta total.
73	n/a		**Líquenes:** áreas exclusivas de Alaska dominadas por líquenes fruticosos o foliosos generalmente representan más del 80% de la vegetación total.
74	n/a		**Musgos:** Alaska es la única zona dominada por musgos, que generalmente representan más del 80% de la vegetación total.

Fuente: *HEC-RAS 2D Users Manual*

Es así que, para el modelado bidimensional en HECRAS se ha delimitado los usos de suelos con sus respectivos valores de Manning.

Figura 79. *Mapa de Uso de Suelo*

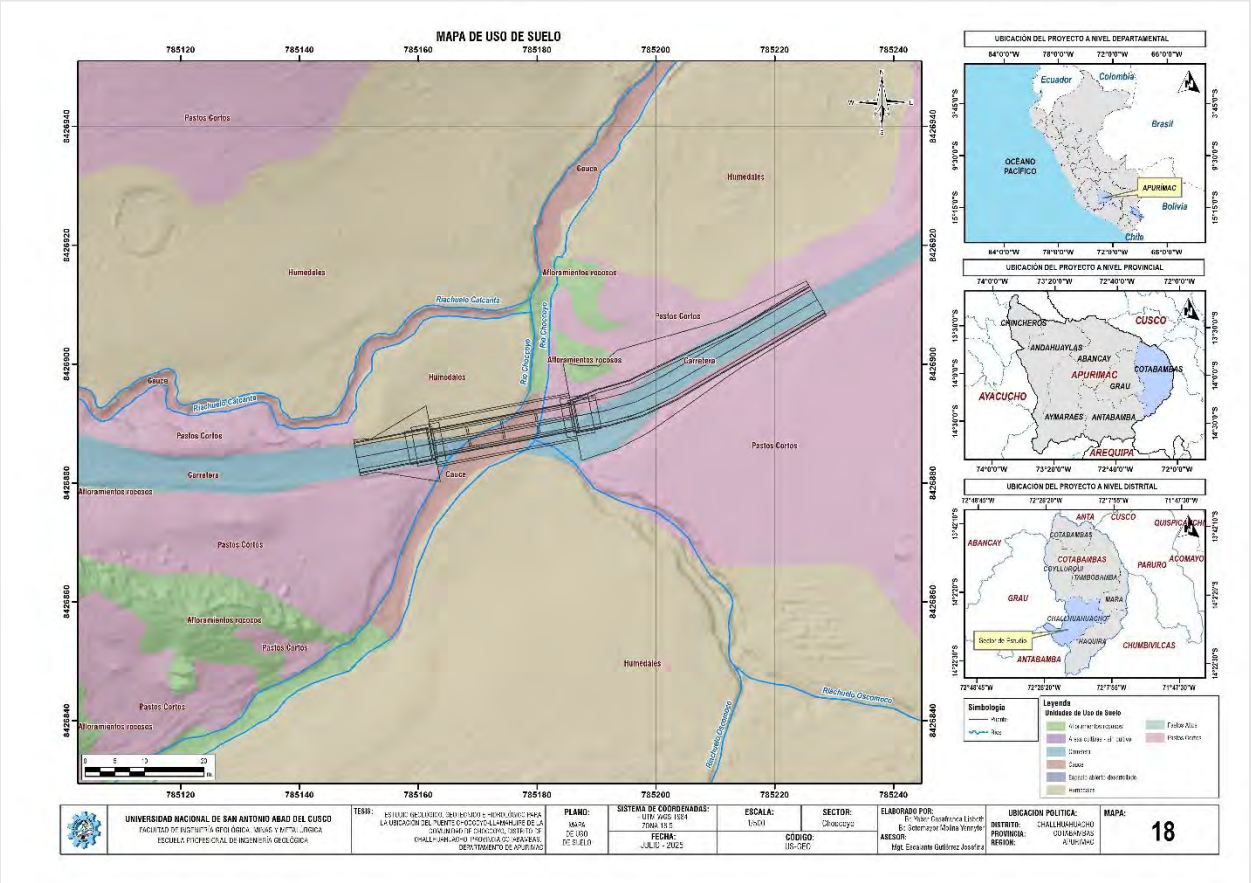


Tabla 39. *Uso de suelos con valores Manning para modelado 2D*

N°	Uso Suelo	Manning
1	Afloramientos rocosos	0.0265
2	Áreas cultivas - sin cultivo	0.03
3	Carretera	0.0265
4	Cauce	0.066
5	Espacio abierto desarrollado	0.04
6	Humedales	0.0675
7	Pastos Altos	0.035
8	Pastos Cortos	0.03

5.11.4. Simulación de Cauce

La simulación hidráulica correspondiente al escenario actual se llevó a cabo utilizando el software HEC-RAS. Dentro de este entorno, se representaron los sectores donde se planea construir el puente, mediante la integración de modelos unidimensionales (1D) y bidimensionales (2D).

5.11.4.1. Modelamiento 2D

Mediante este procedimiento se configuran celdas computacionales caracterizadas por propiedades hidráulicas intrínsecas, las cuales se distinguen por no requerir configuraciones de fondo plano ni la linealidad o isoelevación de sus caras/bordes. Por el contrario, la morfología de cada celda computacional y de sus caras se fundamenta en la topografía subyacente detallada. Esta tipología de modelo es comúnmente referenciada en la literatura especializada como un "modelo de subcuadrícula de alta resolución" (Casulli, 2008). El vocablo "subcuadrícula" denota la utilización de la información topográfica subyacente de alta resolución para la derivación de las tablas de propiedades geométricas e hidráulicas que caracterizan tanto a las celdas como a sus interfaces. HEC-RAS incorpora un módulo preprocesador para áreas de flujo bidimensional (2D) que se encarga de procesar las celdas y sus caras, generando tablas de propiedades hidráulicas pormenorizadas, basadas en la representación del terreno empleada en el proceso de modelado.

Figura 80. *Mallado 2D del sector de estudio*

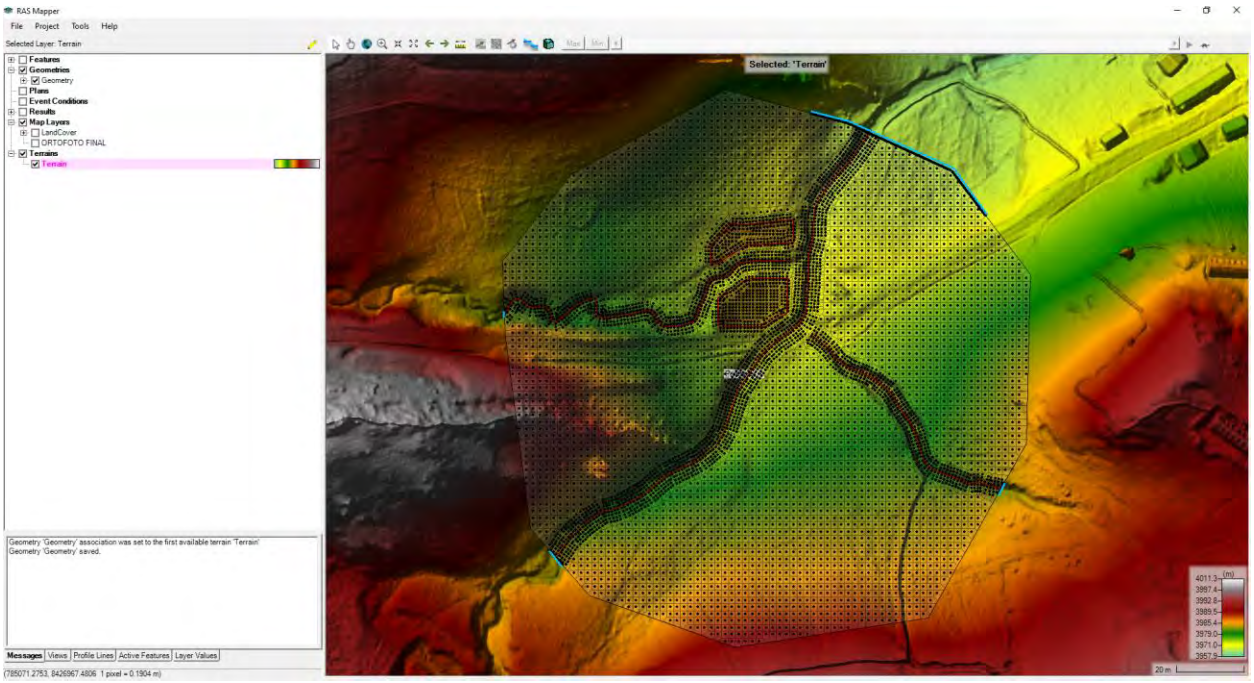


Figura 81. *Asignación de Breaklines a los cauces y región a mallar por evidencia de constante saturación*

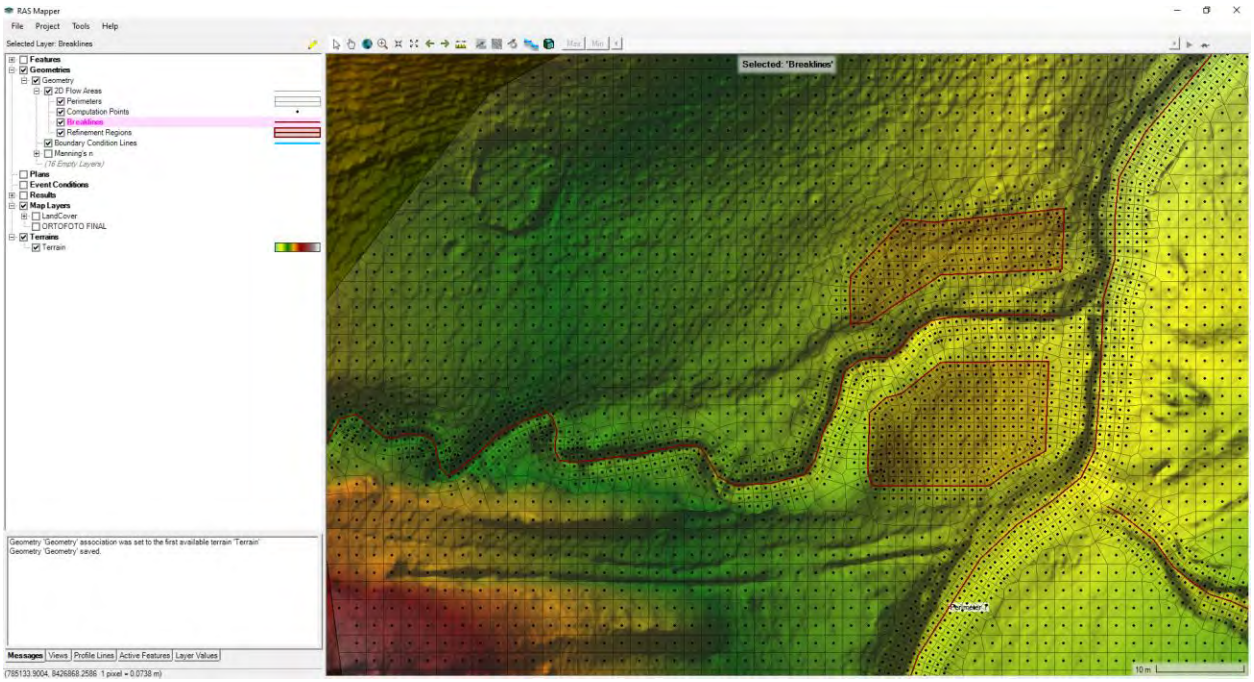


Figura 82. *Asignación de condiciones de entrada*

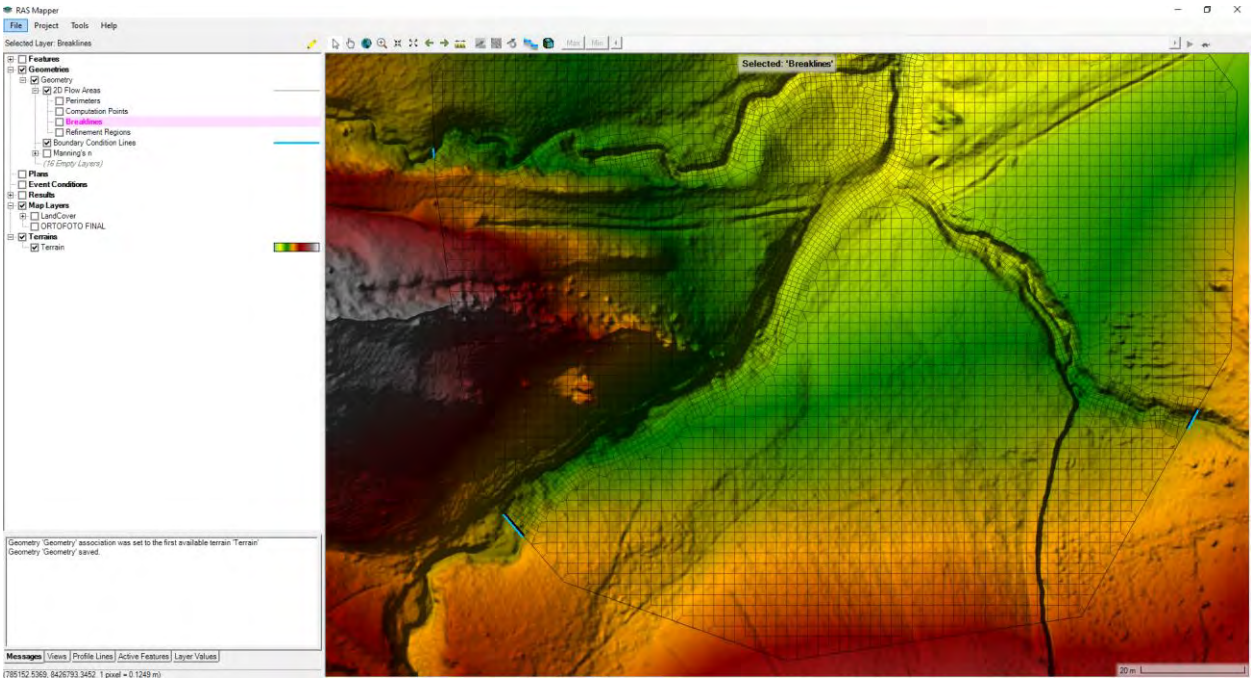


Figura 83. *Asignación de condiciones de salida*

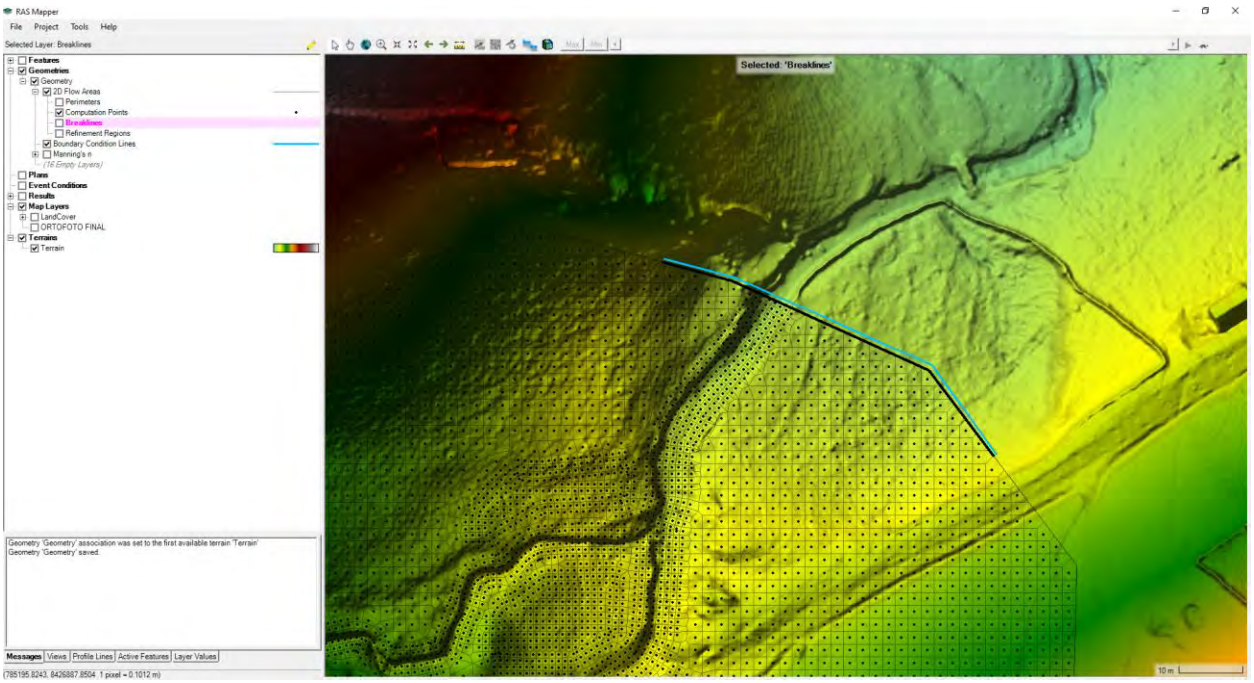
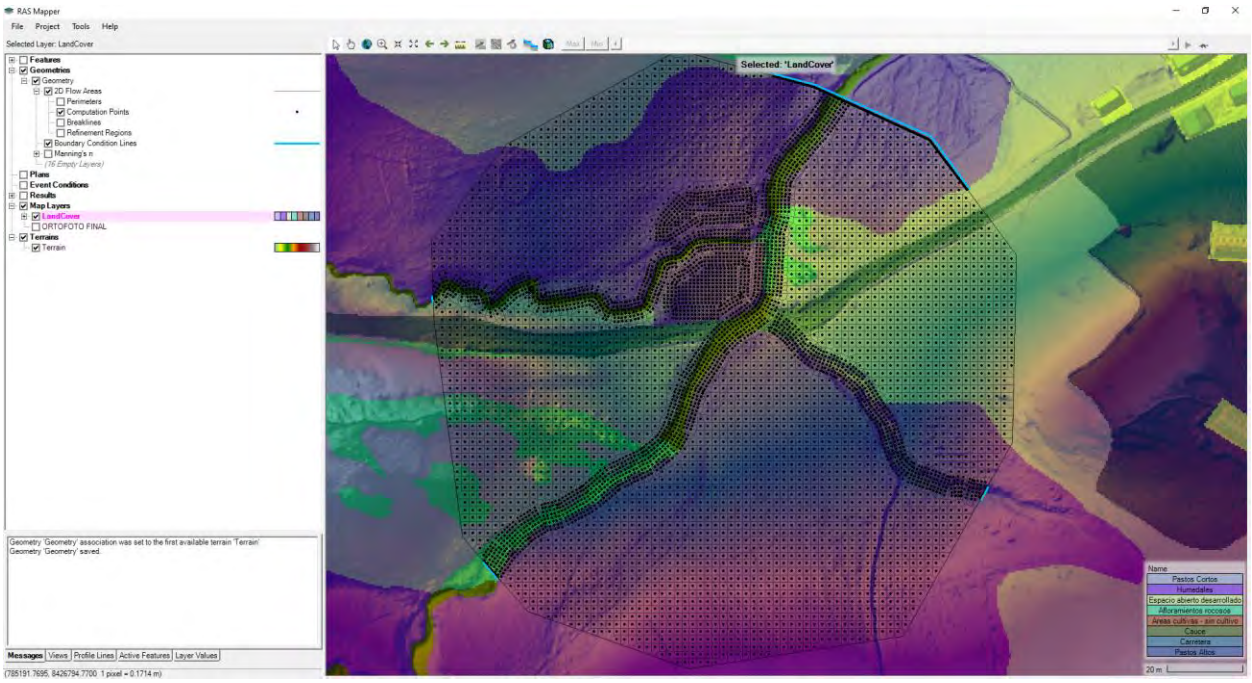


Figura 84. *Asignación de uso de suelo para determinación del Manning*



El modelamiento bidimensional (2D) posibilitó la estimación de los tirantes máximos y las velocidades con un nivel de detalle que optimiza la correspondencia con las condiciones in situ, aprovechando la resolución del mallado computacional. Los resultados derivados de esta aproximación arrojan valores para dos períodos de retorno específicos: 200 y 500 años. En función de estos hallazgos, se estableció la ubicación y el emplazamiento de las estructuras de puente propuesta, las cuales se exponen subsiguientemente y serán analizadas con mayor pormenorización en los anexos.

Figura 85. *Modelamiento Hidráulico de Máximos Tirantes TR=200 años*

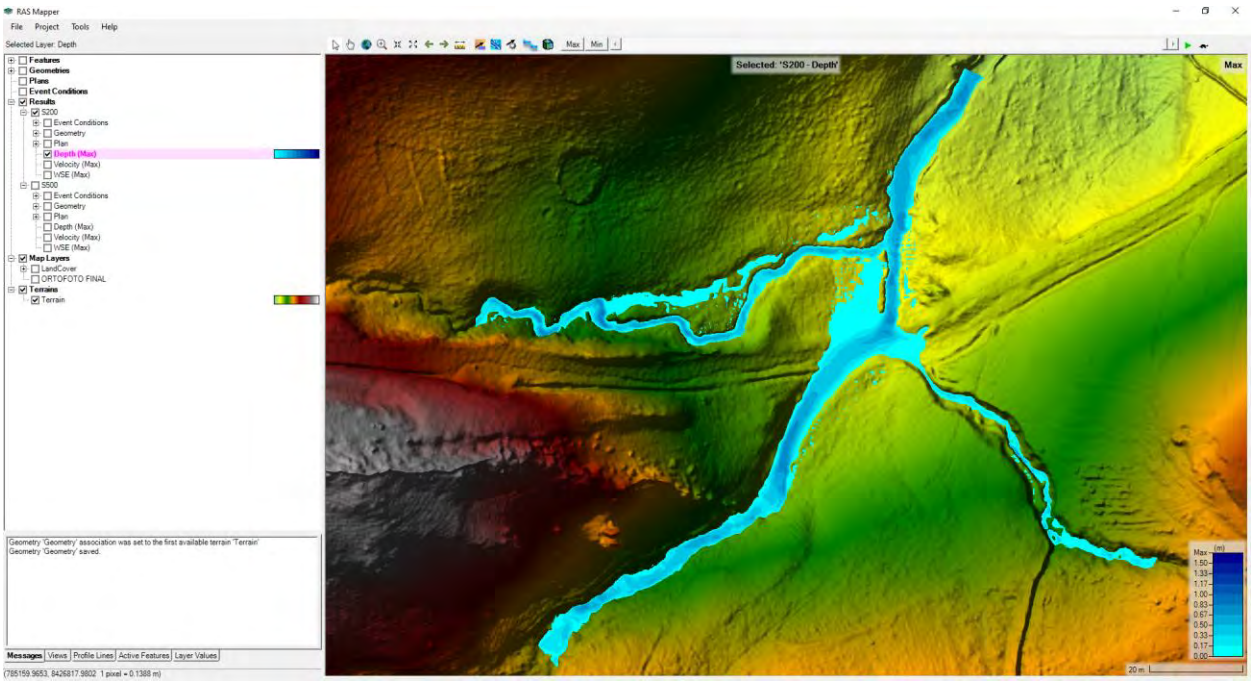


Figura 86. *Modelamiento Hidráulico de Velocidades TR=200 años*

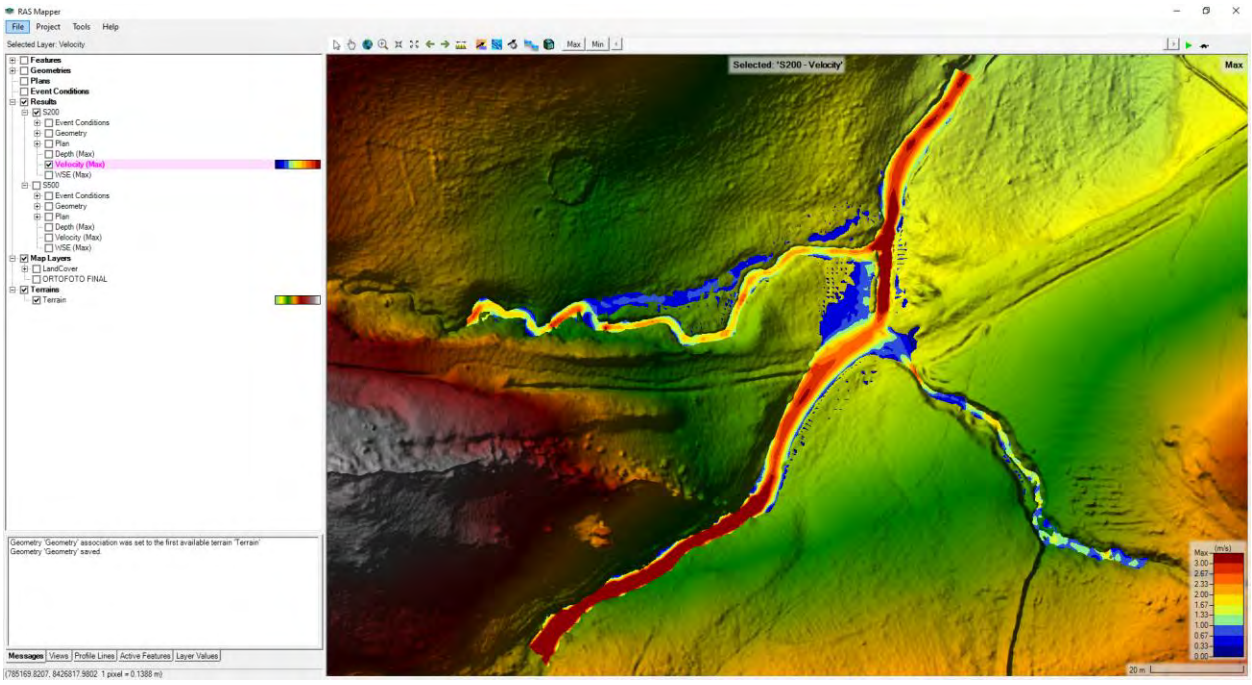


Figura 87. *Modelamiento Hidráulico de Máximos Tirantes TR=500 años*

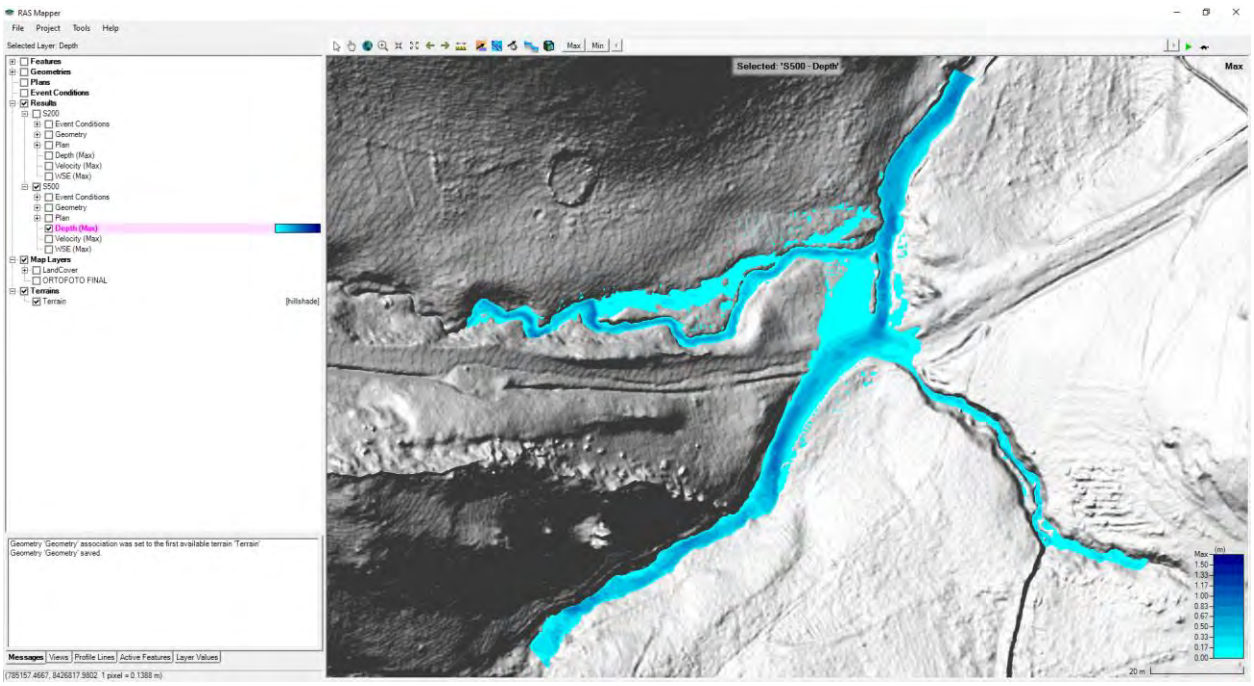
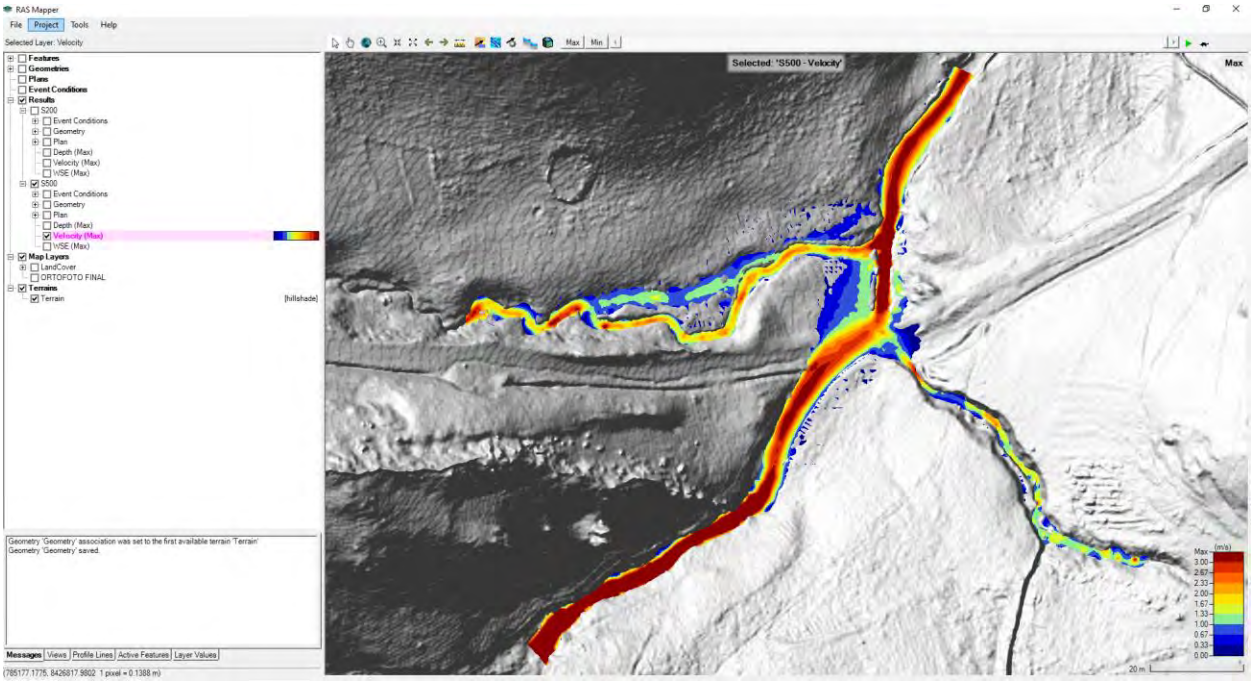


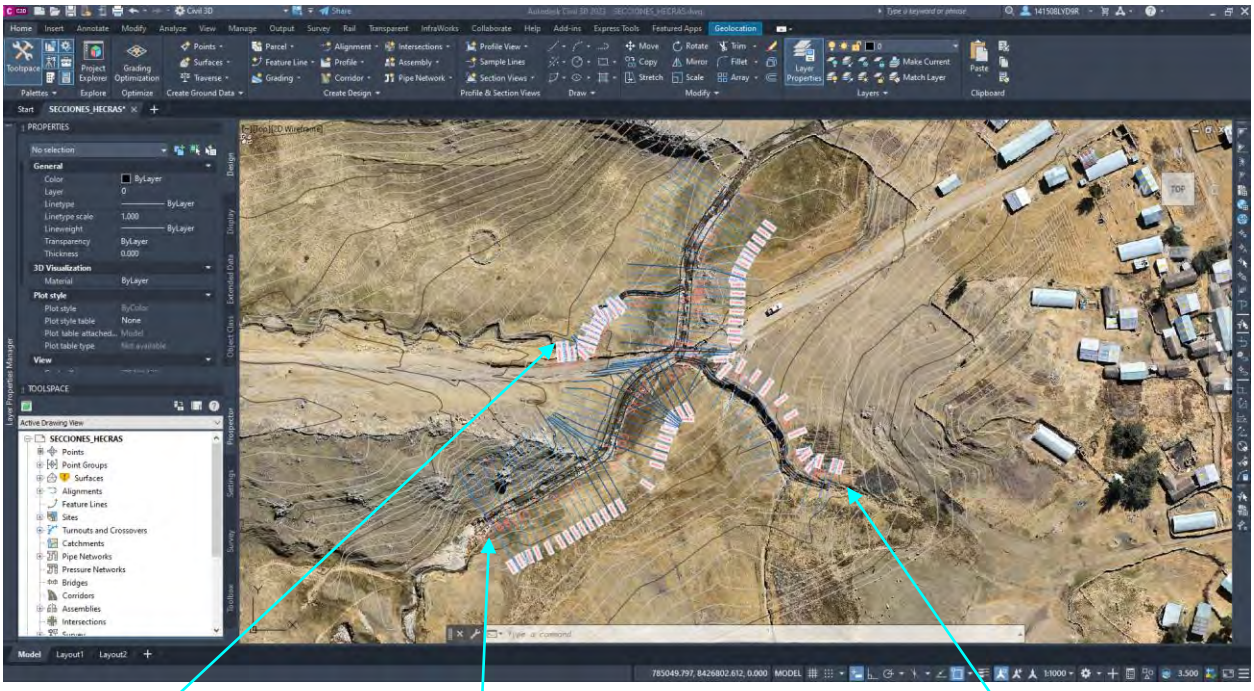
Figura 88. *Modelamiento Hidráulico de Velocidades TR=500 años*



5.11.4.2. Modelamiento 1D

El procesamiento del levantamiento topográfico correspondiente al segmento de estudio fue ejecutado mediante la aplicación del software AutoCAD Civil 3D. Dicho proceso implicó la delineación de secciones transversales en los cauces de los sectores, las cuales fueron configuradas perpendicularmente a la dirección del flujo. La definición de estas secciones consideró sus longitudes y espaciamientos específicos, en concordancia con la geometría particular de cada una, para su posterior transferencia al entorno de simulación HEC-RAS 6.6.

Figura 89. *Seccionamiento de las 3 microcuencas mediante AutoCADCivil 3D*



En la siguiente ilustración, podemos observar las secciones transversales realizados mediante AutocadCivil 3D y luego exportados a HECRAS 6.6 el con respecto al cauce de las microcuencas, dichas secciones están enumeradas, estas secciones son numeradas de aguas arriba a aguas abajo.

Figura 90. *Importación de secciones mediante View geometry data*

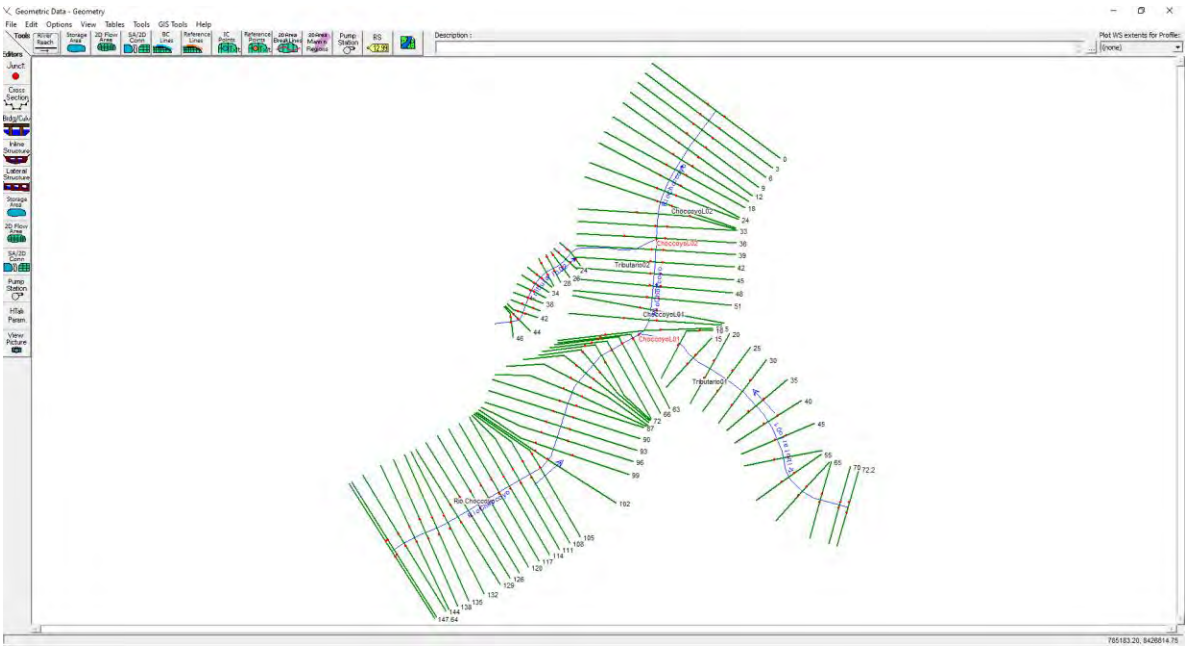
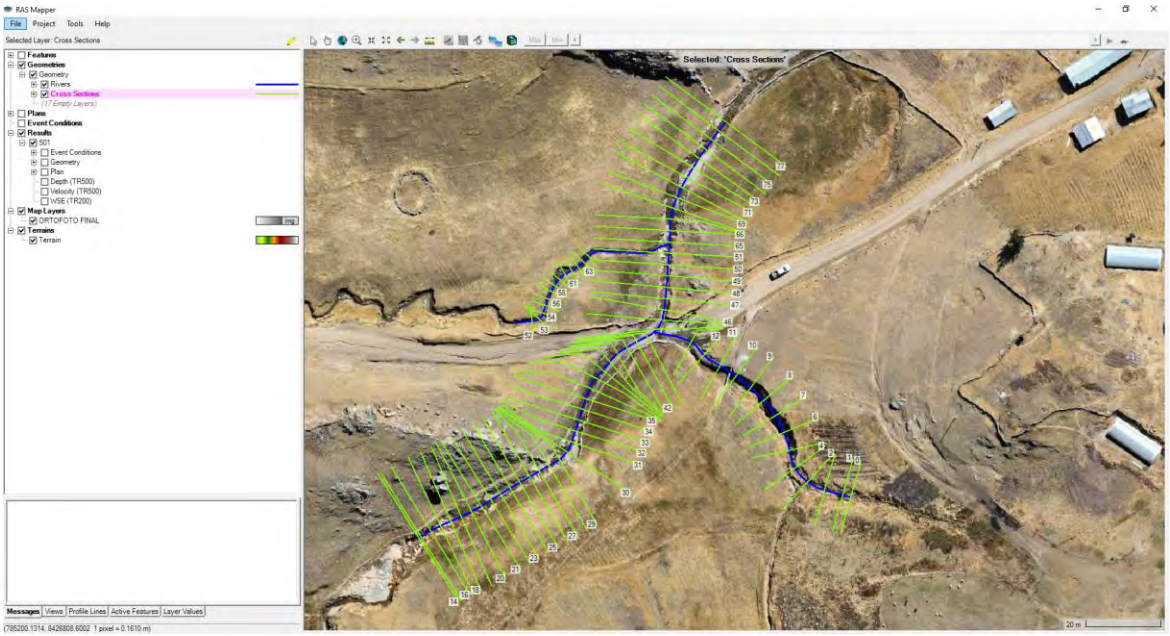
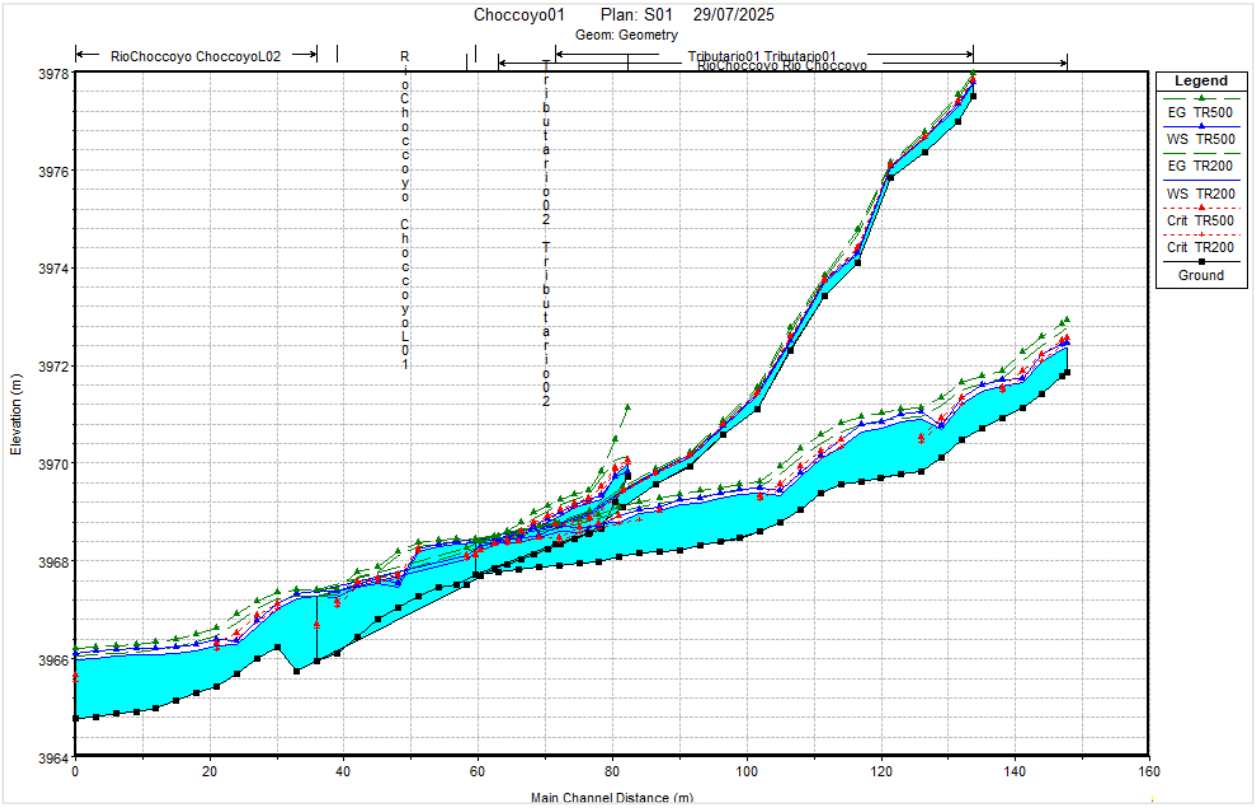


Figura 91. *Visualización de secciones mediante open Ras Mapper*



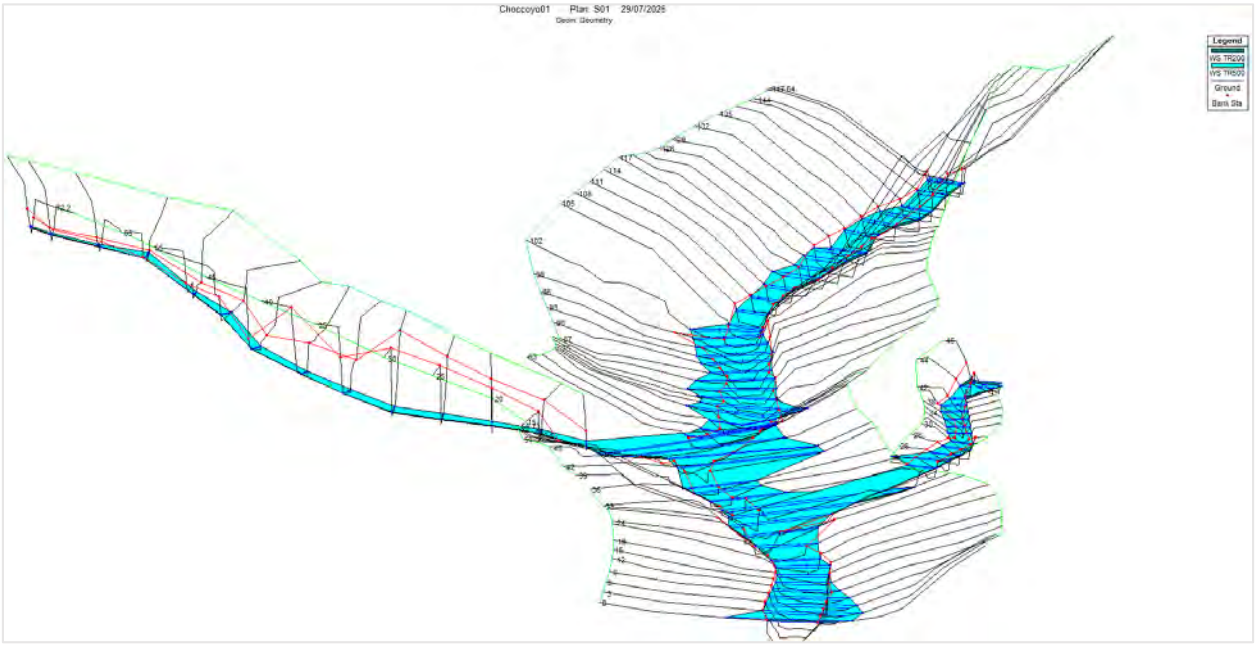
Con los datos obtenidos como la geometría del cauce y el coeficiente de Manning, se procedió a realizar la modelación hidráulica por medio del método de conservación de la energía del software HEC-RAS 6.6, para el periodo de retorno de 200 y 500 años, las características hidráulicas del perfil para el periodo de retorno se muestran a continuación:

Figura 92. *Perfil longitudinal hidráulico*



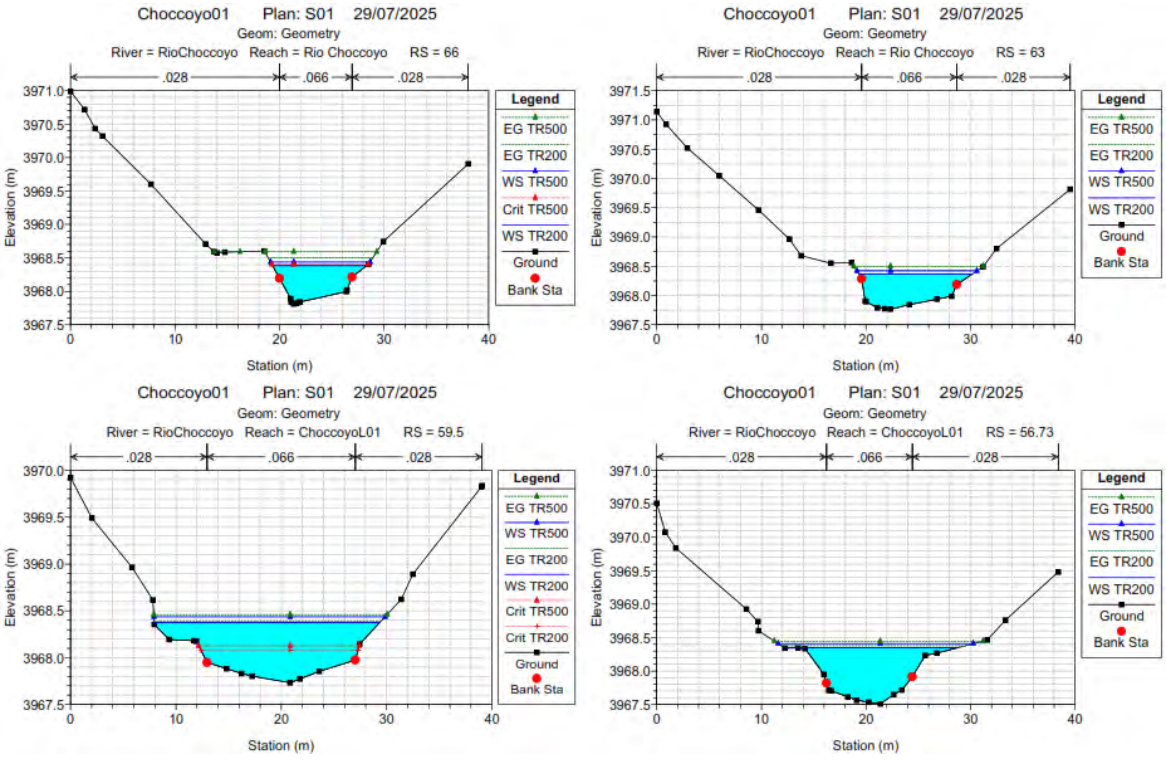
Para una visualización 3D de acuerdo al seccionamiento 1D, se ha realizado la siguiente vista tridimensional.

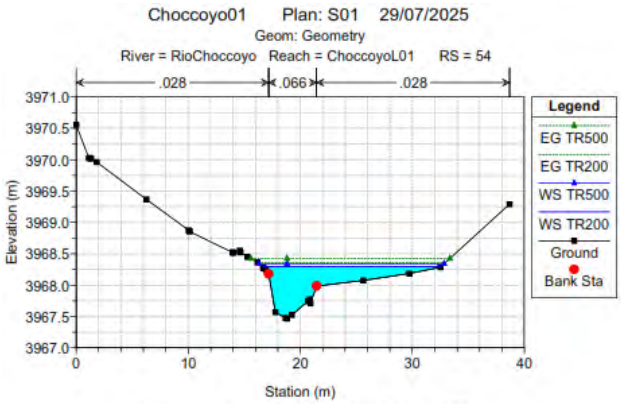
Figura 93. *Diagrama XYZ de los 3 caudales de las microcuencas*

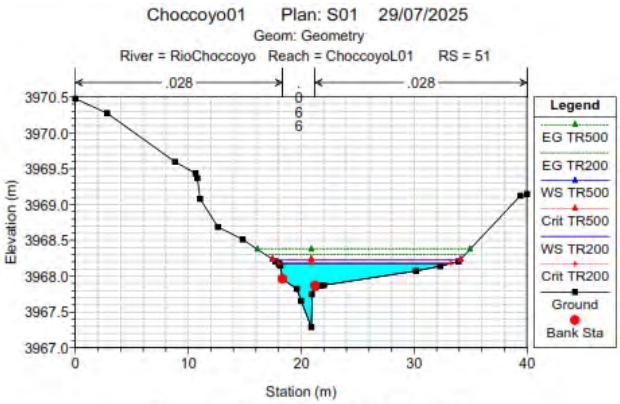


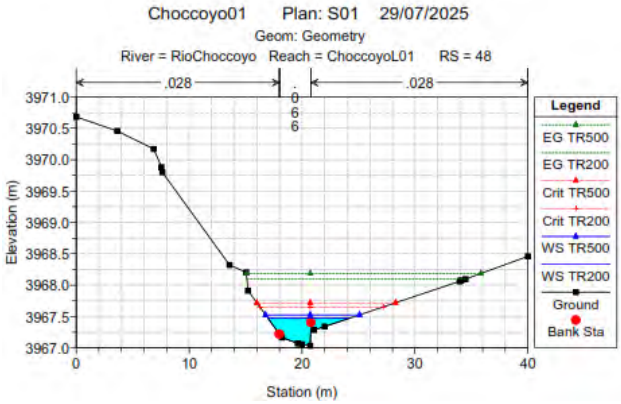
Por otra parte, es las siguientes secciones transversales se muestra las secciones de los cauces de rio donde se va emplazar la infraestructura vehicular.

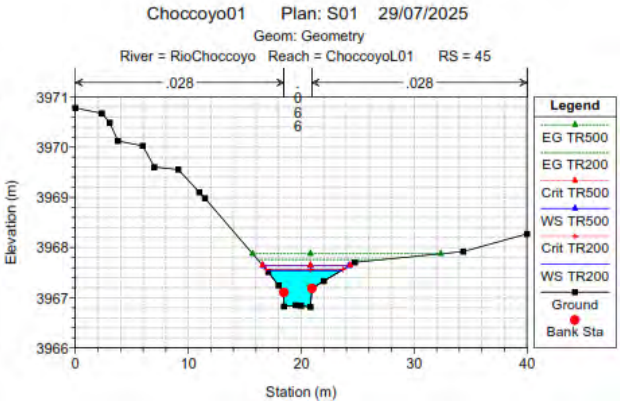
Figura 94. *Secciones transversales*

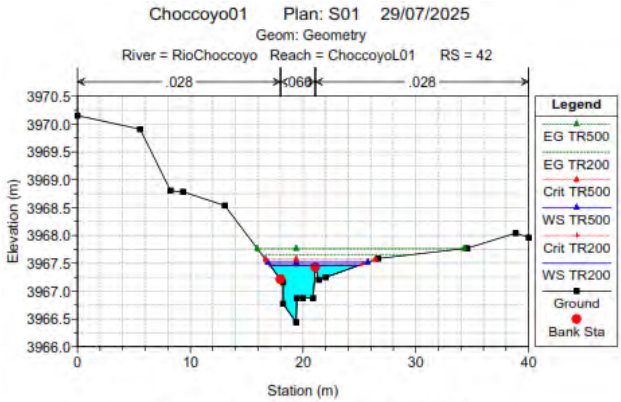


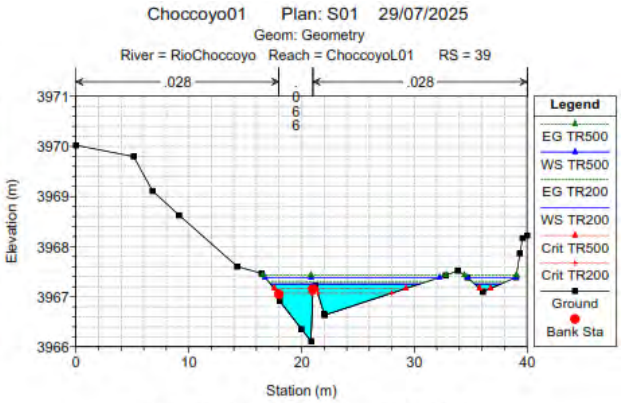

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 54
.028
.066
.028
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

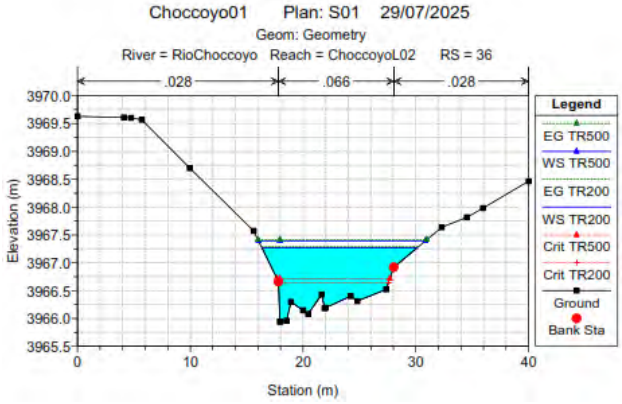

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 51
.028
.028
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

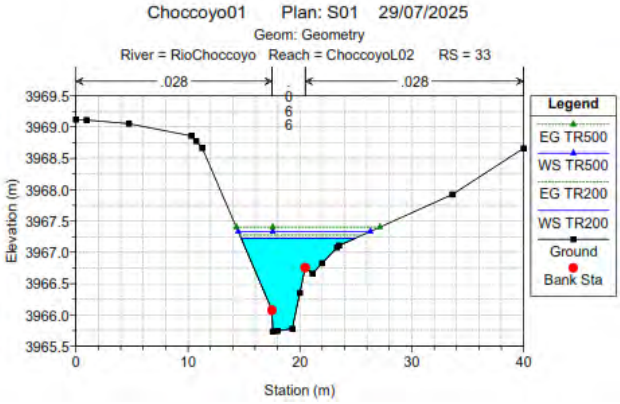

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 48
.028
.028
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 45
.028
.028
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 42
.028
.028
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 39
.028
.028
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 36
.028
.066
.028
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 33
.028
.028
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

Asimismo, el software nos brinda datos hidráulicos para el cálculo del galibo se ha tomado en cuenta un periodo de retorno fue de Tr=200 años:

Tabla 40. *Características Hidráulicas – puente Choccoyo Tr 200 años*

Rio	Sección	Tiempo de Retorno	Caudal	Fondo de Cauce (msnm)	NAME Tr200 (msnm)	Tirante	NAME crítico Tr500 (msnm)	Elevación de Energía	Pendiente	Velocidad	Área de flujo	Ancho de Cauce	Froude # Chl
	(m)	(Años)	(m3/s)	(m)	(m/m)	(m)	(m/m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Tributario02	46	TR200	1.28	3969.73	3970	0.27	3970	3970.14	0.015316	0.26	0.8	3.03	0.25
Tributario02	44	TR200	1.28	3969.2	3969.75	0.55	3969.85	3970.07	0.131494	1.55	0.59	3.06	0.9
Tributario02	42	TR200	1.28	3968.66	3969.26	0.6	3969.39	3969.7	0.289524	2.93	0.44	1.4	1.67
Tributario02	40	TR200	1.28	3968.55	3969.19	0.64	3969.2	3969.35	0.092778	1.81	0.71	2.47	1.06
Tributario02	38	TR200	1.28	3968.45	3969.1	0.65	3969.1	3969.25	0.032372	1.39	0.77	2.6	0.63
Tributario02	36	TR200	1.28	3968.35	3968.92	0.57	3968.98	3969.16	0.061383	1.77	0.63	2.33	0.88
Tributario02	34	TR200	1.28	3968.25	3968.8	0.55	3968.85	3969.03	0.070674	1.91	0.62	2.29	0.97
Tributario02	32	TR200	1.28	3968.15	3968.7	0.55	3968.72	3968.88	0.06355	1.85	0.68	2.37	0.96
Tributario02	30	TR200	1.28	3968.03	3968.47	0.44	3968.53	3968.69	0.138454	2.11	0.61	2.39	1.34
Tributario02	28	TR200	1.28	3967.93	3968.42	0.49	3968.35	3968.51	0.041146	1.32	0.97	3.05	0.75
Tributario02	26	TR200	1.28	3967.84	3968.31	0.47		3968.42	0.056438	1.45	0.88	3.05	0.86
Tributario02	24	TR200	1.28	3967.71	3968.22	0.51		3968.31	0.047399	1.32	0.96	3.37	0.79
Tributario02	22	TR200	1.28	3967.52	3968.04	0.52	3968.04	3968.18	0.082729	1.67	0.77	2.8	1.02
Tributario01	72.2	TR200	0.22	3977.52	3977.76	0.24	3977.81	3977.91	0.242012	1.73	0.13	1	1.55
Tributario01	70	TR200	0.22	3976.99	3977.3	0.31	3977.34	3977.45	0.18433	1.68	0.13	0.78	1.3
Tributario01	65	TR200	0.22	3976.37	3976.64	0.27	3976.65	3976.72	0.11292	1.27	0.17	1.29	1.1
Tributario01	60	TR200	0.22	3975.83	3976.06	0.23	3976.06	3976.11	0.126441	1.07	0.21	1.97	1.06
Tributario01	55	TR200	0.22	3974.1	3974.28	0.18	3974.37	3974.67	1.089226	2.78	0.08	0.9	2.99
Tributario01	50	TR200	0.22	3973.43	3973.71	0.28	3973.71	3973.78	0.110248	1.2	0.18	1.34	1.03
Tributario01	45	TR200	0.22	3972.32	3972.5	0.18	3972.55	3972.7	0.590094	1.98	0.11	1.42	2.25
Tributario01	40	TR200	0.22	3971.11	3971.4	0.29	3971.41	3971.49	0.1258	1.27	0.17	1.23	1.07
Tributario01	35	TR200	0.22	3970.58	3970.75	0.17	3970.76	3970.82	0.138304	1.15	0.19	1.91	1.15
Tributario01	30	TR200	0.22	3969.95	3970.13	0.18	3970.13	3970.18	0.117616	1.02	0.22	2.37	1.07
Tributario01	25	TR200	0.22	3969.56	3969.8	0.24	3969.77	3969.83	0.04745	0.79	0.28	2.21	0.7
Tributario01	20	TR200	0.22	3969.1	3969.41	0.31	3969.41	3969.48	0.114943	1.11	0.2	1.65	1.02
Tributario01	15	TR200	0.22	3968.57	3968.95	0.38	3968.84	3968.97	0.021723	0.7	0.32	1.42	0.47
Tributario01	10	TR200	0.22	3968.36	3968.7	0.34	3968.7	3968.75	0.126806	0.99	0.22	2.48	1.05
Rio Choccoyo	147.64	TR200	4.99	3971.86	3972.36	0.5	3972.46	3972.77	0.123241	2.82	1.77	3.93	1.35
Rio Choccoyo	147	TR200	4.99	3971.78	3972.34	0.56	3972.4	3972.68	0.093789	2.6	1.91	3.83	1.18
Rio Choccoyo	144	TR200	4.99	3971.41	3972.06	0.65	3972.1	3972.42	0.084822	2.62	1.9	3.23	1.09
Rio Choccoyo	141	TR200	4.99	3971.13	3971.66	0.53	3971.77	3972.09	0.130658	2.94	1.7	3.6	1.37
Rio Choccoyo	138	TR200	4.99	3970.92	3971.57	0.65	3971.46	3971.73	0.035809	1.79	2.79	4.97	0.76
Rio Choccoyo	135	TR200	4.99	3970.72	3971.47	0.75		3971.63	0.029755	1.75	2.85	4.27	0.68
Rio Choccoyo	132	TR200	4.99	3970.49	3971.2	0.71	3971.2	3971.49	0.063583	2.38	2.1	3.71	0.99

Rio Choccoyo	129	TR200	4.99	3970.11	3970.68	0.57	3970.82	3971.17	0.171298	3.1	1.61	4.13	1.59
Rio Choccoyo	126	TR200	4.99	3969.83	3970.9	1.07	3970.43	3970.96	0.007791	1.09	4.59	5.2	0.37
Rio Choccoyo	123	TR200	4.99	3969.78	3970.84	1.06		3970.93	0.011893	1.29	3.86	4.5	0.45
Rio Choccoyo	120	TR200	4.99	3969.7	3970.71	1.01		3970.87	0.026943	1.77	2.81	3.71	0.65
Rio Choccoyo	117	TR200	4.99	3969.63	3970.63	1		3970.78	0.027907	1.75	2.87	4.51	0.67
Rio Choccoyo	114	TR200	4.99	3969.56	3970.32	0.76	3970.32	3970.64	0.070971	2.49	2	3.22	1.01
Rio Choccoyo	111	TR200	4.99	3969.37	3970.08	0.71	3970.11	3970.41	0.080965	2.57	1.94	3.4	1.08
Rio Choccoyo	108	TR200	4.99	3969.06	3969.71	0.65	3969.81	3970.12	0.109813	2.84	1.76	3.55	1.29
Rio Choccoyo	105	TR200	4.99	3968.78	3969.35	0.57	3969.46	3969.77	0.122798	2.9	1.72	3.91	1.39
Rio Choccoyo	102	TR200	4.99	3968.6	3969.39	0.79	3969.26	3969.51	0.015274	1.38	3.35	7.01	0.54
Rio Choccoyo	99	TR200	4.99	3968.46	3969.37	0.91		3969.45	0.016632	1.29	3.87	6.82	0.55
Rio Choccoyo	96	TR200	4.99	3968.39	3969.29	0.9		3969.39	0.021877	1.41	3.55	6.85	0.62
Rio Choccoyo	93	TR200	4.99	3968.32	3969.18	0.86		3969.31	0.029972	1.6	3.13	7.2	0.73
Rio Choccoyo	90	TR200	4.99	3968.22	3969.15	0.93		3969.24	0.013631	1.33	3.81	6.64	0.5
Rio Choccoyo	87	TR200	4.99	3968.18	3969.03	0.85		3969.18	0.025645	1.7	2.97	5.8	0.67
Rio Choccoyo	84	TR200	4.99	3968.16	3968.98	0.82	3968.83	3969.1	0.023831	1.59	3.21	7.63	0.65
Rio Choccoyo	81	TR200	4.99	3968.1	3968.8	0.7	3968.77	3968.99	0.051436	1.96	2.55	6.4	0.93
Rio Choccoyo	78	TR200	4.99	3967.97	3968.75	0.78	3968.65	3968.87	0.02293	1.51	3.37	8.53	0.64
Rio Choccoyo	75	TR200	4.99	3967.95	3968.58	0.63	3968.58	3968.76	0.055359	1.9	2.64	7.68	0.96
Rio Choccoyo	72	TR200	4.99	3967.91	3968.61	0.7	3968.41	3968.66	0.009972	1.01	4.93	12.74	0.44
Rio Choccoyo	69	TR200	4.99	3967.88	3968.47	0.59		3968.6	0.031337	1.59	3.12	7.84	0.74
Rio Choccoyo	66	TR200	4.99	3967.81	3968.38	0.57		3968.5	0.031705	1.55	3.25	8.99	0.74
Rio Choccoyo	63	TR200	4.99	3967.76	3968.36	0.6		3968.43	0.014848	1.11	4.51	10.79	0.51
ChoccoyoL01	59.5	TR200	5.21	3967.73	3968.37	0.64	3968.08	3968.39	0.003468	0.59	8.75	21.37	0.26
ChoccoyoL01	56.73	TR200	5.21	3967.51	3968.35	0.84		3968.38	0.004219	0.79	6.91	16.55	0.3
ChoccoyoL01	54	TR200	5.21	3967.47	3968.29	0.82		3968.36	0.010872	1.1	4.65	15.94	0.44
ChoccoyoL01	51	TR200	5.21	3967.29	3968.18	0.89	3968.18	3968.31	0.023707	1.23	3.43	15.31	0.58
ChoccoyoL01	48	TR200	5.21	3967.04	3967.47	0.43	3967.65	3968.1	0.219529	3.41	1.49	7.19	1.79
ChoccoyoL01	45	TR200	5.21	3966.81	3967.55	0.74	3967.56	3967.76	0.035064	1.96	2.55	6.62	0.75
ChoccoyoL01	42	TR200	5.21	3966.44	3967.47	1.03	3967.49	3967.66	0.044767	1.95	2.67	7.95	0.77
ChoccoyoL01	39	TR200	5.21	3966.11	3967.25	1.14	3967.07	3967.31	0.005591	0.74	5.34	15.52	0.28
ChoccoyoL02	36	TR200	6.48	3965.94	3967.27	1.33	3966.64	3967.29	0.001962	0.61	10.62	13.76	0.2
ChoccoyoL02	33	TR200	6.48	3965.73	3967.22	1.49		3967.28	0.003319	0.89	6.51	10.14	0.25
ChoccoyoL02	30	TR200	6.48	3966.23	3967.03	0.8	3967.03	3967.24	0.060673	2.01	3.22	7.88	1.01
ChoccoyoL02	27	TR200	6.48	3966	3966.66	0.66	3966.75	3967.02	0.072203	2.61	2.45	5.17	1.11
ChoccoyoL02	24	TR200	6.48	3965.7	3966.29	0.59	3966.41	3966.73	0.127584	2.96	2.19	4.96	1.42
ChoccoyoL02	21	TR200	6.48	3965.44	3966.25	0.81	3966.19	3966.47	0.044683	2.04	3.18	5.48	0.86
ChoccoyoL02	18	TR200	6.48	3965.29	3966.15	0.86		3966.34	0.035703	1.92	3.37	5.21	0.76
ChoccoyoL02	15	TR200	6.48	3965.14	3966.11	0.97		3966.24	0.021568	1.62	4.01	5.36	0.6
ChoccoyoL02	12	TR200	6.48	3964.98	3966.09	1.11		3966.18	0.013166	1.33	4.86	5.99	0.47
ChoccoyoL02	9	TR200	6.48	3964.91	3966.07	1.16		3966.14	0.008458	1.18	5.57	7.41	0.39
ChoccoyoL02	6	TR200	6.48	3964.87	3966.05	1.18		3966.11	0.007669	1.14	5.81	8.66	0.37

ChoccoyoL02	3	TR200	6.48	3964.81	3966.01	1.2		3966.09	0.009176	1.22	5.44	8.67	0.41
ChoccoyoL02	0	TR200	6.48	3964.78	3965.97	1.19	3965.53	3966.06	0.01111	1.33	4.93	7.2	0.44

Resultado. – De acuerdo a la tabla 97, para el puente propuesto proyectado la altura de tirante hidráulico es de 0.64 m, la velocidad es de 0.59 m/s, la pendiente es de 0.3468 %, el área hidráulica de 8.75m² y un ancho de cauce de 21.37 m.

Tabla 41. *Características Hidráulicas – puente Choccoyo Tr 500 años*

Rio	Sección	Tiempo de Retorno	Caudal	Fondo de Cauce (msnm)	NAME Tr500 (msnm)	Tirante	NAME crítico Tr500 (msnm)	Elevación de Energía	Pendiente	Velocidad	Área de flujo	Ancho de Cauce	Froude # Chl
	(m)	(Años)	(m3/s)	(m)	(m/m)	(m)	(m/m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Tributario02	46	TR500	1.72	3969.73	3969.82	0.09	3970.07	3971.13	0.268512	0.59	0.34	2.1	0.88
Tributario02	44	TR500	1.72	3969.2	3969.73	0.53	3969.91	3970.49	0.322128	2.34	0.53	2.67	1.4
Tributario02	42	TR500	1.72	3968.66	3969.34	0.68	3969.52	3969.84	0.284181	3.13	0.55	1.62	1.7
Tributario02	40	TR500	1.72	3968.55	3969.25	0.7	3969.28	3969.45	0.092225	1.97	0.88	2.74	1.09
Tributario02	38	TR500	1.72	3968.45	3969.17	0.72	3969.17	3969.35	0.030233	1.46	0.96	2.86	0.62
Tributario02	36	TR500	1.72	3968.35	3968.99	0.64	3969.06	3969.26	0.054867	1.84	0.79	2.58	0.85
Tributario02	34	TR500	1.72	3968.25	3968.85	0.6	3968.93	3969.14	0.06906	2.07	0.75	2.5	0.98
Tributario02	32	TR500	1.72	3968.15	3968.74	0.59	3968.79	3968.99	0.075318	2.16	0.78	2.52	1.06
Tributario02	30	TR500	1.72	3968.03	3968.53	0.5	3968.6	3968.79	0.134756	2.26	0.76	2.64	1.35
Tributario02	28	TR500	1.72	3967.93	3968.5	0.57	3968.42	3968.6	0.041327	1.43	1.2	3.35	0.76
Tributario02	26	TR500	1.72	3967.84	3968.36	0.52	3968.34	3968.5	0.061844	1.62	1.06	3.3	0.91
Tributario02	24	TR500	1.72	3967.71	3968.3	0.59	3968.23	3968.39	0.040275	1.35	1.31	6.19	0.75
Tributario02	22	TR500	1.72	3967.52	3968.1	0.58	3968.1	3968.27	0.08391	1.81	0.95	3.07	1.04
Tributario01	72.2	TR500	0.32	3977.52	3977.79	0.27	3977.85	3977.98	0.24185	1.93	0.16	1.08	1.58
Tributario01	70	TR500	0.32	3976.99	3977.35	0.36	3977.4	3977.52	0.179585	1.81	0.17	0.89	1.31
Tributario01	65	TR500	0.32	3976.37	3976.67	0.3	3976.68	3976.78	0.12071	1.44	0.22	1.39	1.16
Tributario01	60	TR500	0.32	3975.83	3976.09	0.26	3976.09	3976.16	0.122858	1.16	0.27	2.26	1.07
Tributario01	55	TR500	0.32	3974.1	3974.31	0.21	3974.42	3974.77	0.978576	3.03	0.1	0.93	2.89
Tributario01	50	TR500	0.32	3973.43	3973.75	0.32	3973.75	3973.83	0.099337	1.26	0.25	1.57	1
Tributario01	45	TR500	0.32	3972.32	3972.51	0.19	3972.59	3972.78	0.677519	2.28	0.14	1.59	2.46
Tributario01	40	TR500	0.32	3971.11	3971.45	0.34	3971.45	3971.54	0.119707	1.37	0.23	1.38	1.07
Tributario01	35	TR500	0.32	3970.58	3970.77	0.19	3970.79	3970.87	0.154509	1.34	0.24	2	1.25
Tributario01	30	TR500	0.32	3969.95	3970.16	0.21	3970.16	3970.22	0.107769	1.11	0.28	2.53	1.06
Tributario01	25	TR500	0.32	3969.56	3969.83	0.27	3969.8	3969.87	0.048838	0.89	0.35	2.33	0.73
Tributario01	20	TR500	0.32	3969.1	3969.45	0.35	3969.45	3969.52	0.104549	1.2	0.26	1.82	1.01
Tributario01	15	TR500	0.32	3968.57	3968.99	0.42	3968.89	3969.03	0.026403	0.84	0.38	1.44	0.53
Tributario01	10	TR500	0.32	3968.36	3968.73	0.37	3968.73	3968.79	0.106157	1.04	0.3	2.8	1
Rio Choccoyo	147.64	TR500	6.51	3971.86	3972.45	0.59	3972.57	3972.93	0.12329	3.09	2.11	4.02	1.36

Rio Choccoyo	147	TR500	6.51	3971.78	3972.44	0.66	3972.51	3972.85	0.092704	2.83	2.3	3.93	1.18
Rio Choccoyo	144	TR500	6.51	3971.41	3972.22	0.81	3972.23	3972.59	0.07129	2.68	2.43	3.33	1
Rio Choccoyo	141	TR500	6.51	3971.13	3971.73	0.6	3971.88	3972.28	0.139534	3.28	1.99	3.66	1.42
Rio Choccoyo	138	TR500	6.51	3970.92	3971.7	0.78	3971.56	3971.88	0.031451	1.87	3.48	5.1	0.72
Rio Choccoyo	135	TR500	6.51	3970.72	3971.6	0.88		3971.79	0.030229	1.91	3.41	4.46	0.7
Rio Choccoyo	132	TR500	6.51	3970.49	3971.33	0.84	3971.33	3971.65	0.057392	2.52	2.6	4.08	0.96
Rio Choccoyo	129	TR500	6.51	3970.11	3970.76	0.65	3970.93	3971.35	0.172253	3.4	1.91	4.23	1.62
Rio Choccoyo	126	TR500	6.51	3969.83	3971.06	1.23	3970.53	3971.13	0.008162	1.2	5.43	5.37	0.38
Rio Choccoyo	123	TR500	6.51	3969.78	3970.99	1.21		3971.1	0.012611	1.43	4.56	4.94	0.46
Rio Choccoyo	120	TR500	6.51	3969.7	3970.84	1.14		3971.03	0.028578	1.97	3.33	4.39	0.68
Rio Choccoyo	117	TR500	6.51	3969.63	3970.78	1.15		3970.95	0.023697	1.82	3.63	5.52	0.63
Rio Choccoyo	114	TR500	6.51	3969.56	3970.47	0.91	3970.47	3970.82	0.063433	2.62	2.49	3.63	0.97
Rio Choccoyo	111	TR500	6.51	3969.37	3970.18	0.81	3970.24	3970.59	0.087147	2.85	2.29	3.58	1.14
Rio Choccoyo	108	TR500	6.51	3969.06	3969.82	0.76	3969.93	3970.29	0.108294	3.06	2.13	3.73	1.3
Rio Choccoyo	105	TR500	6.51	3968.78	3969.43	0.65	3969.57	3969.94	0.122711	3.18	2.05	4.08	1.42
Rio Choccoyo	102	TR500	6.51	3968.6	3969.48	0.88	3969.35	3969.63	0.014548	1.47	4.02	7.45	0.53
Rio Choccoyo	99	TR500	6.51	3968.46	3969.46	1		3969.56	0.018524	1.43	4.56	7.4	0.58
Rio Choccoyo	96	TR500	6.51	3968.39	3969.37	0.98		3969.5	0.022929	1.58	4.15	7.63	0.65
Rio Choccoyo	93	TR500	6.51	3968.32	3969.29	0.97		3969.43	0.025452	1.68	3.92	8.04	0.69
Rio Choccoyo	90	TR500	6.51	3968.22	3969.25	1.03		3969.36	0.013855	1.46	4.52	7.41	0.52
Rio Choccoyo	87	TR500	6.51	3968.18	3969.1	0.92	3969.02	3969.29	0.030521	1.97	3.36	6.44	0.75
Rio Choccoyo	84	TR500	6.51	3968.16	3969.04	0.88		3969.2	0.027245	1.78	3.71	8.23	0.71
Rio Choccoyo	81	TR500	6.51	3968.1	3968.91	0.81	3968.91	3969.1	0.037036	1.94	3.46	9.17	0.82
Rio Choccoyo	78	TR500	6.51	3967.97	3968.7	0.73	3968.75	3968.96	0.058363	2.26	2.94	7.64	1.01
Rio Choccoyo	75	TR500	6.51	3967.95	3968.68	0.73	3968.68	3968.85	0.038657	1.84	3.64	10.81	0.83
Rio Choccoyo	72	TR500	6.51	3967.91	3968.7	0.79	3968.47	3968.76	0.008596	1.04	6.21	14.87	0.41
Rio Choccoyo	69	TR500	6.51	3967.88	3968.53	0.65	3968.49	3968.7	0.034001	1.79	3.61	8.32	0.79
Rio Choccoyo	66	TR500	6.51	3967.81	3968.44	0.63	3968.4	3968.59	0.034468	1.75	3.76	9.51	0.79
Rio Choccoyo	63	TR500	6.51	3967.76	3968.42	0.66		3968.5	0.016715	1.28	5.15	11.47	0.55
ChoccoyoL01	59.5	TR500	6.83	3967.73	3968.44	0.71	3968.13	3968.46	0.003611	0.65	10.17	21.94	0.27
ChoccoyoL01	56.73	TR500	6.83	3967.51	3968.41	0.9		3968.45	0.004854	0.89	8	18.67	0.32
ChoccoyoL01	54	TR500	6.83	3967.47	3968.34	0.87		3968.42	0.011195	1.17	5.45	16.54	0.45
ChoccoyoL01	51	TR500	6.83	3967.29	3968.23	0.94	3968.23	3968.38	0.019813	1.21	4.3	16.65	0.54
ChoccoyoL01	48	TR500	6.83	3967.04	3967.53	0.49	3967.72	3968.19	0.177671	3.36	1.92	8.33	1.64
ChoccoyoL01	45	TR500	6.83	3966.81	3967.64	0.83	3967.65	3967.88	0.031042	2	3.18	7.61	0.72
ChoccoyoL01	42	TR500	6.83	3966.44	3967.52	1.08	3967.57	3967.76	0.048515	2.14	3.13	8.89	0.81
ChoccoyoL01	39	TR500	6.83	3966.11	3967.38	1.27	3967.16	3967.43	0.003499	0.65	7.67	19.74	0.23
ChoccoyoL02	36	TR500	8.55	3965.94	3967.39	1.45	3966.71	3967.42	0.002126	0.69	12.36	14.78	0.21
ChoccoyoL02	33	TR500	8.55	3965.73	3967.33	1.6		3967.4	0.00359	0.98	7.75	11.81	0.27
ChoccoyoL02	30	TR500	8.55	3966.23	3967.12	0.89	3967.12	3967.36	0.059833	2.17	3.93	8.49	1.02
ChoccoyoL02	27	TR500	8.55	3966	3966.78	0.78	3966.88	3967.17	0.05824	2.67	3.16	6.6	1.03
ChoccoyoL02	24	TR500	8.55	3965.7	3966.38	0.68	3966.53	3966.91	0.123273	3.23	2.65	5.18	1.42

ChoccoyoL02	21	TR500	8.55	3965.44	3966.38	0.94	3966.3	3966.63	0.041741	2.19	3.9	5.72	0.84
ChoccoyoL02	18	TR500	8.55	3965.29	3966.28	0.99		3966.51	0.03604	2.11	4.06	5.42	0.78
ChoccoyoL02	15	TR500	8.55	3965.14	3966.23	1.09		3966.4	0.023253	1.82	4.7	5.74	0.63
ChoccoyoL02	12	TR500	8.55	3964.98	3966.22	1.24		3966.33	0.014199	1.51	5.69	6.86	0.5
ChoccoyoL02	9	TR500	8.55	3964.91	3966.2	1.29		3966.29	0.008952	1.3	6.63	8.29	0.41
ChoccoyoL02	6	TR500	8.55	3964.87	3966.19	1.32		3966.26	0.007646	1.23	7.06	9.48	0.38
ChoccoyoL02	3	TR500	8.55	3964.81	3966.15	1.34		3966.24	0.008831	1.29	6.79	10.34	0.41
ChoccoyoL02	0	TR500	8.55	3964.78	3966.1	1.32	3965.66	3966.2	0.011108	1.45	6.18	13.08	0.45

Resultado. – De acuerdo a la tabla 98, para el puente propuesto proyectado la altura de tirante hidráulico es de 0.71 m, la velocidad es de 0.65 m/s, la pendiente es de 0.3611 %, el área hidráulica de 10.17 m² y un ancho de cauce de 21.94 m.

Con dichos cálculos se ha propuesto la altura de galibo, así como la cota inferior del tablero de los puentes, asimismo en base al trazo de la carretera y cotas de la subrasante se ha propuesto dichas cotas.

Tabla 42. *Gálibos y cotas inferiores del talero del puente*

Puente	Longitud del puente proyectado	Fondo de quebrada	NAME	Galibo	Cota inferior mínima del tablero del puente
	m	msnm	msnm	m	msnm
Choccoyo	24	3967.73	3968.37	2.0	3970.37

5.12. Cálculo de Ancho Estable

El ancho estable, se calculó tomando en consideración 5 criterios o métodos: (1) Recomendación Práctica, (2) Método de Petits, (3) Método de Simons y Henderson, (4) Método de Blench y Altunin y (5) Método de Manning y Strickler.

Todos estos métodos son empíricos y bajo la teoría del régimen estable.

5.12.1. Método de Petits

La expresión empleada es la siguiente:

$$B = 4.44 \times Q^{0.5}$$

5.12.2. Método de Simons y Henderson

Está basado en la teoría de régimen estable y está en función del caudal de diseño y de las condiciones de fondo del río.

$$B = K_1 \times Q^{1/2}$$

Tabla 43. *Coeficiente K1 (Simons y Henderson)*

Condición	k1
fondo y orillas de arena	5.70
fondo arena y orillas de material cohesivo	4.20
fondo y orillas de material cohesivo	3.60
fondo y orillas del cauce de grava	2.90
fondo arena y orillas de material no cohesivo	2.80

5.12.3. Método de Blench y Altunin

Está basado en la teoría de régimen estable y en función del caudal de diseño, factor de fondo (Fb) y en el factor de orilla (Fs). Los factores Fb y Fs, tienen en cuenta la concentración del material transportado en suspensión, el diámetro de las partículas de fondo y la resistencia de las orillas a ser erosionada. Un factor de orilla (Fs) puede tomar los siguientes valores:

- Orilla de barro y arena toma el valor de Fs: 0.1.
- Orilla de barro, arcilla, fangosa toma un valor de Fs: 0.2.

- Orilla de material muy cohesivo, toma un valor de fs: 0.3.

El factor de fondo Fb, puede ser valuado mediante las expresiones siguientes: Sí el canal arrastra poco sedimento y el fondo es arenoso, emplear la siguiente expresión:Fb=1.9√D, donde "D" es el diámetro medio de las partículas, en mm.

Sí existe arrastre de sedimentos y el fondo es arenoso, emplear la siguiente expresión:

$$Fb = 1.9\sqrt{D}(1 + 0.012Cs) \;\; o \;\; Fb = (d_{50})^{\frac{1}{3}}$$

$$B = 1.81(Q\,Fb/Fs)^{1/2}$$

Tabla 44. *Factor de fondo Fb*

Factor de Fondo	F_b	
Material Fino	0.80	Dm<0.50mm
Material Grueso	1.20	Dm>0.50mm

Tabla 45. *Factor Fs*

Condición	Fs
Orilla de barro y arena toma el valor de	0.10
Orilla de barro, arcilla, fangosa toma un valor de	0.20
Orilla de material muy cohesivo, toma un valor de	0.30

5.12.4. Método de Manning Strickler

Este método incluye a la rugosidad (n), tipo de material (k) y de cauce (m). Para el caso del coeficiente de rugosidad (n) los valores recomendados varían de 0.035 a 0.05, según el tipo de material presente. La variación de los valores para K, va a depender del tipo de material, si es aluvial, erosionable o muy resistente y un valor práctico de 10.

$$B = (Q^{1/2}/S^{1/5})\,(n\,K^{5/3})^{3/(3+5m)}$$

En el caso del coeficiente "m", los valores varían de 0.5 a 1, según el tipo de cauce: aluvial, arenoso o de montaña.

- Tramos donde el ancho natural del cauce mayor al ancho estable.
- Tramos donde el ancho natural del cauce menor al ancho estable

- Tramos del ancho natural del cauce igual al ancho estable

Tabla 46. *Valores para el método de Manning Strickler*

Valores rugosidad de Manning (n)	
Descripción	**n**
Cauce con fondo sólido sin irregularidades = 0.025	0.025
Cauces de río con acarreo irregular = 0.030 - 0.029	0.03
Cauces de Ríos con Vegetación = 0.033 - 0.029	0.029
Cauces naturales con derrubio e irregularidades = 0.033	0.033
Cauces de Río con fuerte transporte de acarreo = 0.035	0.035
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza = 0.040 - 0.036	0.04
Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil = 0.045 - 0.050	0.05
Coeficiente Material del Cauce (Tabla)	
Descripción	**K**
Material de cauce muy resistente = 3 a 4	3
Material fácilmente erosionable = 16 a 20	16
Material aluvial = 8 a 12	12
Valor practico = 10	10
Coeficiente de Tipo de Río (Tabla)	
Descripción	**m**
Para ríos de montaña	0.5
Para cauces arenosos	0.7
Para cauces aluviales	1

Es así que de acuerdo a las fórmulas anteriormente descritas se ha obtenido los siguientes valores:

Tabla 47. *Resumen de cálculos de anchos estables por puentes propuestos*

MÉTODO	Choccoyo
	B (m)
MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON	7.58
MÉTODO DE PETTIS	11.6
MÉTODO DE BLENCH Y ALTUNIN	16.39
MÉTODO DE MANNING - STRICKLER	17.49
PROMEDIO B =	13.26
SE ADOPTA B =	13.00

5.13. Socavación en Estructuras Hidráulicas

La socavación es el fenómeno que se produce en el cauce de un rio, que consiste en la profundización del cauce cuando se alcanza la condición de transporte critico en las máximas avenidas, para nuestro proyecto debido a la presencia de los puentes propuestos como la socavación general, socavación en curvas, etc., la socavación que ocurre en la sección del puente debido al estrechamiento del cauce por la presencia del puente.

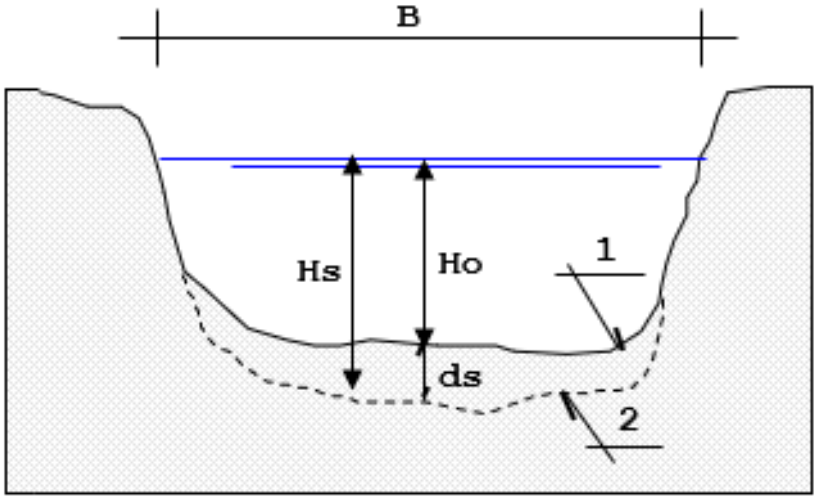
5.13.1. Cálculo de la Socavación General

La socavación general, es la profundización del cauce debido a la presencia de corriente máxima producto de la máxima avenida, sin la interferencia de las obras planteadas, esta socavación se produce hasta que la sección del cauce se ve modificada de forma tal que la velocidad del flujo ya no permite el arrastre de material del cauce.

De acuerdo al Manual de Carreteras: Hidráulica, Hidrología y Drenaje, en la sección "4.1.1.5.4 Calculo Hidráulico" se plantea el uso de la metodología de Lischtvan – Levediev, este método se fundamenta en el equilibrio que tiene que haber entre la velocidad media real de la corriente (Vr) y la velocidad media erosiva (Ve), siendo esta ultima la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material de fondo; esta velocidad está en función de las características del sedimento de fondo y la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del dio: pendiente, rugosidad y tirante del agua.

El método se basa en suponer que el caudal unitario correspondiente a cada franja elemental en que se divide el cauce natural (Figura 259) permanece constante durante el proceso erosivo y puede aplicarse, con los debidos ajustes, para casos de cauces definidos o no, materiales de fondo cohesivos o friccionantes y para condiciones de distribución de los materiales del fondo del cauce homogénea o heterogénea.

Figura 95. *Perfil antes y después de la socavación*



Nota: (1) - Perfil antes de la erosión. (2) - Perfil después de la erosión

Fuente: Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. (1992)

Velocidad erosiva que es la velocidad media que se requiere para degradar el fondo está dado por las siguientes expresiones:

$Ve = 0.60{\gamma_d}^{1.18}\beta H_s^x$……;m/seg (suelos cohesivos)

$Ve = 0.68\beta d_m^{0.28} H_s^x$……;m/seg (suelos no cohesivos)

En donde:

Ve: velocidad media suficiente para degradar el cauce en m/seg.

γ_d: peso volumétrico del material seco que se encuentra a una profundidad Hs, medida desde la superficie del agua (Ton/m3)

β: coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia Ver Tabla

x: es un exponente variable que está en función del peso volumétrico γ_d del material seco (Ton/m3)

H_s: tirante considerado, a cuya profundidad se desea conocer que valor de Ve se requiere para arrastrar y levantar al material (m)

d_m: es el diámetro medio (en mm) de los granos del fondo obtenido según la expresión.

$$d_m = 0.01 \sum d_i p_i$$

En el cual:

d_i: diámetro medio, en mm, de una fracción en la curva granulométrica de la muestra total que se analiza.

p_i: peso de esa misma porción, comparada respecto al peso total de la muestra. Las fracciones escogidas no deben ser iguales entre sí.

Asimismo, dm se puede calcular de manera generalizada mediante la expresión: $d_m = d_{50} \times 1.25$

5.13.2. Para suelos granulares

Se tiene la siguiente ecuación:

$$H_S = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.68\beta\mu\varphi D_m^{0.28}}\right]^{\frac{1}{1+z}}$$

Donde:

Hs − h: Profundidad de socavación (m)

h: Tirante de agua (m)

Dm: Diámetro característico del lecho (mm)

β: Coeficiente de frecuencia.

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 log Tr$$

μ: Factor de corrección por contracción del cauce.

φ: Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos

$$\varphi = -0.54 + 1.5143\gamma_m,\ si\ \gamma_m > \frac{1.0t}{m3}\ (lecho\ movil)$$

α: Coeficiente alfa

$$\alpha = \frac{Q}{hm^{5/3}B_e\mu}$$

z: exponente variable en función del diámetro medio de la partícula.

$$z = 0.394557 - 0.04136 \log Dm - 0.00891 \log^2 Dm$$

Q: caudal

Be: ancho de la superficie libre o ancho del cauce

V: Velocidad

Hm: profundidad media de la sección = Área / Be

5.13.3. Para suelos cohesivos

Se tiene la siguiente ecuación:

$$H_S = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.60\beta\mu\varphi\gamma_s^{1.18}}\right]^{\frac{1}{1+x}}$$

Donde:

Hs − h: Profundidad de socavación (m)

h: Tirante de agua (m)

γ_s: Peso específico del sedimento del lecho (t/m³)

β: Coeficiente de frecuencia.

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 log Tr$$

μ: Factor de corrección por contracción del cauce.

φ: Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.

$$\varphi = -0.54 + 1.5143\gamma_m,\ si\ \gamma_m > \frac{1.0t}{m3}\ (lecho\ movil)$$

α: Coeficiente alfa

$$\alpha = \frac{Q}{hm^{5/3} B_e \mu}$$

x: exponente variable que depende del peso volumétrico del material cohesivo seco.

$$x = 0.892619 - 0.58073\,\gamma_s + 0.136275\,{\gamma_s}^2$$

Q: caudal

Be: ancho de la superficie libre o ancho del cauce

V: Velocidad

Hm: profundidad media de la sección = Área / Be

Tabla 48. *Factor de corrección por contracción del cauce μ*

COEFICIENTE DE CONTRACCION, μ													
Velocidad media en la sección	Longitud libre entre dos estribos												
(m / seg)	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4.00 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Fuente: *Juárez Badillo E. y rico Rodríguez A., 199*

V: Velocidad media en la sección transversal

μ: 1.0, si no hay obstáculos.

Para puentes de una sola luz, la luz libre es la distancia entre estribos. Para puentes de varios tramos, la luz libre es la mínima distancia entre dos pilares consecutivos, o entre el pilar y estribo más próximos.

Tabla 49. *Valores del Coeficiente β*

Periodo de retorno del gasto de diseño (años)	Coeficiente β
2	0.82
5	0.86
10	0.90
20	0.94
50	0.97
100	1.00
500	1.05

Tabla 50. *Valores de X y Z para Suelos Cohesivos y no Cohesivos*

SUELOS COHESIVOS	
γ_s (Tn/m³)	x
0.80	0.52
0.83	0.51
0.86	0.50
0.88	0.49
0.90	0.48
0.93	0.47
0.96	0.46
0.98	0.45
1.00	0.44
1.04	0.43
1.08	0.42
1.12	0.41
1.16	0.40
1.20	0.39
1.24	0.38
1.28	0.37
1.34	0.36
1.40	0.35
1.46	0.34
1.52	0.33
1.58	0.32
1.64	0.31

SUELOS NO COHESIVOS	
dm (mm)	z
0.05	0.43
0.15	0.42
0.50	0.41
1.00	0.40
1.50	0.39
2.50	0.38
4.00	0.37
6.00	0.36
8.00	0.35
10.00	0.34
15.00	0.33
20.00	0.32
25.00	0.31
40.00	0.30
60.00	0.29
90.00	0.28
140.00	0.27
190.00	0.26
250.00	0.25
310.00	0.24
370.00	0.23
450.00	0.22

1.71	0.30
1.80	0.29
1.89	0.28
2.00	0.27

570.00	0.21
750.00	0.20
1000.00	0.19

5.13.4. Cálculo de socavación general por sectores (Método de Lischtvan – Levediev)

De acuerdo a los tipos de sedimentos se ha realizado el análisis de socavación general, en función de los tipos de sedimento a partir de estudios de mecánica de suelos con fines de cimentación de los estribos del puente.

Figura 96. *Informe geotécnico del sector de estudio*



UNITEST- UNIVERSAL TESTING
LABORATORIO GEOTÉCNICO AUTOMATIZADO
LABORATORIO AUTOMATIZADO DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

000109

PROYECTO: "CONSTRUCCION DE PUENTE; EN EL (LA) CAMINO VECINAL TRAMO CHOCCOYO - LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO APURIMAC".

INFORME GEOTÉCNICO

PROYECTO :
"CONSTRUCCION DE PUENTE; EN EL (LA) CAMINO VECINAL TRAMO CHOCCOYO - LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO APURIMAC".

UBICACIÓN : DEPARTAMENTO : APURIMAC
PROVINCIA : COTABAMBAS
DISTRITO : CHALLHUAHUACHO

SOLICITADO : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHALLHUAHUACHO.

DICIEMBRE, 2023

UNITEST S.A.C.

Cusco: Urb. Tito K-13- Calle Perú, Wanchaq - Cusco, Tlf.: (084) 242700, RPC: 987252150 RPM # 959646496, Cel. Claro: 984351780.
Quillabamba: General Gamarra N° 450, Quillabamba - Cusco. Abancay: Asc. Pro-Vivienda de los Trabajadores del MTC. Mza. "A", Lote 8.
www.unitestperu.com, atencionalcliente@unitestperu.com, ventas@unitestperu.com
1026-23

1

Figura 97. *Calicatas realizadas en el sector del puente propuesto*

CALICATA 01: Estribo Derecho

CALICATA	Coordenadas UTM		DESCRIPCION
	X	Y	
C-01 (E.D)	785188.00	8426893.00	Calicata para Capacidad Portante

- **Primer Estrato de 0.00 m. a -0.70 m.** Corresponde a un relleno natural conformado por gravas envueltas bajo una matriz arena limosa de coloración marrón negruzco, presencia de clastos de forma subredondeados a redondeados y raíces.
- **Segundo Estrato de -0.70 m. a –3.00 m.** Corresponde a un AFLORAMIENTO ROCOSO clasificado como una roca Ígnea – Plutónica, identificado como **ROCA TONALITA**, presencia de minerales como pirita, clorita y presenta alteración media.
- No se ha evidenciado nivel freático superficial.



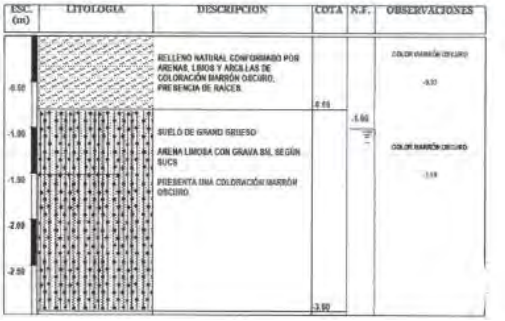


CALICATA 02: Estribo Izquierdo

CALICATA	Coordenadas UTM		DESCRIPCION
	X	Y	
C-02 (E.I)	785165.00	8426882.00	Calicata para Capacidad Portante

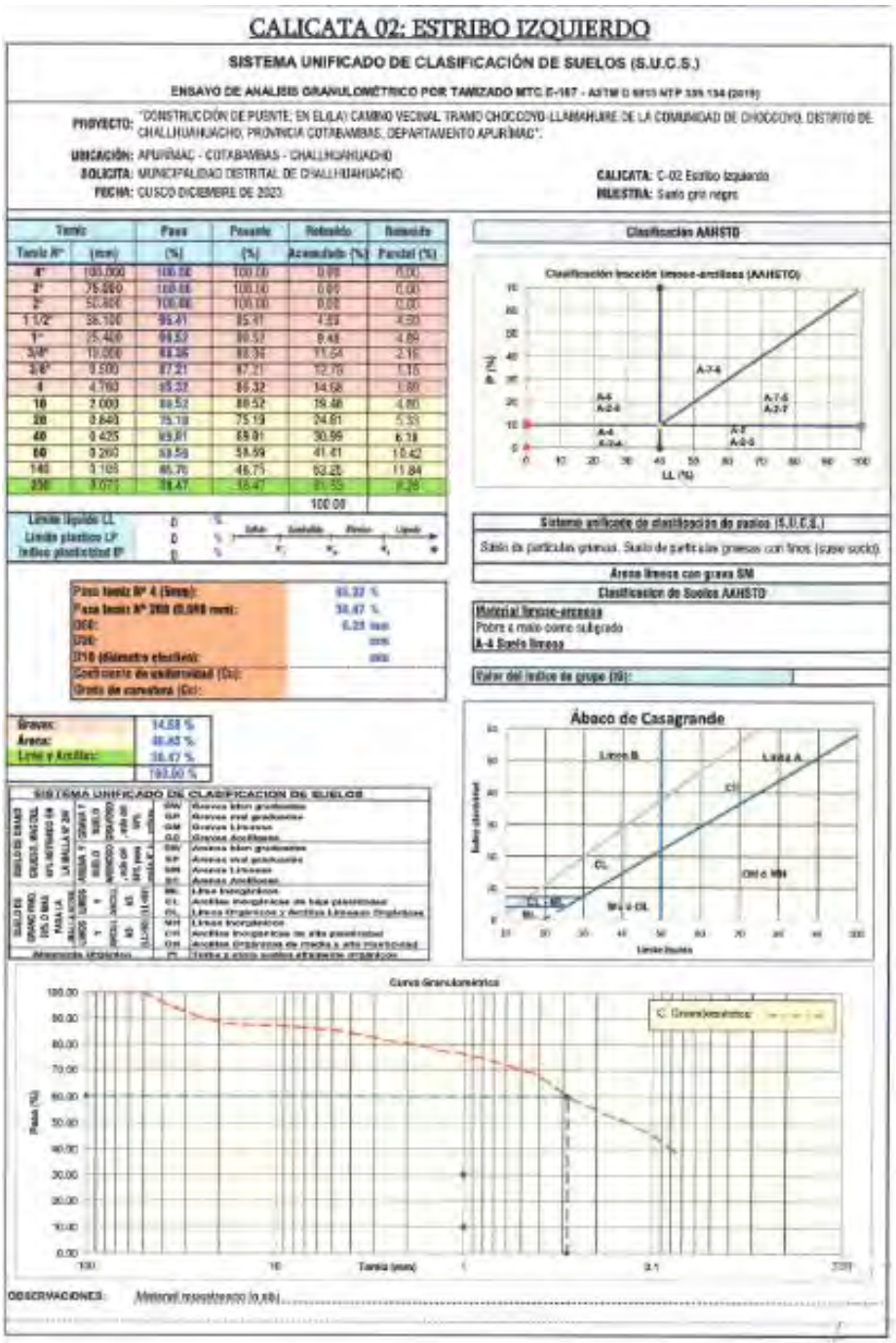
- **Primer Estrato de 0.00 m. a -0.80 m.** Corresponde a un relleno natural conformado por arenas, limos y arcillas de coloración marrón oscuro, presencia de raíces.
- **Segundo Estrato de -0.80 m. a –3.00 m.** Corresponde a un suelo de grano grueso, identificado como una **ARENA LIMOSA CON GRAVA SM**, según SUCS, que presenta una coloración marrón oscuro.
- Se ha evidenciado nivel freático superficial a -1.00 m.





De acuerdo a ello el suelo coluvial (erosivos) corresponde a SM y a continuación se detalla la curva granulométrica de la cual se extraerá el D50 para posteriores cálculos de socavación, cuyo valor de acuerdo al grafico de la curva es de 0.15mm.

Figura 98. *Resultados geotécnicos del suelo residual*



CALICATA 02: ESTRIBO IZQUIERDO

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)

ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E-107 - ASTM D 6913 NTP 339.134 (2019)

PROYECTO: "CONSTRUCCIÓN DE PUENTE, EN EL(LA) CAMINO VECINAL TRAMO CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO APURÍMAC".

UBICACIÓN: APURÍMAC - COTABAMBAS - CHALLHUAHUACHO

SOLICITA: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHALLHUAHUACHO

FECHA: CUSCO DICIEMBRE DE 2023

CALICATA: C-02 Estribo izquierdo

MUESTRA: Suelo gris negro

Tamiz		Peso	Pesante	Retenido	Retenido
Tamiz N°	(mm)	(%)	(%)	Acumulado (%)	Parcial (%)
4"	100.000	100.00	100.00	0.00	0.00
3"	75.000	100.00	100.00	0.00	0.00
2"	50.800	100.00	100.00	0.00	0.00
1 1/2"	38.100	95.41	85.91	4.59	4.59
1"	25.400	90.57	80.57	9.43	4.84
3/4"	19.000	88.36	88.36	11.64	2.16
3/8"	9.500	87.21	87.21	12.79	1.15
4	4.760	85.32	85.32	14.68	1.89
10	2.000	80.52	80.52	19.48	4.80
20	0.840	75.19	75.19	24.81	5.33
40	0.425	69.01	69.01	30.99	6.19
60	0.260	59.59	59.59	41.41	10.42
140	0.106	46.75	46.75	53.25	11.84
200	0.075	38.47	38.47	61.53	8.28
				100.00	

Límite líquido LL: 0 %

Límite plástico LP: 0 %

Índice plasticidad IP: 0 %

Clasificación AASHTO

Clasificación fracción limoso-arcillosa (AASHTO)

Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas gruesas. Suelo de partículas gruesas con finos (suave socio)

Arena limosa con grava SM

Clasificación de Suelos AASHTO

Material limoso-arenoso

Pobre a malo como subgrado

A-4 Suelo limoso

Valor del índice de grupo (IG):

Pasa tamiz N° 4 (5mm): 85.32 %

Pasa tamiz N° 200 (0.075 mm): 38.47 %

D60:

D30:

D10 (Diámetro efectivo):

Coeficiente de uniformidad (Cu):

Grado de curvatura (Cc):

Gravas:	14.68 %
Arena:	46.85 %
Limo y Arcillas:	38.47 %
	100.00 %

Ábaco de Casagrande

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUELOS GRUESOS (MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200)	GRAVAS (MAS DEL 50% DE LA FRACCION GRUESA RETENIDA EN LA MALLA N° 4)	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS O NADA DE FINOS)	GW	Gravas bien graduadas		
			GP	Gravas mal graduadas		
		GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	GM	Gravas Limosas		
			GC	Gravas Arcillosas		
	ARENAS (MAS DEL 50% DE LA FRACCION GRUESA PASA LA MALLA N° 4)	ARENAS LIMPIAS (CON POCOS O NADA DE FINOS)	SW	Arenas bien graduadas		
			SP	Arenas mal graduadas		
		ARENAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	SM	Arenas Limosas		
			SC	Arenas Arcillosas		
SUELOS FINOS (MAS DEL 50% PASA LA MALLA N° 200)	LIMOS Y ARCILLAS (LL MENOR DE 50)		ML	Limo inorgánicos		
			CL	Arcillas inorgánicas de baja plasticidad		
			OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas		
	LIMOS Y ARCILLAS (LL MAYOR DE 50)		MH	Limos Inorgánicos		
			CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad		
			OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad		
Materiales Orgánicos			Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos		

Curva Granulométrica

OBSERVACIONES: Material mantenerse lo más

5.13.5. Socavación general – Puente Choccoyo

Se ha realizado modelamiento hidráulico con HEC-RAS para los cauces donde se proyectará emplazamiento de un puente y defensa ribereña, de lo cual se ha determinado los siguientes datos que se muestra en la siguiente tabla N° 98, que son necesarios para determinar el tirante y la socavación.

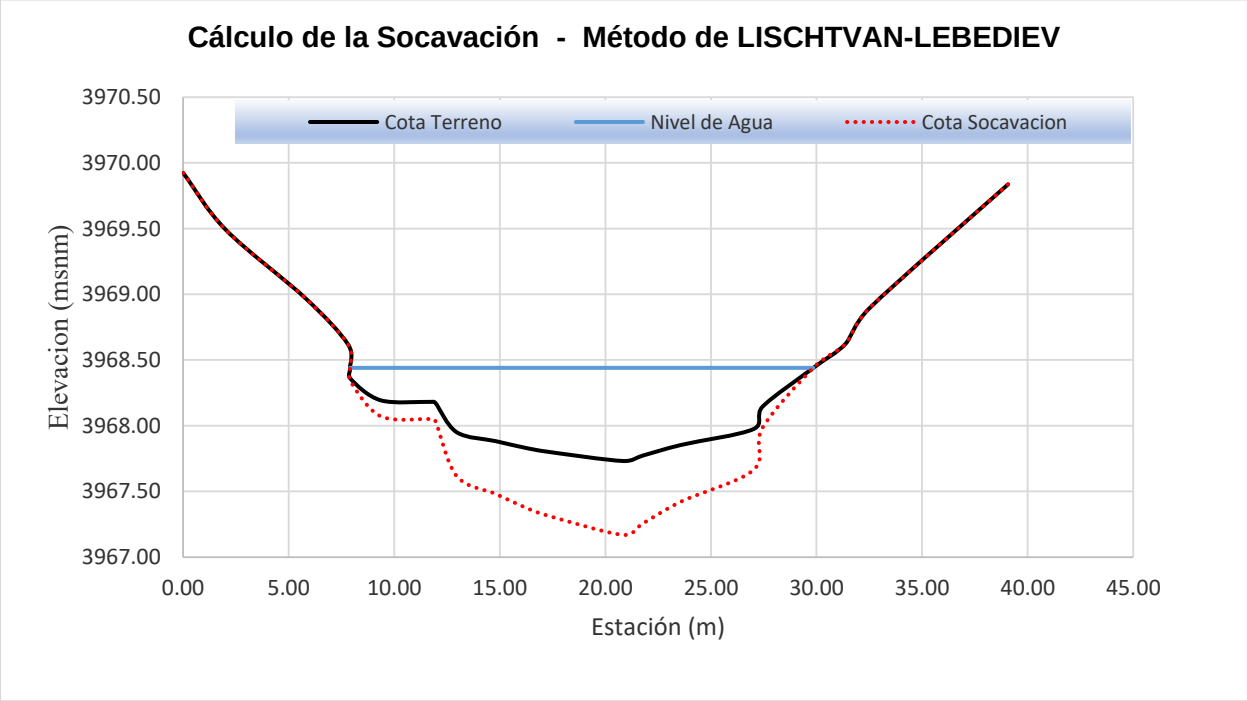
Con los datos hidráulicos y la formula presentada, se realiza cálculo de socavación general máxima.

Tabla 51. *Cálculo de socavación del sector de estudio*

Parámetros Hidráulicos	Valor
Sección Transversal	59.5
Q (m^3/s)	6.83
h (m)	0.71
B (m)	21.94
A (m2)	10.17
V (m/s)	0.65
Dm (mm)	0.1875
Luz (mínima para μ)	24
Tiempo de Retorno	500
Peso específico muestra de agua (Tn/m3)	1
μ	1
α	1.1
β	1.06
φ	1.00
z	0.42
Hs (m)	1.27
Prof. Socav. (ds) (m)	**0.56**

De acuerdo a los datos obtenidos se tiene 0.56m de socavación general de acuerdo a suelos granulares en este caso SM.

Figura 99. *Esquema grafico de socavación general*



5.13.6. Socavación por Contracción — Método de Straub/Laursen

Para evaluar la socavación por contracción se comparó el ancho de la sección de aproximación (B1 = 11.47 m) con el ancho de la sección bajo el puente (B2 = 21.94 m), aplicando la relación de tirantes:

$$\frac{h_s}{h_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{6/7} \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{k_1}$$

con k1 = 0.69 (transporte mayormente en suspensión, Laursen). Dado que **B2 resultó mayor que B1** (el puente no contrae el cauce natural, sino que lo amplía), la profundidad teórica de equilibrio calculada (Hs = 0.40 m) es menor que el tirante ya existente en la sección contraída (h2 = 0.66 m). En consecuencia, no se produce socavación adicional por efecto de contracción:

S_contracción = Hs − h2 = 0.00 m

Este resultado es coherente con la geometría de la sección: al no existir un estrechamiento efectivo del cauce por la implantación del puente, el mecanismo de contracción no genera degradación adicional del lecho.

5.13.7. Socavación en Estribos — Método de Artamonov

La socavación local en los estribos se evaluó mediante el método de Artamonov, que estima la profundidad de socavación en función del grado de obstrucción del flujo por el terraplén de acceso:

$$H_t = h_1 \cdot K_Q \cdot K_\theta \cdot K_m$$

donde h1 es el tirante en la zona no perturbada adyacente al estribo, KQ es el coeficiente que depende de la relación entre el caudal interceptado por el estribo y el caudal total (Qi/Qd), Kθ corrige por el ángulo de incidencia del flujo respecto al eje del terraplén, y Km corrige por la inclinación (talud) del estribo.

Estribo izquierdo: al no interceptar flujo significativo del cauce (Qi/Qd = 0.00), no genera obstrucción ni socavación local (hs = 0.00 m).

Estribo derecho: con una relación de caudal interceptado Qi/Qd = 0.293, ángulo de incidencia θ = 18° (Kθ = 0.84), talud del estribo m = 0.65 (Km = 0.892) y coeficiente KQ = 3.20 asociado a dicha relación de caudales, se obtiene:

$$H_t = 0.20 \times 3.20 \times 0.84 \times 0.892 = 0.48\, m$$

S_estribo (hs) = Ht − h1 = 0.48 − 0.20 = 0.28 m

5.13.8. Efecto del Esviaje del Cruce sobre la Socavación

El eje del puente Choccoyo forma un ángulo de aproximadamente 18° respecto a la dirección del flujo principal en condición de avenida, como consecuencia de la inflexión del cauce inmediatamente aguas arriba de la confluencia con el Tributario 02 (progresiva ~46 m). De acuerdo con HEC-18 (Richardson & Davis, 2001), para ángulos de esviaje entre 15° y 20°, el factor de corrección Ka aplicable a la velocidad de aproximación en el cálculo de socavación local del estribo varía entre 1.1 y 1.3. Aplicando un factor conservador Ka=1.2 a la profundidad de socavación total (**0.84 m**), se obtiene una profundidad de socavación corregida de aproximadamente 1.008 m, valor que debe emplearse para verificar la cota de desplante de la cimentación del estribo izquierdo (suelo SM), de menor margen de seguridad.

Capítulo VI

Geofísica

Este enfoque, inicialmente físico, implica analizar el comportamiento de la Tierra mediante la transmisión de ondas sonoras, ya sean naturales o provocadas. Además, se utiliza para realizar cálculos elásticos vinculados a características físicas que definen la dinámica del subsuelo.

6.1. Método Sísmico

6.1.1. Refracción sísmica

Este ensayo se fundamenta en la propagación de ondas sísmicas, conocidas como ondas P, que surgen a partir de rápidas deformaciones del suelo en la superficie (golpes de una comba en una placa de metal, uso de explosivos). Este fenómeno de deformación de la corteza produce frentes de onda que se desplazan por el subsuelo.

La onda o etapa sísmica P llega a los geófonos tras un periodo "ti" conocido como tiempo de arribo, que se basa principalmente en la distancia "di" que separa el punto de disparo y su trayectoria por el subsuelo hasta alcanzar el geófono. No obstante, este periodo se ve influenciado por las características de elasticidad y densidad del medio en el que se desplaza.

Es importante destacar que el método de refracción sísmica solo puede establecer niveles de velocidades ascendentes con las profundidades de estudio.

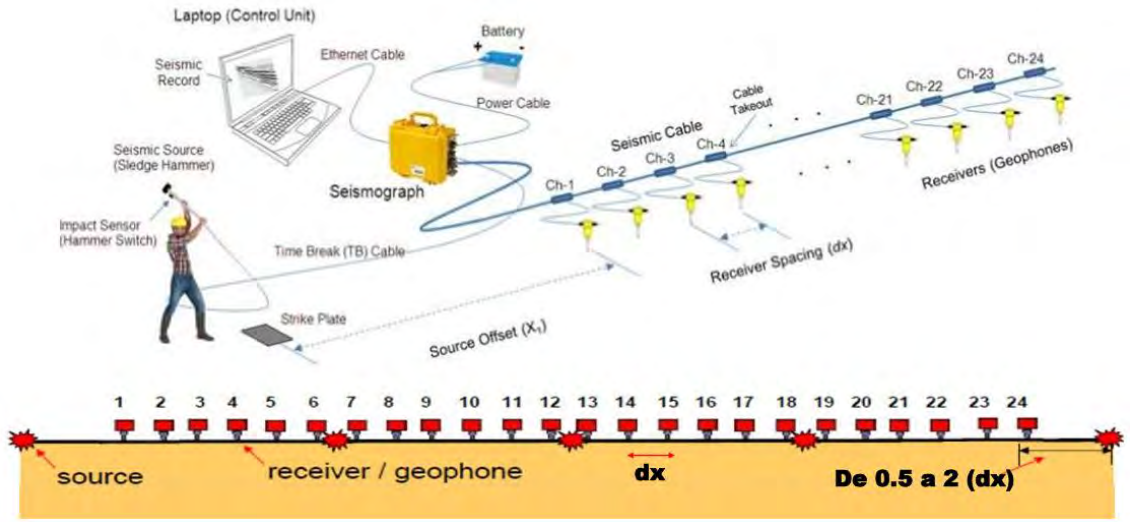
Una vez determinados los propósitos de la exploración sísmica y el sitio de levantamiento, en cada línea sísmica se establecen los intervalos de espaciamiento fuente - geófonos (de acuerdo con el arreglo de campo), con el objetivo de conseguir la máxima exactitud en los tiempos de arribo en cada geófono a partir de la señal sísmica, logrando así la profundidad necesaria en los objetivos.

Restricciones: En las pruebas de refracción sísmica, la velocidad cambia en función de la litología y, para la misma litología, fluctúa con la textura: a mayor modificación, disminuye la velocidad. Se asume que: V1, V2, V3,.....> Vn. Si algún nivel de velocidad es inferior al de la capa subyacente, no habrá refracción en su interacción y no será detectado. Las mejoras con los nuevos programas y la ampliación de los puntos de tiro aclaran de manera leve este hecho.

Los ensayos de terremotos pueden modificarse en sus valores registrados debido al impacto de un nivel de agua.

En inclinaciones superiores a 30°, el registro de las ondas puede ser modificado y, por lo tanto, proporcionar un resultado de baja fiabilidad.

Figura 100. *Esquema conceptual de Adquisición de Datos Sísmicos*



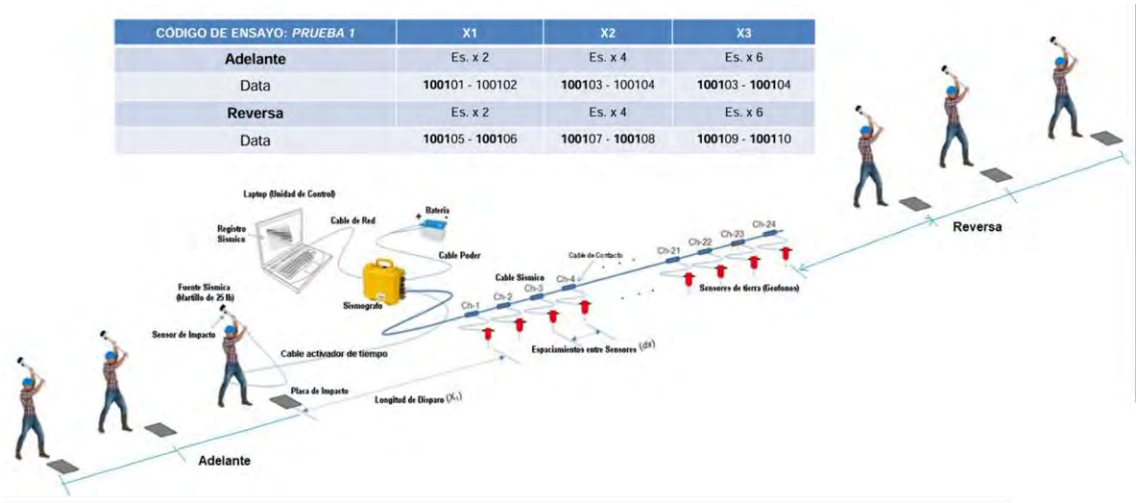
Fuente: *CentryClass-2024*

6.1.2. MASW (Análisis multicanal de Ondas Superficiales)

Las pruebas de medición de Ondas Superficiales en Arreglos Multicanal (MASW) implican la producción de ondas vibratorias en la superficie del suelo y el seguimiento de las ondas de corte (Ondas S) a distancias diversas, con las que se establecen las variaciones de velocidades durante los contactos.

El método MASW se basa en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh), producidas por una fuente de energía impulsiva en lugares ubicados a distancias establecidas a lo largo de un eje que se extiende sobre la superficie del suelo, consiguiendo así el perfil de velocidades de ondas de corte (Vs) para el punto central de tal línea. El procedimiento MASW posibilita la obtención de perfiles de ondas S con profundidades medias de 25 a 30 metros.

Figura 101. *Esquema conceptual de Adquisición de Datos Sísmicos - MASW*



Fuente: *CentryClass-2024*

6.2. Interpretación de los resultados sismicos obtenidos

6.2.1. Criterios de análisis

Las características dinámicas del material (velocidad de corte Vs, velocidad de compresión Vp, módulo de corte, coeficiente de Poisson y módulo de Young) se han determinado utilizando los valores de Vs y Vp mediante las ecuaciones que se detallan a continuación:

6.2.1.1. Densidad (gr/cm3)

En roca

$$\rho = 1.516 * 10^{-2} * \sqrt{V_p} + 1.597$$

En suelo

$$\rho = 1.516 * 10^{-2} * \sqrt{V_p} + 1.3$$

6.2.1.2. Onda de corte normalizada

$$V_{s1} = \left(\frac{pa}{\sigma'_{vo}}\right)^{0,25} .Vs$$

6.2.1.3. Coeficiente de poisson

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

6.2.1.4. Módulo de corte dinámico

$$G_d = \rho * V_s^2$$

6.2.1.5. Módulo de Young dinámico

$$E_d = 2G_d * (1 + v)$$

6.2.1.6. Módulo de compresibilidad dinámico

$$K_d = \frac{E_d}{3(1 - 2v)}$$

6.2.1.7. Módulo de Young estático

$$E_e = 0.97 * \left(\frac{E_d}{1300000}\right)^{0.141} * E_d$$

Dónde:

ρ = Densidad del suelo o roca

Vs = Velocidad de ondas de corte

Vs=velocidad de las ondas de compresión

v = Relación de Poisson

Pa= Presión atmosférica

Gd = Modulo de corte dinámico

σ'= Esfuerzo vertical efectivo

Vs1 = Velocidad de ondas de corte normalizada

La determinación de los criterios de análisis para la interpretación de este estudio se basó en la experiencia de investigaciones realizadas por varios autores y en los estándares nacionales de ingeniería geotécnica. Las Tablas 101 y 102 muestran las correlaciones de velocidad de las ondas P y S vinculadas a depósitos de roca y suelo, elaboradas por varios autores e instituciones.

Tabla 52. *Valores de Vp según Martinez, A. (1990)*

DESCRIPCIÓN	Vp (m/s)
Arena suelta sobre manto freático	245 – 610
Suelo blando	< 300
Arena suelta bajo el manto freático	45 - 1220
Arenas y gravas	300 – 1000
Arena suelta mezclada con grava	455 – 1065
Rocas blandas, grava y arena	1000 – 2000
Grava suelta, húmeda	455 – 915
Roca compacta	2000 – 4000
Roca muy compacta	> 4000

Fuente: Martínez, A. (1990). Mecánica de Suelos Geotecnia Tomo 1

Tabla 53. *Valores de Vp segun ASTM D5777 (1995)*

DESCRIPCIÓN	Vp (m/s)
Suelo intemperizado	204 - 610
Grava o arena seca	460 - 915
Arena saturada	1220 - 1830
Arcilla saturada	910 a 2750
Agua	1430 a 1665
Agua de mar	1460 a 1525
Arenisca	1830 a 3960
Esquisto, arcillas esquistosas	2750 a 4270
Tiza	1830 a 3960
Caliza	2134 a 6100
Granito	4575 a 5800
Roca metamórfica	3050 - 7000

Fuente: Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation1 – Pagina 5

Se ha estimado la velocidad media de las ondas de corte Vs30 conforme al Código Internacional de Construcción (IBC, 2012) y a la Norma E-030, con el objetivo de describir sísmicamente el tipo de terreno basándose en los perfiles unidimensionales de las ondas de corte y sus velocidades medias hasta los 30 m de profundidad (Vs30).

Según el código IBC 2012, se categorizan los terrenos en 6 categorías. Como se muestra en la Tabla 103, esta categorización se ha establecido basándose en la velocidad media de ondas de corte de un estrato de 30 m de profundidad, calculada según la siguiente relación:

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Donde:

di: Espesor de cada capa entre 0.00 m y 30.00 m

Vsi: Velocidad de ondas de corte de cada capa (m/s)

Tabla 54. *Clasificación del Sitio*

Tipo de Suelo	Nombre de suelo	Propiedades promedio en los 30 primeros metros		
		Velocidad de onda de corte, Vs (m/s)	Resistencia a la penetración estándar, N	Resistencia al corte no drenado Su (psf)
A	Roca muy dura	Vs > 1500	N/A	N/A
B	Roca	760 < Vs < 1500	N/A	N/A
C	Suelo muy denso o roca blanda	360 < Vs < 760	N > 50	Su ≥ 2000
D	Suelo rígido	180 < Vs < 360	15 ≤ N ≤ 50	1000 ≤ Su ≤ 2000
E	Suelo blando	Vs < 180	N < 15	Su ≤ 1000
F		Cualquier perfil de suelo de 3m de espesor que tenga las siguientes características: 1. Índice de plasticidad (IP) > 2. Contenido de humedad (w) ≥ 40% y 3. Resistencia al corte no drenada S u < 500 psf		
G		Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características 1. Suelos vulnerables a una posible fractura o colapso bajo efecto sísmico, por ejemplo: suelos licuables, arcillas altamente sensibles y suelos débilmente cementados. 2. Turbas y/o arcillas altamente orgánicas (H>3 m de turba y/o arcillas altamente orgánicas, donde H= espesor del suelo). 3. Arcillas de muy alta plasticidad (H>7.6 m con índice de plasticidad IP>75) 4. Arcillas gruesas suaves a medias (H>36m)		

Fuente: International Building Code, 2012

De acuerdo con la Norma E-030, Norma Técnica E-030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE", se categorizan los suelos en 5 categorías, tal como se muestra en la tabla 2 de dicha Norma. En este contexto, se identifica la región de estudio como Perfil Tipo S2. Este tipo se refiere a los suelos de rigidez media, con velocidades de propagación de onda de corte Vs que oscilan entre 180 m/s y 500 m/s, incluyendo aquellos casos donde

Arena gruesa, de gruesa a media, o grava arenosa de grosor medio, con valores del SPT N60 que oscilan entre 15 y 50.

Suelo compacto cohesivo, que presenta una resistencia al corte en condiciones de Su no drenada, que oscila entre 50 kPa (0,5 kg/cm2) y 100 kPa (1 kg/cm2), y que presenta un aumento progresivo de sus características mecánicas a medida que aumenta la profundidad.

Tabla 55. *Clasificación de los perfiles de suelo – E030*

PERFIL	TIPO DE SUELO	Velocidad de ondas de corte Vs30 (m/s)*	N_{60} SPT	Resistencia al corte en condición no drenada Su
S0 – A	Roca dura	Vs > 1500	-	-
S1 – B	Roca o suelo muy rígido	500 < Vs < 1500	>50	>100 kPa
S2 – C	Suelos intermedios	180 < Vs < 500	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3 – D	Suelos blandos	Vs < 180	<15	25 kPa a 50 kPa
S4 - E	Condiciones excepcionales	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: E030 2020

*Vs30(m/s) *; Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales*

N1; Numero de golpes corregidos, en el ensayo SPT*

6.3. Método eléctrico

El método de Resistividad Electrica, que ofrece mejores medidas cuantitativas de las características conductoras del subsuelo, es indiscutiblemente el más relevante de todos los procedimientos eléctricos en todas sus variantes. El 70% de las investigaciones llevadas a cabo para estudios de geología e hidrogeología emplean técnicas eléctricas.

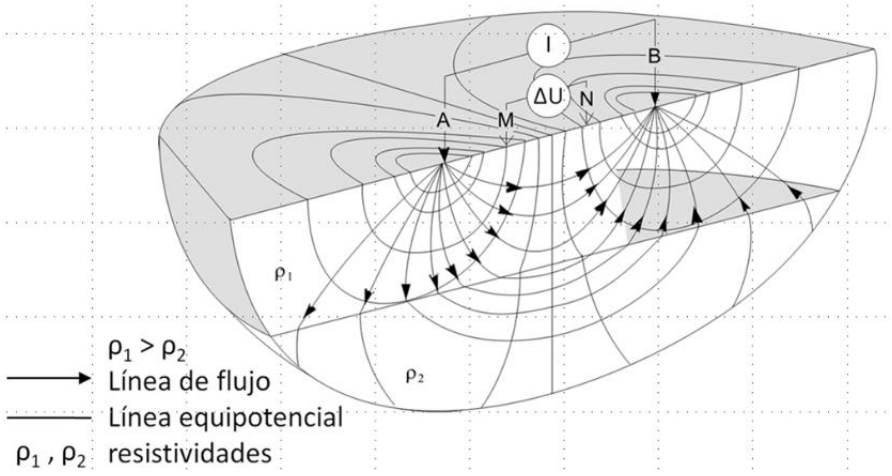
El propósito de este procedimiento consiste en adquirir modelos en 1D, 2D y 3D de las auténticas resistencias del subsuelo. Este modelo nos permitirá establecer si existen o no filtraciones de agua en profundidad, a través de la identificación de zonas donde observemos una reducción anómala del valor de la resistividad del suelo.

Para conseguirlo, será necesario implementar un programa de inversión que permita convertir las resistencias aparentes adquiridas durante la campaña de campo en valores de resistividad auténtica.

Los procedimientos de resistividad de corriente continua (DC) emplean fuentes de corriente artificiales para generar un campo eléctrico de potencial en el terreno. En la mayoría de los métodos de resistividad, se inyecta una corriente en el suelo mediante electrodos puntuales (electrodos de corriente A y B), mientras que el campo potencial se evalúa mediante otros dos electrodos (electrodos de potencial M y N), tal como se ilustra en la Figura número 7. El origen de la corriente puede ser de tipo continua o alterna de frecuencia baja (0,1 - 30 Hz). El propósito de producir y cuantificar el campo de potencial eléctrico es establecer la distribución de la resistividad espacial (o su mutua conductividad) en el terreno.

Dado que se conocen el potencial entre M y N, la corriente que circula por A y B, y la disposición del electrodo, es posible establecer la resistividad del suelo; esto se denomina "Resistividad Aparente".

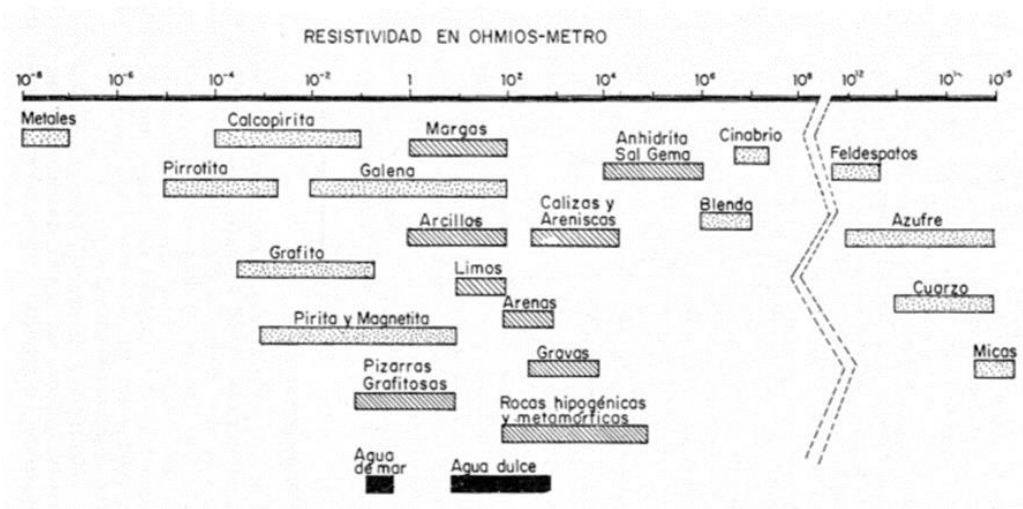
Figura 102. *Disposición Electródica para desarrollo de Método Eléctrico*



Fuente: *Knödel K., G. Lange, H.-J. Voight. Environmental Geology Handbook of Field Methods and Case Studies. (2007). Springer (UNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE) Germany. Pag. 205*

Por lo tanto, la resistencia de rocas y suelos está determinada por el tamaño de sus poros, la disposición y la resistencia del líquido que los umple. Esto es entendible ya que no se puede categorizar los suelos por su resistividad, dado que esta característica eléctrica está condicionada por la porosidad, fracturación, y la presencia de agua u otro líquido. A continuación, se muestran los valores de los materiales geológicos más habituales en términos de ohmómetro:

Figura 103. *Valores de resistividad más comunes en rocas y minerales*



Fuente: *Orellana E. 1972. Prospección geoeléctrica de corriente continua (2nd Edition). Editorial Paraninfo. Madrid. Pag 75.*

Es importante destacar que estos valores únicamente son indicativos, los distintos tipos de litologías difieren debido a sus características locales específicas (fracturas, contenido de arcilla, grado de alteración, etc.). Por lo tanto, las resistencias mostradas solo son una guía que puede ser interpretada de múltiples maneras, dado que las litologías no muestran una resistividad precisa y exacta.

6.3.1. Tomografía de resistividad eléctrica

También conocida como Imagen de Resistividad Eléctrica, es un método geofísico que permite capturar imágenes de las estructuras subterráneas del subsuelo mediante mediciones eléctricas realizadas en la superficie o mediante electrodos. La Figura 9 muestra una ilustración de una línea de tomografía eléctrica que ilustra la disposición.

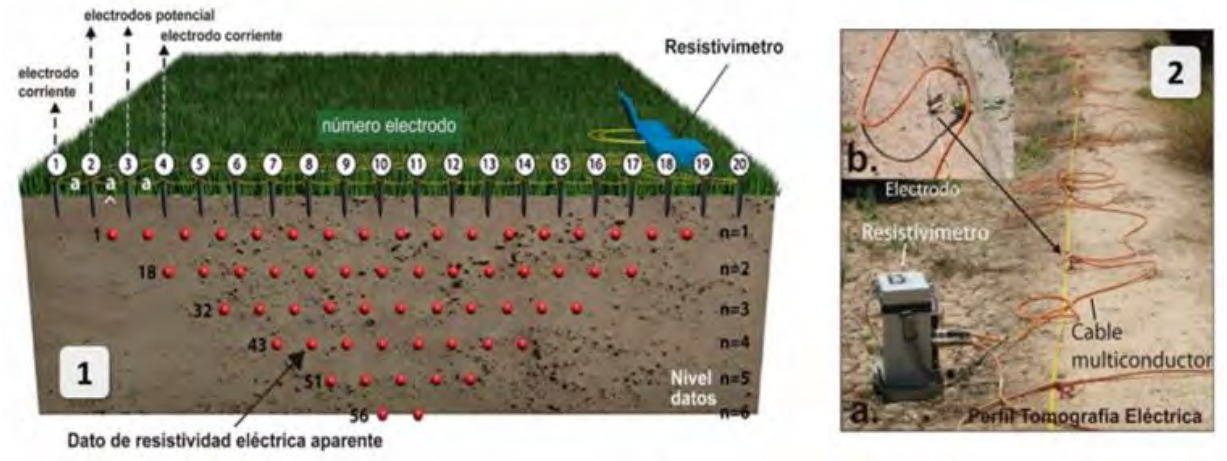
Un modelo preciso del subsuelo es un modelo en dos dimensiones (2D), que considera las variaciones de resistividad en el sentido vertical y horizontal, obtenidas a lo largo de la línea de estudio. En este escenario, se presupone que la resistividad no varía en el sentido que es perpendicular a la línea de estudio.

Hoy en día, las investigaciones efectuadas en 2D son las más prácticas y facilitan la obtención de resultados altamente exactos y más asequibles (Dahlin 1996).

Una investigación de resistividad en 1-D habitual (SEV – Sondeo Eléctrico Vertical) requiere alrededor de 10 a 20 mediciones, mientras que en investigaciones de 2D se consiguen alrededor de 100 a 1000 mediciones. El estudio a través de Tomografía Eléctrica se asemeja a un estudio de Refracción Sísmica. En diversas circunstancias geológicas, los estudios en 2D de imágenes eléctricas pueden proporcionar hallazgos valiosos que complementan la información adquirida por otros procedimientos geofísicos.

Por ejemplo, los procedimientos sísmicos pueden trazar mapas de interfaces onduladas, sin embargo, enfrentará problemas (sin emplear datos de técnicas de procesamiento avanzadas) al trazar mapas de cuerpos discretos como cantos rodados, cavidades, plumas de contaminación, agua subterránea, a diferencia de los procedimientos eléctricos.

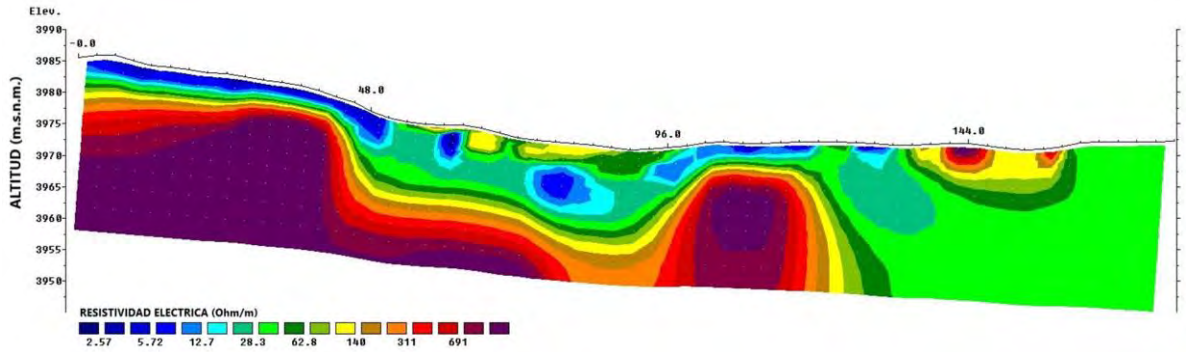
Figura 104. *Representación simplificada de la técnica de Tomografía Eléctrica*



Nota: *Diagrama esquemático que representa la posición espacial de los valores de resistividad eléctrica aparente en el subsuelo (modificado de Loke et al., 2013). 1) Perfil de tomografía eléctrica implantado sobre el suelo. 2) Detalle de un electrodo conectado mediante pinzas al cable multiconductor principal.*

Fuente: *P. Pérez Cutillas. La tomografía eléctrica como técnica de apoyo para la identificación y reconocimiento de meandros abandonados: caso de estudio de La Vega Media del Segura (Murcia). Departamento de Ingeniería Minera, Geológica y Cartográfica, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso. Universidad de Murcia, Campus de la Merced, s/n, 30001 Murcia.*

Figura 105. *Perfil Geoeléctrico 2D.*



Fuente: Elaboración propia.

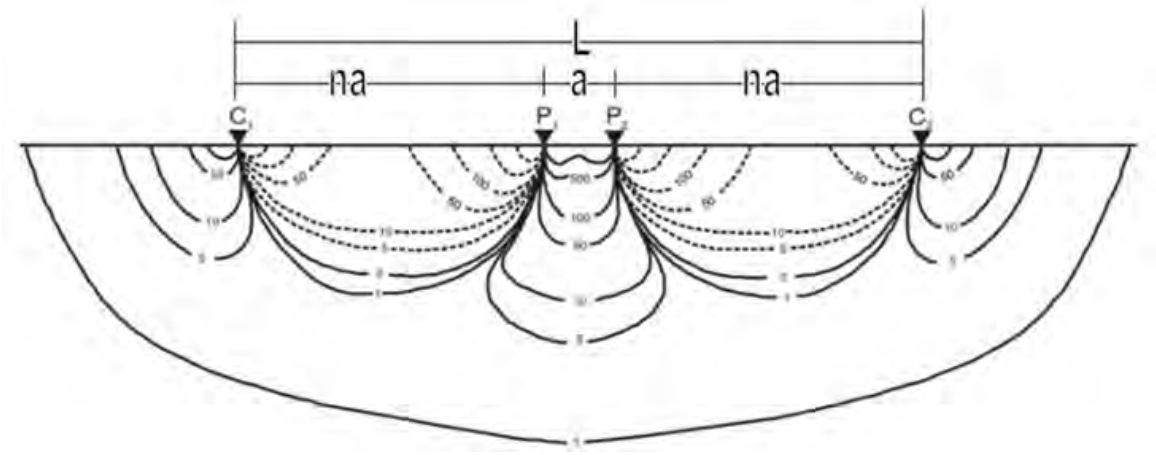
6.3.2. Dispositivos tetraelectrodicos lineales básicos

En cualquier aparato de medición que emplee cuatro electrodos auxiliares para suministrar electricidad al suelo, se le denomina el factor geométrico "g", la corriente eléctrica "I" que se inyecta por los electrodos "A" y "B", y la variación de potencial entre los electrodos "M" y "N", el dispositivo lineal empleado en el proyecto fue:

6.3.2.1. Dispositivo Wenner-schlumberger

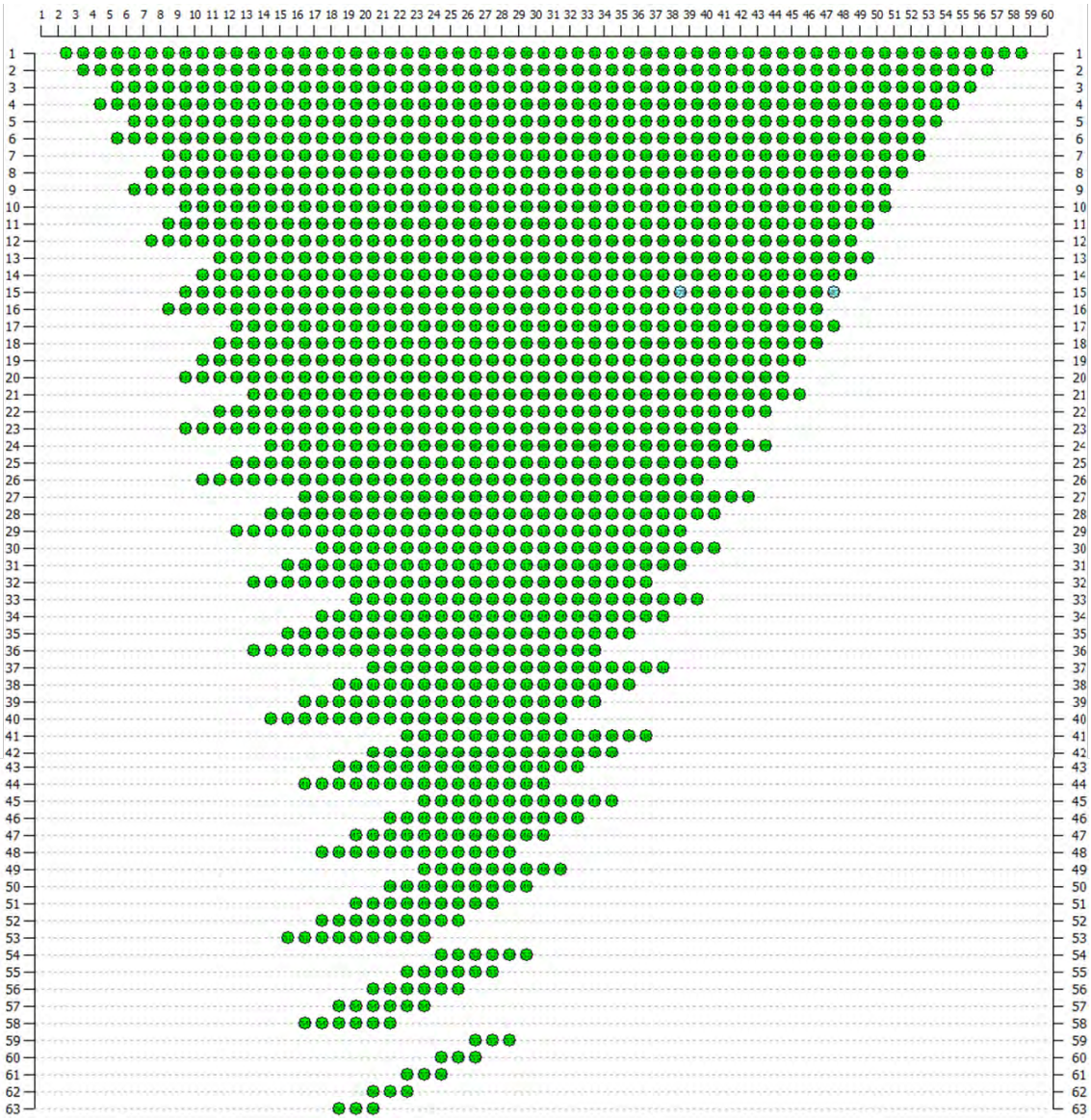
Este arreglo es una mezcla de los arreglos Wenner y Schlumberger (Pazdirek y Blaha, 1996), es decir, un arreglo híbrido. Este arreglo se conoce como híbrido debido al movimiento lateral que se aplica al arreglo Schlumberger. Los electrodos AMNB se sitúan de manera simétrica en línea, donde la distancia entre los electrodos de potencial MN es 0.0 100 50 0 X spacing (m) -25 -20 -15 -10 -5 0 Report point (Así pues, este arreglo tiene influencia tanto en estructuras verticales (alteraciones en la resistividad horizontal) como en estructuras horizontales (cambios en la resistividad vertical). La media de su profundidad de investigación supera en un 10% a la del arreglo Wenner. La intensidad de su señal supera la del arreglo Dipolo-Dipolo, aunque es inferior a la del arreglo Wenner (Loke, 2010).

Figura 106. *Disposición de los electrodos mediante el dispositivo Wenner-Schlumberger*



Fuente: Adaptado de Reynolds 2011.

Figura 107. *Diagrama de puntos de adquisición para el arreglo Wenner-Schlumberger Geomative Studio*



Fuente: Geomative Studio

Su ecuación para determinar la resistividad aparente es la siguiente:

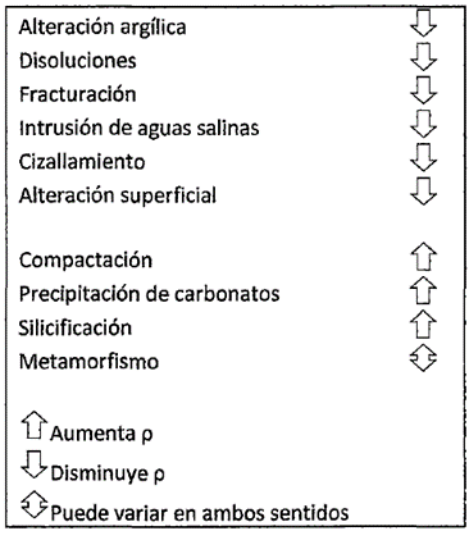
$$\rho_a = \pi n(n+1)a\frac{V}{I}$$

6.3.2.2. Conductividad / electrolitica

La mayor parte de los minerales que forman rocas son aislantes (como los silicatos, carbonates, etc.), y la conductividad eléctrica de las rocas no mineralizadas se basa principalmente en su porosidad y en la conductividad de fluidos que poseen más que en su estructura mineralógica. Existen diversos fenómenos geológicos que influyen en la porosidad de las piedras.

La Figura 13, presenta un vínculo entre procesos y sus impactos en la resistividad. Las partículas de arcilla atraen cationes, algunos de los cuales se unen a los iones existentes para facilitar la conductividad electrolítica. La modificación hidrotermal de feldespatos (kaolinita, montmorillonita) y rocas elementales (clorita, serpentina) puede influir de manera significativa en la resistencia de las rocas. Para materiales que no se han consolidado, la granulometría influye en la porosidad y en la resistividad.

Figura 108. *Influencia de ciertos procesos geológicos sobre la resistividad de las formaciones*



La conformación de las rocas tiene relevancia. La resistencia de cada tipo de material y estructura geológica cambia significativamente dependiendo de los factores mencionados previamente.

Para examinar el procedimiento eléctrico, se utiliza un sistema de electrodos vinculados a la tierra, generando una corriente continua. Al fluir la corriente, en este caso conocida como polarizante, se produce una diferencia de potencial entre los puntos de tierra de medición. Su magnitud se establece por la intensidad de la corriente, la disposición relativa de los puntos de tierra de alimentación y recepción, y por las propiedades del corte geoeléctrico. La variación de potencial se evalúa en todos los tipos de método de resistividad.

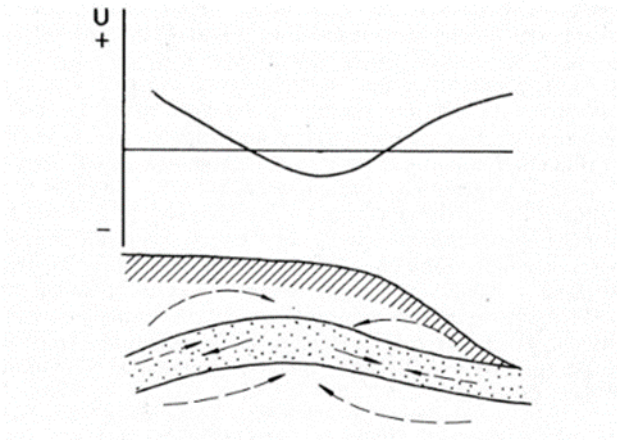
6.3.3. Potencial espontaneo

El Potencial Espontáneo (SP) es un procedimiento que se fundamenta en la evaluación del potencial eléctrico que se encuentra de forma natural entre dos ubicaciones del suelo.

- Electro–cinéticos que se producen cuando el agua circula a través de fracturas dentro de un reservorio (CUALITATIVO).
- Efectos electro–químicos
- Electro–térmicos

Así pues, es una investigación adicional para examinar e identificar áreas con corrientes de agua. A pesar de que de forma cualitativa se alinea con valores bajos de resistividades para confirmar la existencia de aguas subterráneas, su aplicación se limita a corrientes laminares de orellana y se ha verificado su eficacia en acuíferos detríticos no consolidados y fisurados.

Figura 109. *Producción de potenciales de electro filtración per descensum*



Fuente: Orellana E. 1972. Prospección geoeléctrica de corriente continua (2nd Edition). Editorial Paraninfo. Madrid. Pag 19 Nota: Flechas llenas: marcha del agua; flechas a trazos: líneas de la corriente eléctrica.

6.4. Equipo humano e instrumentos

6.4.1. Equipo para ensayos sísmicos – Refracción sísmica y masw

El equipo de prospección sísmica utilizado para el presente estudio contiene los siguientes elementos:

- Un (1) sismógrafo marca Dolang Geophysical, procedencia Italia, modelo DBS280E de 24 canales.
- Un (1) computador portátil con software para conexión y procesamiento de datos.
- Dos (2) cables de conexión para geófonos de 12 canales cada uno Máxima extensión de línea: 115 m.
- 24 geófonos de 4.5 Hz para MASW y 10 Hz para Refracción Sísmica
- Cable poder de 12v.
- Cable interface sismógrafo a computador portátil.
- Una placa de acero de 20 cm de diámetro.
- Una comba de 10 kilos.

Figura 110. *Sismógrafo Dolang Geophysical Italia DBS280E*



6.4.2. Equipo para ensayos eléctricos – tomografía eléctrica y potencial espontaneo

El equipo empleado es el modelo GEOMATIVE GD10 SUPREME, con una potencia de salida máxima de 7500w, lo que posibilita la eficiencia máxima en las lecturas. Su alcance puede llegar a 400 metros, dependiendo de la anisotropía y el impacto de la capa superficial.

Es una herramienta sencilla de manejar y efectiva para la interpretación precisa de los parámetros, ya que dispone de dos instrumentos digitales de vanguardia; por lo tanto, el perfil del terreno en análisis, muestra los resultados previstos.

Sus características generales son las siguientes:

Transmisor:

- Potencia máxima de Tx: 7200W
- Voltaje máximo de Tx: 1200V
- Corriente máxima de Tx: 6A
- Precisión actual: mejor que 0,3%
- Protección: IP65, sobrecorriente, sobretensión, cortocircuito
- Tipo de pulso: onda cuadrada

- Ancho de pulso: 1 s 、 2 s 、 4 s 、 8 s 、 16 s 、 32 s 、 64 s
- Impedancia de entrada: ≥200MΩ
- Voltaje de carga: 120 ~ 250VAC （50HZ / 60HZ）
- Pantalla de visualización: pantalla LCD a todo color de 5,7 pulgadas, 640 * 480
- Energía externa: DC24 ~ 60V
- Batería: batería incorporada de litio de 16,8 V / Compatible con batería externa de 24 V
- Puerto de E / S: USB, RS485Modo Recepción de voltaje digital, retorno en los terminales M–N.

Receptor:

- Iteración manual: 1 ~ 255 veces
- Iteración automática: 1-10 veces
- Rango de voltaje: ± 24 V
- Compensación de SP: ± 10V
- Rechazo de ruido: ≥120dB
- Promedio dinámico: conversión A / D de 24 bits
- Precisión: 0,3% ± 1uV
- Precisión: 0,1%

Otros:

- Peso: 8KG
- Tamaño: 39 cm * 20 cm * 29 cm
- Temperatura de almacenamiento: -20 ℃ ~ + 60 ℃
- Temperatura de trabajo: -10 ℃ ~ 50 ℃
- Humedad de funcionamiento: ≤95%
- Capacidad de memoria: 15 GB

Figura 111. *GEOMATIVE modelo GD10 SUPREME*



6.4.3. Equipo humano

Para realizar este trabajo geofísico, se contó con 4 asistentes campo, personal con amplia experiencia en el desarrollo de los ensayos con la finalidad de minimizar errores, así como el apoyo del supervisor de campo.

Figura 112. *Personal de campo para los ensayos geofísicos del trabajo de investigación*




12/8/2024 3:54 p. m.
76° E
Altitud:4041.5m
Velocidad:0.0km/h
CUI 2496752.


12/8/2024 2:55 p. m.
317° NW
Altitud:4031.8m
Velocidad:0.0km/h
CUI 2496752.



6.5. Adquisición de datos de refracción sísmica

Para la toma de datos de cada línea de Refracción Sísmica se considera los siguientes parámetros:

Tabla 56. *Parámetros de adquisición de Refracción Sísmica*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Mediciones	t, Tiempo de Arribo de P
Arreglo de geófonos	24 unidades de 14 Hz
Intervalo entre geófonos	5 m
Filtros	No se utilizó
Intervalo de muestreo	0.128 milisegundos
Fuente de Tiro	Percutor sísmico - Comba de 10 kilos
Formato de Grabación	.seg – .seg2

6.5.1. Análisis de registro y calificación de datos refracción

La evaluación de cada registro se realiza en todos los procedimientos sísmicos, primero en terreno y luego en el gabinete; usualmente se realiza antes de comenzar el procesamiento. Este procedimiento verifica y examina cada una de las señales recogidas en terreno, valorando cada registro y sus repeticiones con el objetivo de conseguir un registro de alta calidad para la identificación de las fases (P y S) de cada geófono. Esta valoración de datos implica corroborar digitalmente los datos recogidos en terreno, con el objetivo de identificar aquellos de baja calidad.

Tabla 57.*Ubicación de los ensayos de Refracción Sísmica*

COORDENADAS PROYECTADAS UTM – WGS84 – ZONA 18L		
ENSAYO	INICIO	FINAL
RS - 01	785182.97 E	785129.40 E
	8426941.96 N	8426844.30 N
RS - 02	785203.15 E	785157.71 E
	8426947.28 N	8426842.54 N

6.5.2. Procesamiento de datos de refracción sísmica

En la Refracción Sísmica, se establece la velocidad de fase Vp basándose en el momento de llegada de cada sensor. Para lograrlo, se utiliza el software denominado EASY REFRACT. Para el método de refracción sísmica, se establecen los tiempos de arribo (To) para cada geófono y cada disparo efectuado en la línea propuesta en campo. Con estos datos, se logran las curvas domocronicas con el fin de establecer un conjunto de pendientes, identificar un vector representativo y determinar la velocidad del estrato (Vp). Este procedimiento es dinámico para cada etapa ejecutada en este proyecto. Una vez establecida la sección analizada, se lleva a cabo un estudio cualitativo, relacionándolo con datos adquiridos de observaciones en terreno, calicatas, perforaciones y publicaciones de geología regional o local.

6.6. Adquisición de datos de MASW

Para la toma de datos de cada Punto MASW se considera los siguientes parámetros:

Tabla 58. *Parámetros de adquisición de MASW*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Mediciones	t, Tiempo de Arribo de S
Arreglo de geófonos	24 unidades de 4.5 Hz
Intervalo entre geófonos	5 m
Filtros	No se utilizó
Intervalo de muestreo	0.204 milisegundos
Fuente de Tiro	Percutor sísmico - Comba de 10 kilos
Formato de Grabación	. seg –. seg2

6.6.1. Análisis de registro y calificación de datos MASW

El análisis de cada registro se aplica en todos los métodos sísmicos, inicialmente en campo y posterior en gabinete; y generalmente es antes de iniciar el procesamiento.

En este proceso se verifica y analiza cada una de las señales obtenidas en campo, calificando cada uno de los registros y sus repeticiones a fin de obtener el registro de mejor calidad para la identificación de fases (S) de cada geófono.

Esta calificación de datos consiste en verificar digitalmente la información obtenida en campo (registro de trazas) con el fin de discriminar aquellas que muestren baja calidad.

Tabla 59. *Ubicación de los ensayos de MASW*

COORDENADAS PROYECTADAS UTM – WGS84 – ZONA 18L		
ENSAYO	**ESTE**	**NORTE**
MASW - 01	785165.12	8426889.17
MASW - 02	785183.83	8426892.69

6.6.2. Procesamiento de datos de MASW

Para MASW, se establece la velocidad de fase basándose en la frecuencia de la respuesta y su dispersión. Para lograrlo, se utiliza el software denominado EASY MASW.

En este proyecto, utilizando el método MASW y estableciendo los estratos de velocidades (Vs) de cada sección con sus respectivos espesores, se lleva a cabo un análisis cualitativo entre sí, vinculado con datos de observaciones de campo, calicatas, perforaciones y artículos de geología regional o local, en caso de ser necesario; con el objetivo de proporcionar un mejor entendimiento y denominación de cada estrato establecido.

6.7. Adquisición de datos de tomografía eléctrica

Para obtener información del perfil de Tomografía Eléctrica, se toman en cuenta los parámetros siguientes:

Tabla 60. *Parámetros de adquisición de Tomografía Eléctrica*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Longitud de Línea	177 metros
Longitud de Dipolo	3 metros
Arreglo Geométrico	Wernner-Schlumberger
Stacking	2P
Intervalo de muestreo	Pulso 2 seg.
Fuente de Poder	BP-450
Formato de Grabación	.dat

6.7.1. Parámetros de adquisición de Tomografía Eléctrica

La evaluación de cada registro se realiza en todos los procedimientos eléctricos, primero en campo y luego en gabinete; usualmente se realiza antes y durante la recolección de datos.

Este procedimiento verifica y examina cada una de las resistencias eléctricas adquiridas durante la fase de recolección en terreno, valorando cada uno de los registros según la intensidad de corriente recibida con el objetivo de conseguir el registro de mejor calidad en un arreglo tetraelectrodico.

Esta valoración de datos implica corroborar digitalmente los datos recogidos en campo (resistividad eléctrica) con el objetivo de identificar aquellas que exhiban una intensidad de corriente baja.

Tabla 61. *Ubicación del Ensayo de Tomografía Eléctrica*

COORDENADAS PROYECTADAS UTM – WGS84 – ZONA 18L		
ENSAYO	INICIO	FINAL
TE - 01	785082.61 E 8426888.93 N	785249.60 E 8426926.10 N

6.7.2. Procesamiento de datos de tomografía eléctrica

Las lecturas abarcan la emisión de corriente que realiza el Transmisor a través del cable eléctrico y los electrodos hacia el suelo.

La captación de potencial eléctrico y la anotación de valores mediante el receptor. Comunicación continua entre el encargado de transmitir, el encargado de recibir y el personal de soporte a través de radios portátiles.

El operador del Transmisor (Tx) llevará a cabo el envío de corriente a petición del operador del Receptor (Rx), siempre en colaboración con el personal de soporte responsable de los cables de corriente. Se notifica al personal de soporte que no toquen los cables durante el envío de energía, y junto a esta información se proporciona al operador de Rx el valor de la intensidad de corriente (mA).

Este valor se introduce en el Rx y se llevan a cabo las mediciones. En cada medida, se deben tener en cuenta los valores de resistividad y cargabilidad. Una vez registrado y guardado en el receptor, el operador de Rx señala al Operador de Tx para que interrumpa el flujo de corriente. Este, por su parte, comunicará al personal del cable de corriente que la corriente ha sido interrumpida y pueden continuar hacia el siguiente punto.

A continuación, se detallan los procedimientos efectuados para adquirir las secciones de Resistividad y los resultados obtenidos de los modelos de Inversión de datos.

6.7.2.1. Base de datos

Las cifras recolectadas en Campo se guardaron en la memoria del Receptor, donde se registraron la ubicación de cada línea, los electrodos de medición, los electrodos de emisión de corriente, los valores de la Intensidad de corriente emitida, el Voltaje primario, la cantidad de

repeticiones de intervalos de lectura, el tiempo de domino de las lecturas (2000 ms), y los valores de Resistividad aparente.

Con estos datos se inicia la producción de los primeros resultados en forma de pseudosecciones, mediante la cual se lleva a cabo un Control de calidad de los datos, examinando los errores de desviación estándar de los datos del potencial primario en cada dipolo, cuyos valores inferiores al 10% son aceptados para su procesamiento. Este archivo del equipo exportado lleva el formato.dat, no obstante, los equipos más actuales también exportan archivos como Bloc de Notas y Excel.

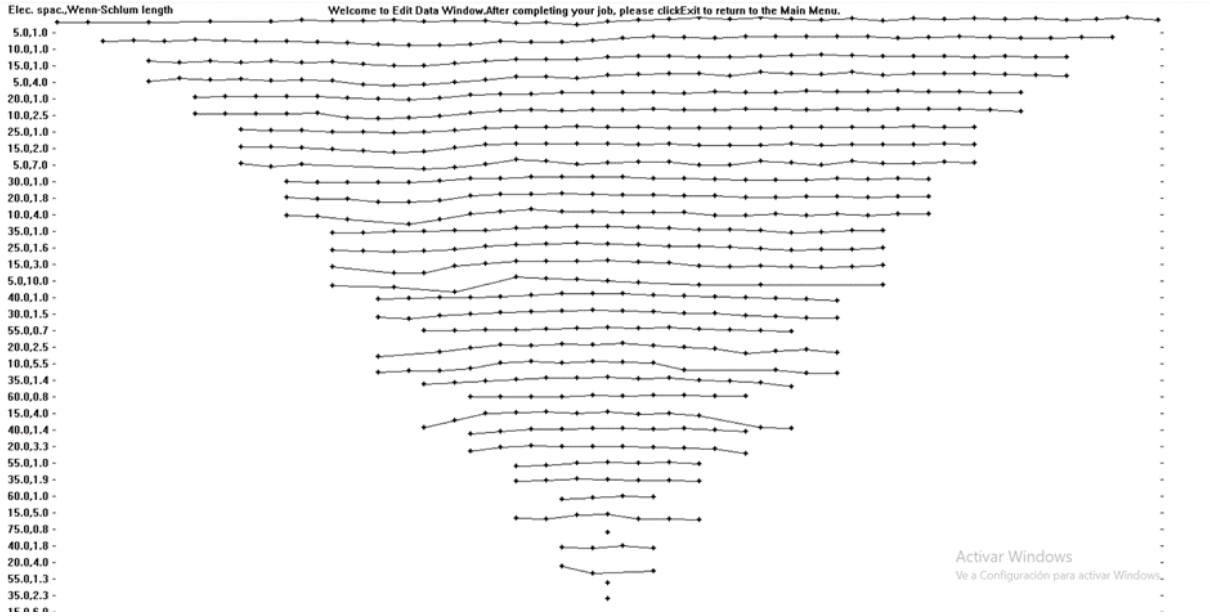
Figura 113. *Datos crudos obtenidos del equipo geofísico*

```
CHOCCOYO
3.00
7
679
1
0
124.50 3.00 7.00000 161.70
124.50 9.00 2.00000 52.02
124.50 15.00 1.00000 28.82
124.50 3.00 10.00000 314.01
124.50 9.00 3.00000 102.86
124.50 15.00 1.60000 59.47
124.50 21.00 1.00000 40.06
124.50 9.00 4.00000 171.00
124.50 21.00 1.42857 69.34
123.00 6.00 1.00000 150.22
123.00 6.00 2.50000 659.14
123.00 24.00 1.00000 32.30
123.00 12.00 3.25000 157.33
123.00 24.00 1.37500 74.51
123.00 36.00 0.75000 44.89
123.00 12.00 4.00000 33.67
123.00 24.00 1.75000 110.01
123.00 36.00 1.00000 68.56
121.50 3.00 7.00000 159.13
121.50 9.00 2.00000 51.25
121.50 15.00 1.00000 28.45
121.50 3.00 10.00000 314.51
121.50 9.00 3.00000 103.13
121.50 15.00 1.60000 59.55
121.50 21.00 1.00000 40.11
121.50 9.00 4.00000 170.99
120.00 12.00 1.75000 54.71
120.00 18.00 1.00000 34.32
120.00 6.00 5.50000 203.69
```

6.7.2.2. Revisión de datos

En esta fase se verifican los datos y se prescinden de valores incongruentes o ruidos producidos por elementos externos como conexiones incorrectas o fallos en los valores de Intensidad. Se verifican los valores de variaciones de potencial superiores a 0.1 mV, los valores que se encuentren por debajo de esta variación son indicadores incorrectos o falsos (no reflejan un valor ideal del terreno).

Figura 114. *Control de calidad y exterminación de datos – Tomografía Eléctrica 1*

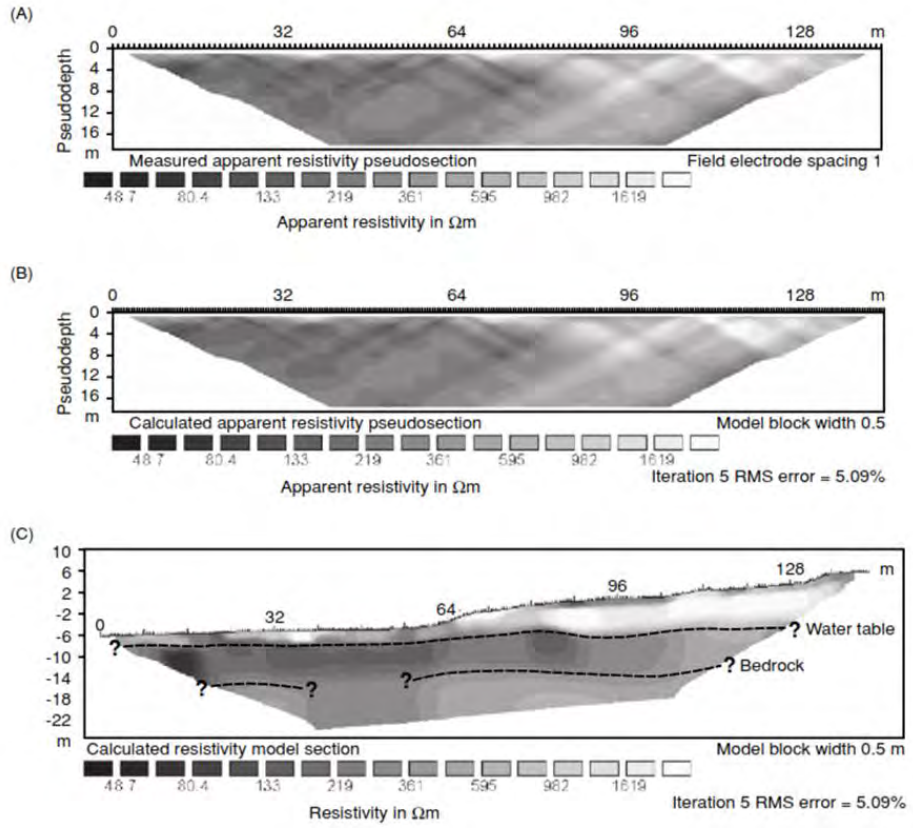


6.7.2.3. Procesos de inversión

El formato específico para el proceso de inversión será exportado a una base de datos previamente validada y utilizada para la creación de pseudo secciones.

El procedimiento de inversión se fundamenta en el teorema de inversión, estableciendo modelos directos de solución para los datos. A partir de estos modelos, realiza una resolución a través de medidas indirectas. El proceso buscará un modelo que se adecue a los valores, logrando así una solución más exacta para las anomalías.

Figura 115. *Etapas del proceso de inversión*



Nota: Ejemplo de pseudosecciones que muestran (A) datos de resistividad aparente sin procesar y (B) valores de resistividad aparente calculados, para (C) la sección del modelo derivado de resistividad-profundidad verdadera.

Fuente: *Reynolds, J. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. (2nd Edition). John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO198SQ, UK. Pag 321.*

6.8. Interpretación de ensayos

La siguiente etapa del estudio geofísico consistió en la interpretación de los resultados obtenidos luego del procesamiento de los ensayos realizados, lo cual permitió definir las velocidades de las ondas P y S (Vp - Vs) de cada sección con sus respectivas potencias.

Asimismo, con la información obtenida (Vp, Vs, i y posible nomenclatura) y asumiendo una densidad promedio de una tabla teórica, se calcula los parámetros dinámicos de cada perfil interpretado: G0: Módulo de deformación al corte; Ed: Módulo edométrico; M0: Módulo de compresibilidad volumétrica; Ey: Módulo de Young.

Los ensayos de Refracción Sísmica tienen las siguientes coordenadas proyectadas:

Tabla 62. *Coordenadas proyectadas Ensayos de Refracción Sísmica*

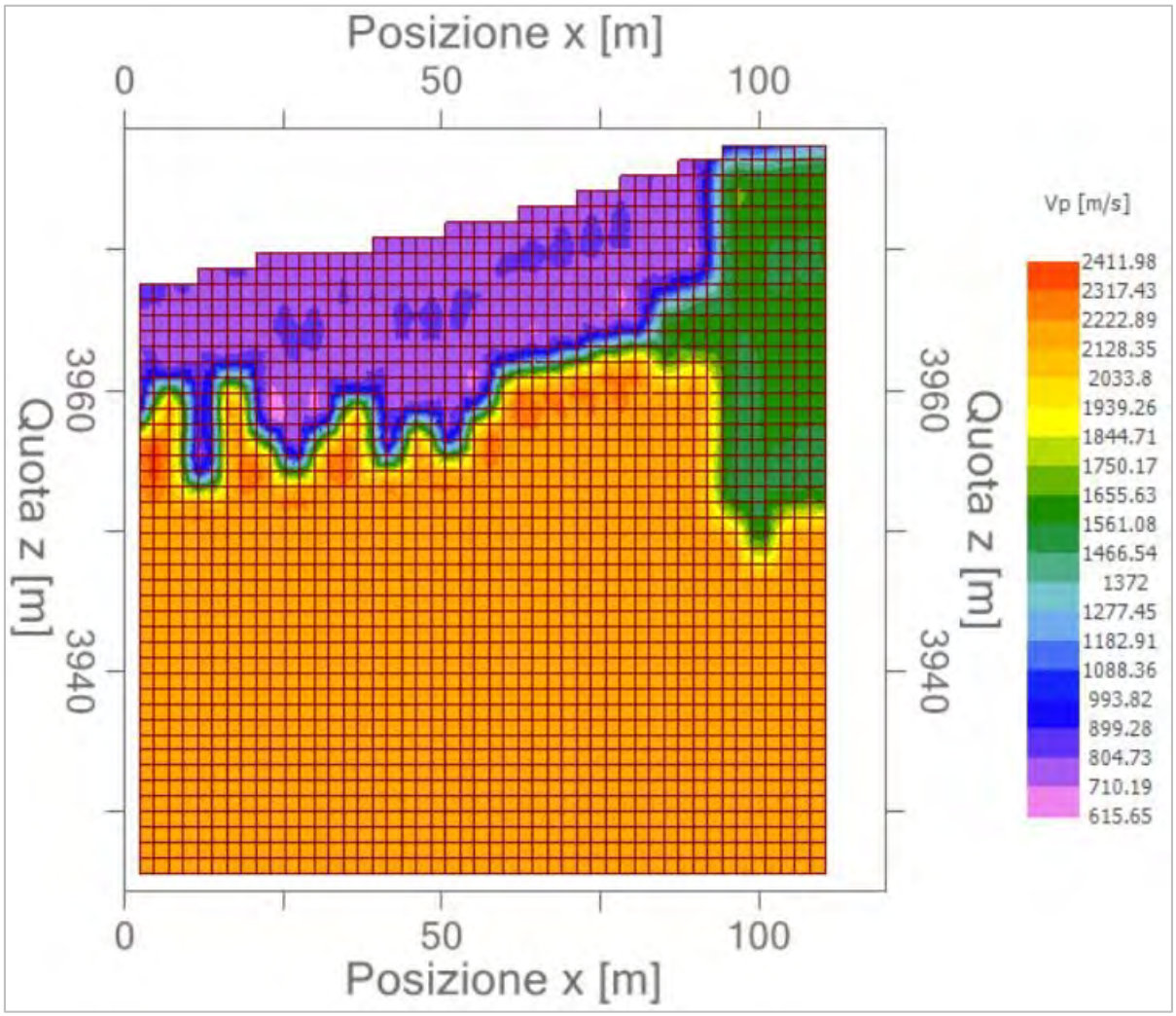
COORDENADAS PROYECTADAS UTM – WGS84 – ZONA 18L		
ENSAYO	INICIO	FINAL
RS - 01	785182.97 E 8426941.96 N	785129.40 E 8426844.30 N
RS - 02	785203.15 E 8426947.28 N	785157.71 E 8426842.54 N

A continuación, se describen los ensayos realizados para el puente:

6.8.1. Refracción sísmica 01

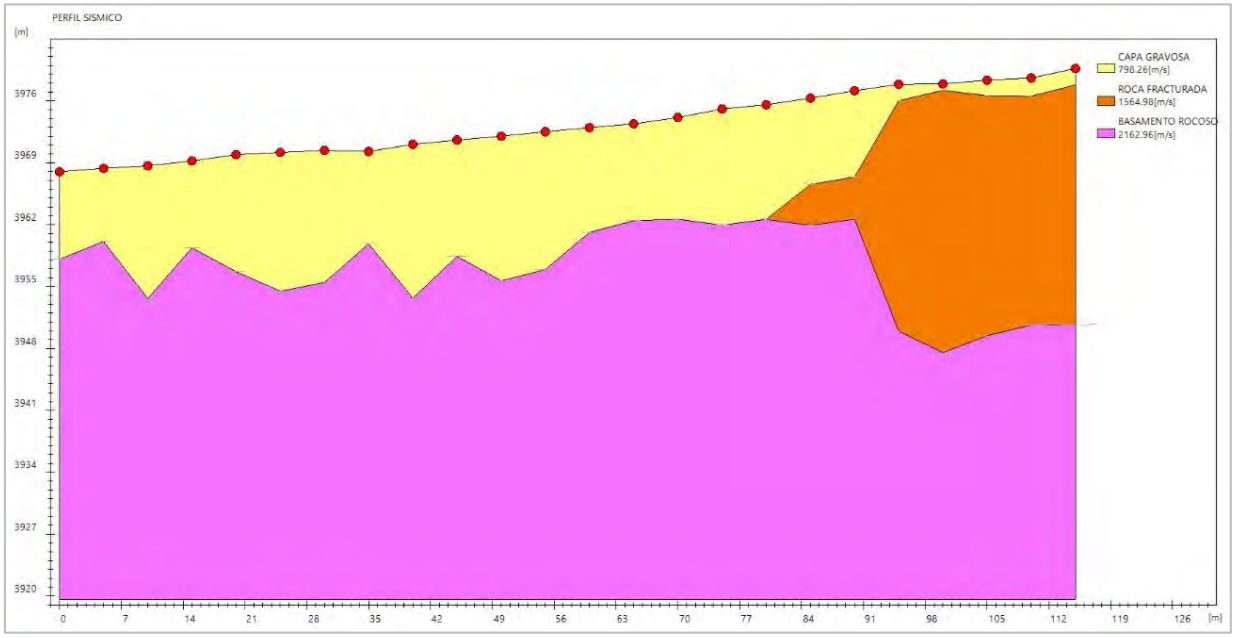
Esta línea tiene una longitud de 115 metros, propuesta a la margen izquierda del rio; la siguiente imagen es un modelo 2D de Velocidades Vp (m/s).

Figura 116. *Modelo 2D – Velocidad – Perfil Izquierdo*



En función a este modelo de Velocidades, se realiza un modelo 2D del Comportamiento Morfológico de Refractores y se infieres 3 capas, respecto a las velocidades Vp.

Figura 117. *Modelo 2D – Comportamiento Morfológico de Refractores*



A continuación, se muestra la Tabla de Parámetros Elásticos de cada estrato:

Tabla 63. *Parámetros Elásticos Refracción 01*

	Estrato n. 1	Estrato n. 2	Estrato n. 3
Coeficiente Poisson	0.35	0.35	0.35
Densidad [kg/m³]	1815.42	2063.13	2193.96
Vp [m/s]	798.26	1564.98	2162.96
Vs [m/s]	384.45	751.79	1039.05
G0 [MPa]	266.05	1017.34	1943.34
Ed [Mpa]	1146.99	4408.47	8421.14
M0 [MPa]	880.94	3391.13	6477.80
Ey [Mpa]	717.79	2746.81	5247.02

Donde:

G0: Módulo de deformación al corte.

Ed: Módulo edométrico.

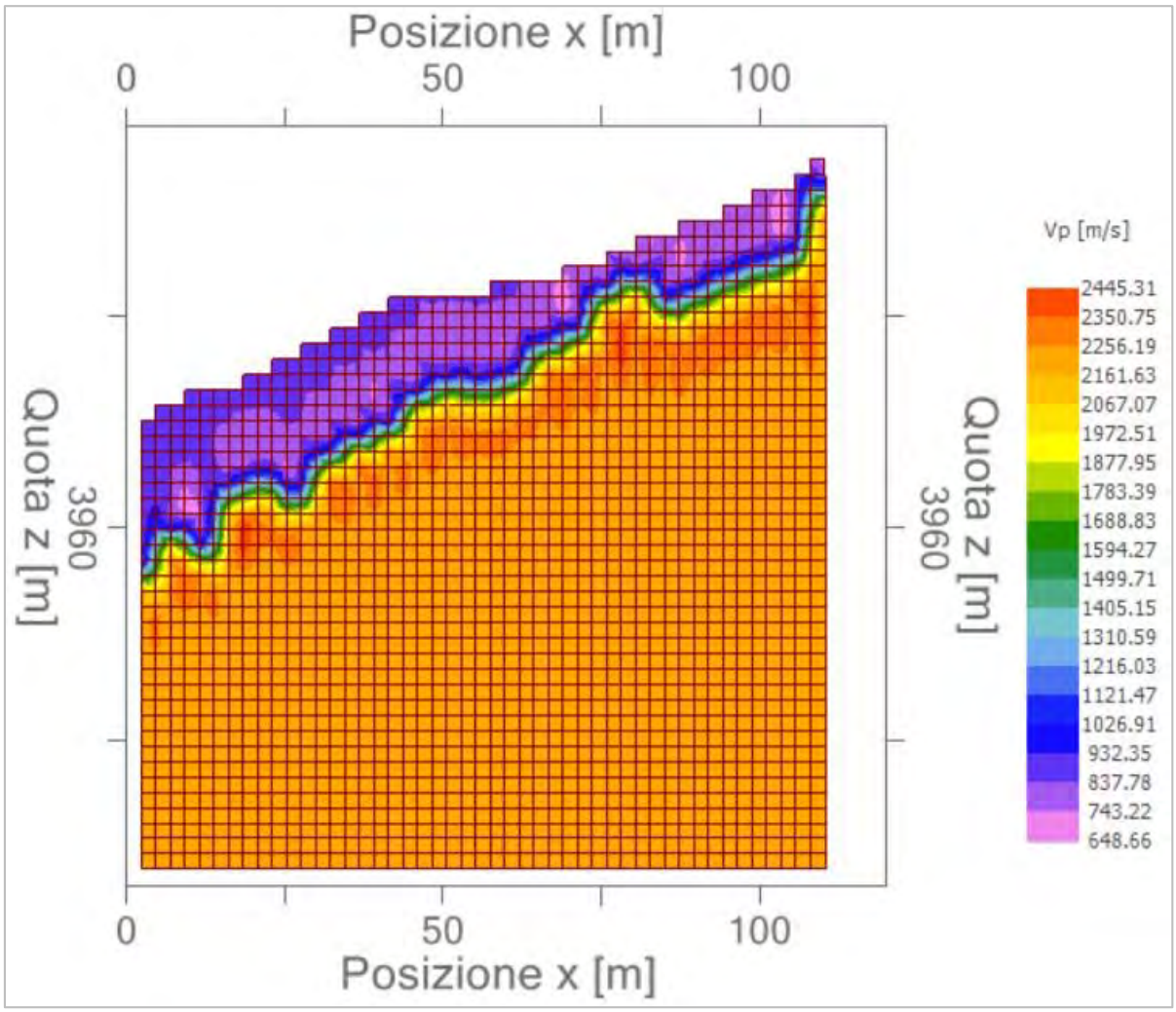
M0: Módulo de compresibilidad volumétrica.

Ey: Módulo de Young.

6.8.2. Refracción sísmica 02

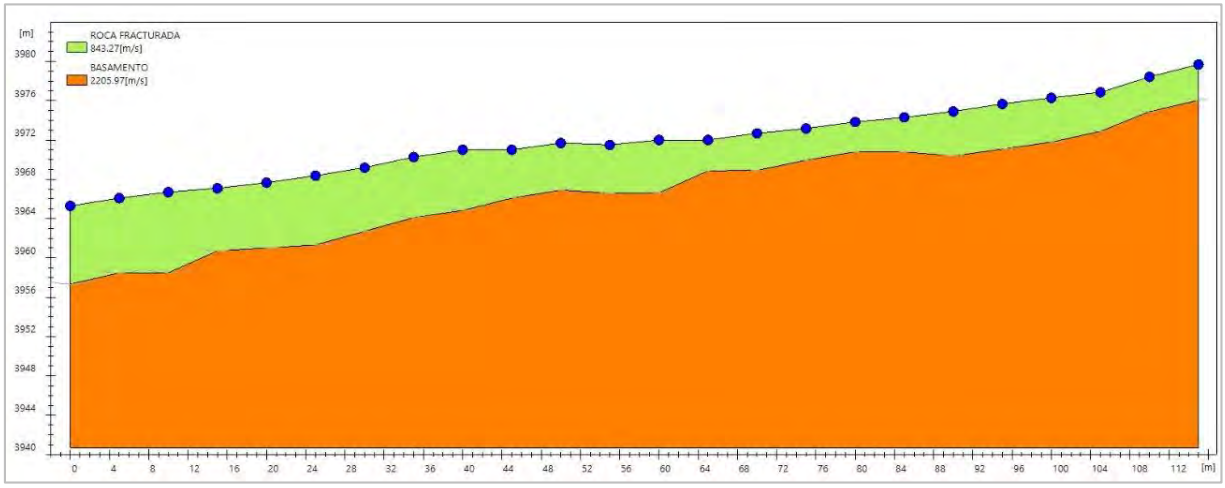
Esta línea tiene una longitud de 115 metros, propuesta a la margen derecha del rio; la siguiente imagen es un modelo 2D de Velocidades Vp (m/s).

Figura 118. *Modelo 2D – Velocidad – Perfil Derecho*



En función a este modelo de Velocidades, se realiza un modelo 2D del Comportamiento Morfológico de Refractores y se infieres 2 capas, respecto a las velocidades Vp.

Figura 119. *Modelo 2D – Comportamiento Morfológico de Refractores*



A continuación, se muestra la tabla de parámetros elásticos de cada estrato:

Tabla 64. *Parámetros Elásticos Refracción 02*

	Estrato n. 1	**Estrato n. 2**
Coeficiente Poisson	0.35	0.35
Densidad [kg/m³]	1834.44	2202.19
Vp [m/s]	843.27	2205.97
Vs [m/s]	405.09	1059.71
G0 [MPa]	295.38	2021.39
Ed [Mpa]	1279.98	8759.36
M0 [MPa]	984.60	6737.97
Ey [Mpa]	797.52	5457.75

Donde:

G0: Módulo de deformación al corte.

Ed: Módulo edométrico.

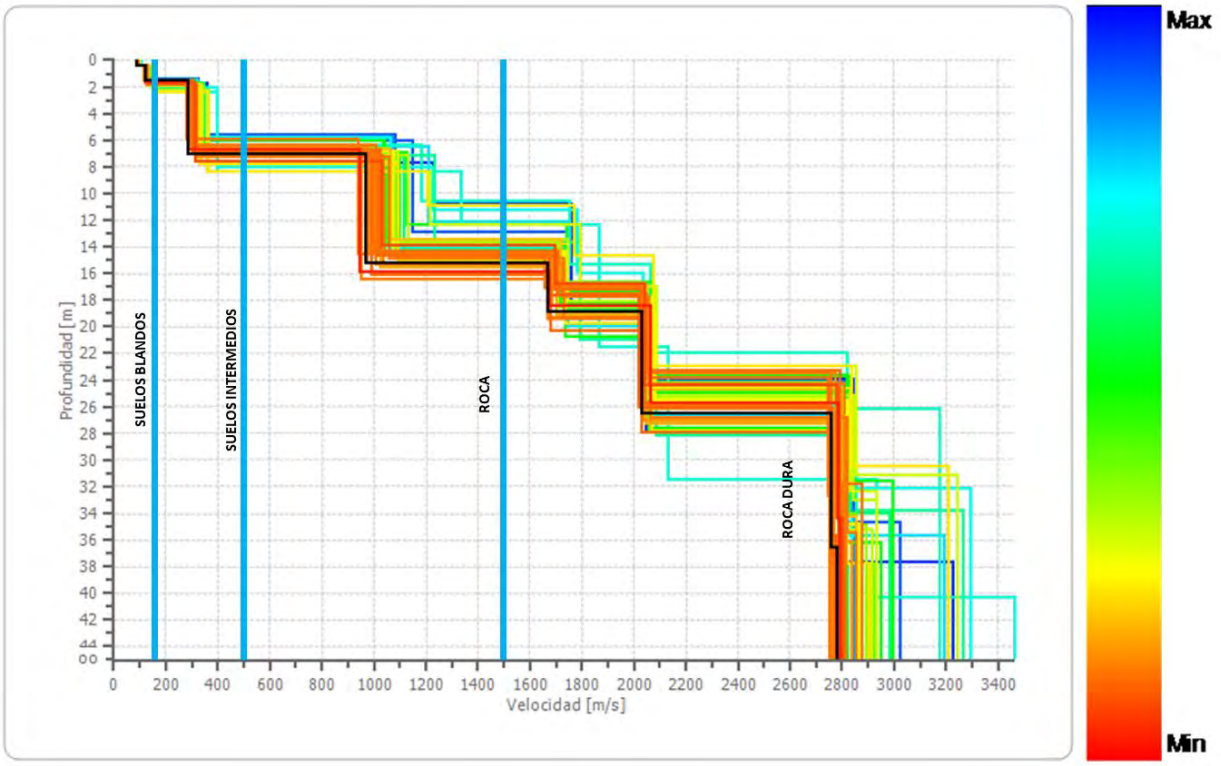
M0: Módulo de compresibilidad volumétrica.

Ey: Módulo de Young.

6.8.3. Interpretación de ensayo de MASW 01-1D

La ilustración siguiente representa la investigación realizada en la parte izquierda del río (lugar donde se situará el estribo izquierdo del puente), en la que se muestra la relación entre potencia y velocidad.

Figura 120. *Perfil Unidimensional – Estribo Izquierdo*



En el perfil sísmico MASW 01, se determinó la presencia de velocidades Vs de 100 m/s a 180 m/s, el cual corresponde a un material de suelos Blandos “D” hasta 1.54 metros aproximadamente, velocidades de 180 m/s a 500 m/s suelos Intermedios “C” de 1.54 a 15.28 metros de profundidad aproximadamente, velocidades de 500 m/s a 1500 m/s Roca “B” de 15.28 a 18.88 metros de profundidad aproximadamente y velocidades superiores a 1500 m/s Roca Dura “A” de 18.88 metros hasta 30 metros de profundidad.

Ver resumen en la siguiente tabla:

Tabla 65. *Módulos de deformación del terreno, para el Modelo de Inversión MASW 01*

ENSAYO	ESTRATO	POTENCIA (m.)	Velocidad Vs (m/s)	Tipo de Suelo	Descripción
MASW 01 IZQUIERDA	1	0 – 1.54	<180	S3	Suelo Blando
	2	1.54 – 15.28	180 – 500	S2	Suelo Intermedio
	3	15.28 – 18.88	500 – 1500	S1	Roca
	4	18.88 – 36.55	>1500	S0	Roca dura

En la siguiente tabla se muestran los módulos de deformación del terreno del ensayo MASW 01:

Tabla 66. *Módulos de deformación del terreno, para el Modelo de Inversión MASW 01*

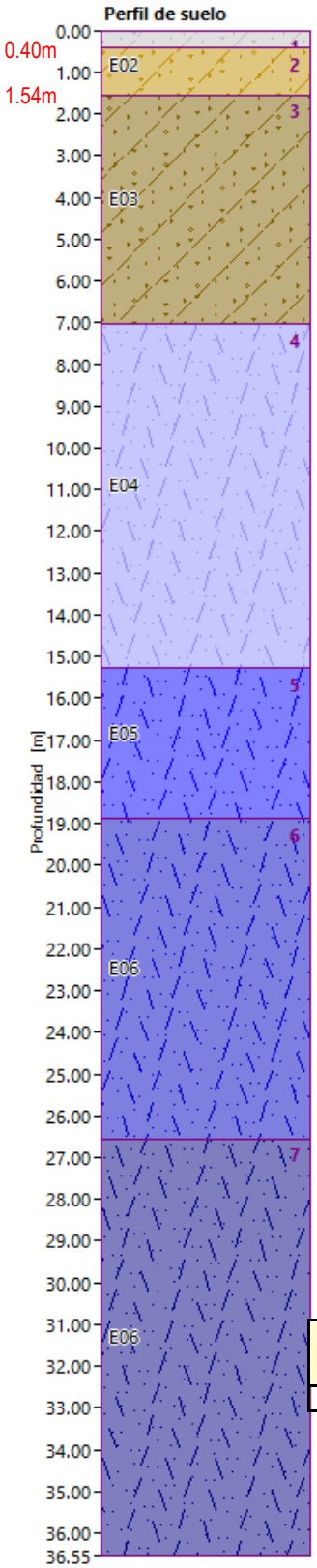
n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	0.40	0.40	87.90	164.44	1800.00	0.30	13.91	48.67	30.13	36.16	26	12.21
2	1.54	1.14	121.32	226.97	1800.00	0.30	26.49	92.72	57.40	68.88	2	61.68
3	7.04	5.50	283.80	530.95	1800.00	0.30	144.98	507.43	314.12	376.95	>50	>100
4	15.28	8.24	969.33	1813.45	1800.00	0.30	1691.29	5919.51	3664.46	4397.35	>50	>100
5	18.88	3.61	1669.44	3123.24	1800.00	0.30	5016.65	17558.29	10869.42	13043.30	>50	>100
6	26.55	7.66	2032.65	3802.75	1800.00	0.30	7437.03	26029.62	16113.58	19336.29	>50	>100
7	36.55	10.00	2756.75	5157.41	1800.00	0.30	13679.44	47878.04	29638.79	35566.54	>50	>100

Donde:

- **G0:** Módulo de deformación al corte.
- **Ed:** Módulo edométrico.
- **M0:** Módulo de compresibilidad volumétrica.
- **Ey:** Módulo de Young.

Las ondas de corte en los primeros 30 metros Vs (30) presenta un valor de 583.81 m/s correspondiente a Suelo de tipo B: Roca o suelo muy rígido.

Figura 121. *Columna estratigráfica y parámetros elásticos MASW 01*



n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GD [MPa]	Ed [MPa]	MD [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
2	1.54	1.14	121.32	226.97	1800	0.3	26.49	92.72	57.4	68.88	2	61.68

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GD [MPa]	Ed [MPa]	MD [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
3	7.04	5.5	283.8	530.95	1800	0.3	144.98	507.43	314.12	376.95	>50	>100

7.04m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GD [MPa]	Ed [MPa]	MD [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
4	15.28	8.24	969.33	1813.45	1800	0.3	1691.29	5919.51	3664.46	4397.35	>50	>100

15.28m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GD [MPa]	Ed [MPa]	MD [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
5	18.88	3.61	1669.44	3123.24	1800	0.3	5016.65	17558.29	10869.42	13043.3	>50	>100

18.88m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GD [MPa]	Ed [MPa]	MD [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
6	26.55	7.66	2032.65	3802.75	1800	0.3	7437.03	26029.62	16113.58	19336.29	>50	>100

26.55m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GD [MPa]	Ed [MPa]	MD [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
7	36.55	10	2756.75	5157.41	1800	0.3	13679.44	47878.04	29638.79	35566.54	>50	>100

Tabla 67. *Qadm Estribo Izquierdo*

	ESTRIBO IZQUIERDO PUENTE CHOCCOYO			Soils		Soft - Weak Rocks		q adm		
	Prof.	Vs	Peso Específico Aparente	q adm (Tezcan 2011)						
	m	(m/s)	(kN/m3)	(kN/m2)				(kg/cm2)		
				n=4.0		Min	Max	Prom	Min	Max
				α=0.83	α=0.056	n=4.6	n=0.0008Vs			
Soils	0.40	87.90	14.65	26.73	1.80			0.15	0.02	**0.27**
	1.54	121.32	14.99	37.73	2.55			0.21	0.03	**0.38**
	7.04	283.80	16.17	95.25	6.43			0.52	0.07	**0.97**
Soft - Weak Rocks	15.28	969.33	19.08			402.05	2384.93	14.21	4.10	**24.32**
	18.88	1669.44	21.06			764.20	2632.12	17.32	7.79	**26.84**
	26.55	2032.65	21.92			968.44	2739.54	18.91	9.88	**27.94**
	36.55	2756.75	23.43			1403.85	2928.14	22.09	14.32	**29.86**

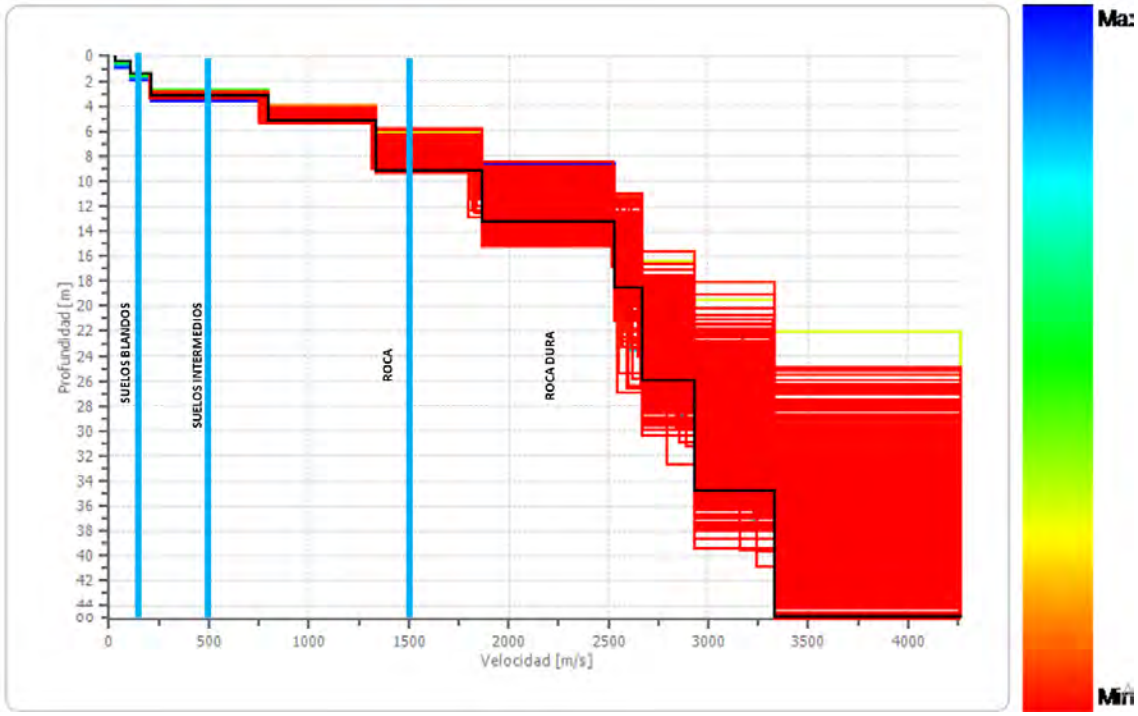
Tabla 68. *Clases de Sitio y Vs30 Estribo Izquierdo*

	Prof.	Vs	Vs30	Clases de Sitio	Tipo
	m	(m/s)			
Soils	0.40	87.90		**D**	S3
	1.54	121.32		**D**	S3
	7.04	283.80		**C**	S2
Soft - Weak Rocks	15.28	969.33	583.81	**B**	S1
	18.88	1669.44		**A**	S0
	26.55	2032.65		**A**	S0
	36.55	2756.75		**A**	S0

6.8.4. Interpretación de ensayo de MASW 02 – 1D

La siguiente figura corresponde a la investigación en el lado derecho del rio (donde se asentará el estribo derecho del puente), donde se describe la potencia vs velocidad.

***Figura 122**. Perfil Unidimensional – Estribo Derecho*



En el perfil sísmico MASW 02, se determinó la presencia de velocidades < 180 m/s, el cual corresponde a un material de suelos Blandos “D” hasta 1.4 metros aproximadamente, velocidades de 180 m/s a 500 m/s suelos Intermedios “C” de 1.4 a 3.21 metros de profundidad aproximadamente, velocidades de 500 m/s a 1500 m/s Roca “B” de 3.21 a 5.21 metros de profundidad aproximadamente y velocidades superiores a 1500 m/s Roca Dura “A” de 5.21 metros hasta 30 metros de profundidad.

Ver resumen en la siguiente tabla:

Tabla 69. *Módulos de deformación del terreno, para el Modelo de Inversión MASW 02*

ENSAYO	ESTRATO	POTENCIA (m.)	Velocidad Vs (m/s)	Tipo de Suelo	Descripción
MASW 01 DERECHA	1	0 – 1.40	< 180	D	Suelo Blando
	2	1.40 – 3.21	180 – 500	C	Suelo Intermedio
	3	3.21 – 5.21	500 – 1500	B	Roca
	4	5.21 - 30	>1500	A	Roca dura

En la siguiente tabla se muestran los módulos de deformación del terreno del ensayo MASW 02:

Tabla 70. *Módulos de deformación del terreno, para el Modelo de Inversión MASW 02*

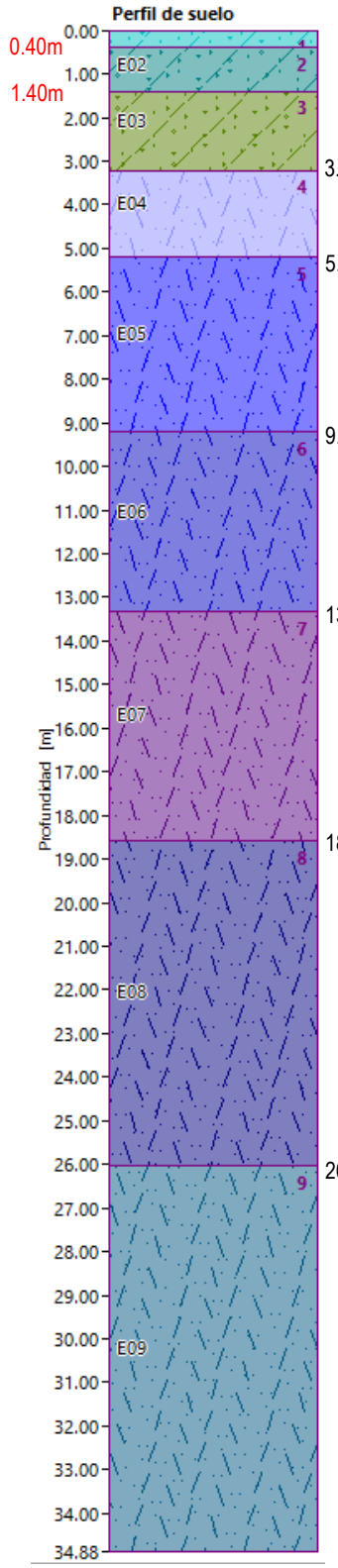
n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	0.40	0.40	29.33	54.88	1800.00	0.30	1.55	5.42	3.36	4.03	0	0.05
2	1.40	1.00	106.67	199.56	1800.00	0.30	20.48	71.68	44.37	53.25	5	32.30
3	3.21	1.81	208.00	389.13	1800.00	0.30	77.88	272.56	168.73	202.48	19	926.15
4	5.21	2.00	799.98	1496.63	1800.00	0.30	1151.95	4031.81	2495.88	2995.06	>50	>1000
5	9.21	4.00	1333.33	2494.44	1800.00	0.30	3200.00	11200.00	6933.33	8320.00	>50	>1000
6	13.32	4.11	1866.67	3492.21	1800.00	0.30	6272.00	21952.00	13589.33	16307.20	>50	>1000
7	18.58	5.26	2533.33	4739.43	1800.00	0.30	11552.00	40432.00	25029.33	30035.20	>50	>1000
8	26.03	7.45	2666.67	4988.88	1800.00	0.30	12800.00	44800.00	27733.33	33280.00	>50	>1000
9	34.88	8.85	2933.33	5487.76	1800.00	0.30	15488.00	54208.00	33557.33	40268.80	>50	>1000

Donde:

- **G0:** Módulo de deformación al corte.
- **Ed:** Módulo edométrico.
- **M0:** Módulo de compresibilidad volumétrica.
- **Ey:** Módulo de Young.

Las ondas de corte en los primeros 30 metros Vs (30) presenta un valor de 674.01 m/s correspondiente a Suelo de tipo B: Roca o suelo muy rígido.

Figura 123. *Columna estratigráfica y parámetros elásticos MASW 02*



3.21m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GO [MPa]	Ed [MPa]	MO [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
3	3.21	1.81	208	389.13	1800	0.3	77.88	272.56	168.73	202.48	19	926.15

5.21m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GO [MPa]	Ed [MPa]	MO [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
4	5.21	2	799.98	1496.63	1800	0.3	1151.95	4031.81	2495.88	2995.06	>50	>1000

9.21m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GO [MPa]	Ed [MPa]	MO [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
5	9.21	4	1333.33	2494.44	1800	0.3	3200	11200	6933.33	8320	>50	>1000

13.32m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GO [MPa]	Ed [MPa]	MO [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
6	13.32	4.11	1866.67	3492.21	1800	0.3	6272	21952	13589.33	16307.2	>50	>1000

18.58m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GO [MPa]	Ed [MPa]	MO [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
7	18.58	5.26	2533.33	4739.43	1800	0.3	11552	40432	25029.33	30035.2	>50	>1000

26.03m

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GO [MPa]	Ed [MPa]	MO [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
8	26.03	7.45	2666.67	4988.88	1800	0.3	12800	44800	27733.33	33280	>50	>1000

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	GO [MPa]	Ed [MPa]	MO [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
9	34.88	8.85	2933.33	5487.76	1800	0.3	15488	54208	33557.33	40268.8	>50	>1000

Tabla 71. *Qadm Estribo Derecho*

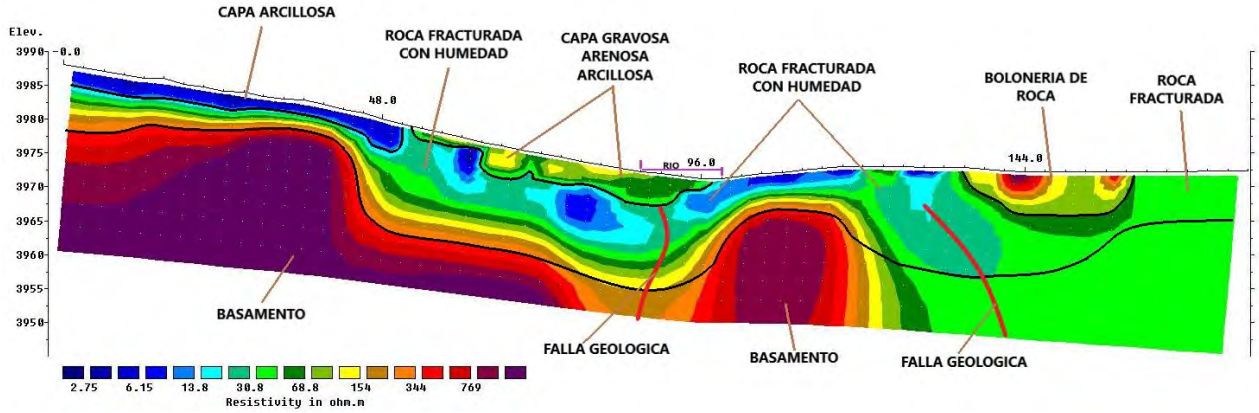
	ESTRIBO DERECHO PUENTE CHOCCOYO			Soils		Soft - Weak Rocks		q adm		
	Prof.	Vs	Peso Específico Aparente	q adm (Tezcan 2011)						
	m	(m/s)	(kN/m3)	(kN/m2)				(kg/cm2)		
				n=4.0		Min	Max	Prom	Min	Max
				α=0.83	α=0.056	n=4.6	n=0.0008Vs			
Soils	0.40	29.33	13.85	8.43	0.57			0.05	0.01	**0.09**
	1.40	106.67	14.85	32.87	2.22			0.18	0.02	**0.34**
	3.21	208.00	15.68	67.68	4.57			0.37	0.05	**0.69**
Soft - Weak Rocks	5.21	799.98	18.50			321.73	2312.49	13.43	3.28	**23.58**
	9.21	1333.33	20.17			584.74	2521.70	15.84	5.96	**25.71**
	13.32	1866.67	21.53			873.85	2691.75	18.18	8.91	**27.45**
	18.58	2533.33	22.98			1265.75	2872.91	21.10	12.91	**29.30**
	26.03	2666.67	23.25			1347.78	2906.15	21.69	13.74	**29.63**
	34.88	2933.33	23.76			1515.24	2970.21	22.87	15.45	**30.29**

Tabla 72. *Clases de Sitio y Vs30 Estribo Derecho*

	Prof.	Vs	Vs30	Clases de Sitio	Tipo
	m	(m/s)			
Soils	0.40	29.33		**D**	S3
	1.40	106.67		**D**	S3
	3.21	208.00		**C**	S2
Soft - Weak Rocks	5.21	799.98		**B**	S1
	9.21	1333.33	674.01	**B**	S1
	13.32	1866.67		**A**	S0
	18.58	2533.33		**A**	S0
	26.03	2666.67		**A**	S0
	34.88	2933.33		**A**	S0

6.8.5. Tomografía Eléctrica 01 – 2D

Figura 124. *Perfil geoeléctrico – Tomografía Eléctrica 01 – Resistividad Eléctrica – Profundidad (m.s.n.m.)*



Capa arcillosa (superficie, extremo izquierdo, elev. 3980–3990 m)

Ubicada en el rango de resistividad más bajo del perfil (2.75–6.15 Ω·m). Consistente con un depósito superficial de cobertura fina (arcilla o limo arcilloso), de espesor somero (~5–8 m), con alta capacidad de retención de humedad. Geotécnicamente, este tipo de material se asocia a baja capacidad portante y alta plasticidad.

Roca fracturada con humedad (dos sectores: somero centro-izquierdo y profundo centro-derecho)

Resistividad baja-moderada (6.15–30.8 Ω·m). La calificación "con humedad" en la propia leyenda del estudio es coherente con el criterio geofísico: una roca fracturada seca tendría resistividad alta (como el basamento), pero el ingreso de agua en las discontinuidades reduce drásticamente la resistividad aparente sin que el material haya perdido necesariamente su litología original. Esta es la unidad de mayor interés hidrogeológico del perfil las fracturas saturadas representan potenciales vías de flujo subterráneo, posiblemente conectadas al cauce del río marcado en superficie (progresiva ~96 m).

Capa gravosa arenosa arcillosa (bolsón central, bajo el cauce del río)

Resistividad baja-moderada, coincidente en profundidad con la posición del río en superficie. Interpretación consistente con depósito aluvial reciente (Q-fl, en tu nomenclatura habitual de mapeo) material granular grueso (grava-arena) con matriz de finos (arcilla), producto de la depositación fluvial activa. Es razonable esperar que esta unidad tenga mayor permeabilidad relativa que la capa arcillosa superficial, actuando como posible acuífero somero local asociado al cauce.

Basamento (dos cuerpos: extremo izquierdo profundo y sector central)

Resistividad alta a muy alta (154–769 Ω·m), la más resistiva de todo el perfil junto con la boloneria. Corresponde a roca sana, no fracturada o con fracturamiento cerrado, de baja porosidad efectiva el sustrato competente de la zona. Su presencia en dos cuerpos separados (no continuos lateralmente en el modelo) es consistente con la interpretación estructural de la sección 4.

Boloneria de roca (progresiva ~144 m)

Resistividad alta (154–344 Ω·m, tonos rojo-naranja). Interpretado como acumulación de bloques rocosos (posible depósito coluvial grueso o brecha de falla silicificada), la alta resistividad es consistente con clastos de roca competente en matriz de menor contenido de finos/agua que las unidades circundantes.

Roca fracturada (extremo derecho, sin calificativo de humedad)

Resistividad moderada (30.8–68.8 Ω·m, tono verde), notablemente menor que el basamento adyacente pero mayor que las zonas "con humedad". Esto sugiere un grado de fracturamiento intermedio con saturación parcial posiblemente representa la transición hacia el macizo rocoso menos alterado fuera del área de mayor influencia estructural/hídrica del perfil.

Capítulo VII

Geotecnia

El contenido geotécnico para el diseño de puentes según la normativa peruana se rige principalmente por el "Manual de Diseño de Puentes" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y normas complementarias como la Norma Técnica de Edificación E.050 (Suelos y Cimentaciones). A continuación, se detallan los aspectos clave:

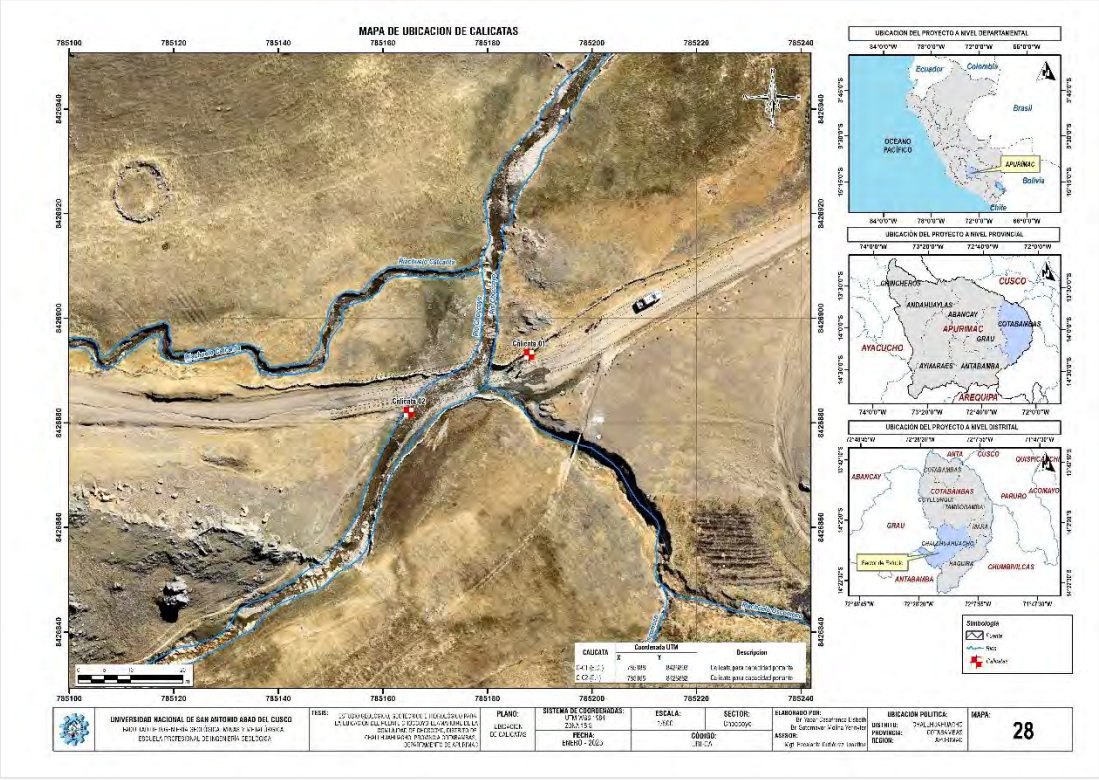
7.1. Calicatas con fines de cimentación

Son excavaciones a cielo abierto para una inspección visual directa del suelo.

Tabla 73. *Ubicación de calicatas para el sector de estudio*

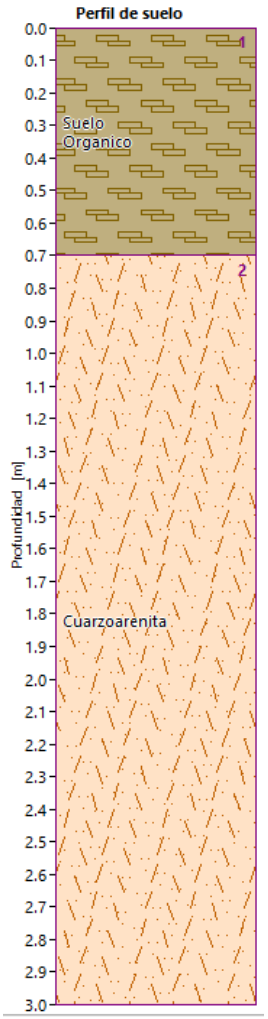
CALICATA	Coordenada UTM		Descripción
	X	Y	
C-01 (E.D.)	785188	8426893	Calicata para capacidad portante
C-02 (E.I.)	785165	8426882	Calicata para capacidad portante

Figura 125. *Mapa de ubicación de calicatas*



CALICATA 01: Estribo derecho





Primer estrato de 0.00m a -0.70m: Corresponde a un relleno natural conformado por gravas envueltas bajo una matriz arena limosa de coloración marrón negruzco, presencia de clastos de forma subredondedas a redondeadas y raíces.

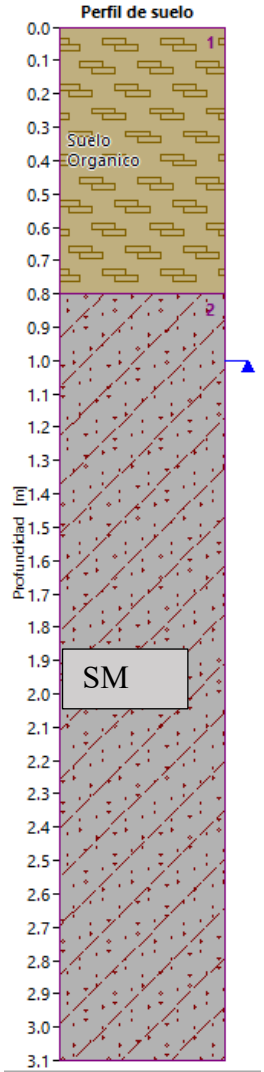
Segundo estrato de -0.70m a -3.00m: Corresponde a un AFLORAMIENTO ROCOSO clasificado como una roca sedimentaria identificado como Cuarzoarenita. Que posee una resistencia de 667.46 kg/cm³ y un peso específico de 2.76 t/m³.

No se ha evidenciado nivel freático superficial.

CALICATA 02: Estribo izquierda







Primer estrato de 0.00m a -0.80m: Relleno natural conformado por arenas, limos y arcillas de coloración marrón oscuro, presencia de raíces.

Segundo estrato de -0.80m a -3.00m: Corresponde a suelo de grano grueso, Arena limosa con grava SM, según SUCS presenta una coloración marrón oscuro. Cuya densidad es de 1.79 t/m³, un ángulo de fricción de 30.12° y una cohesión de 8.45 KPa

Se ha evidenciado nivel freático superficial a -1.00m.

7.2. Ensayos de laboratorio

Con el fin de determinar los parámetros de caracterización del terreno en cuanto a sus propiedades índice y estructurales, se realizaron los siguientes ensayos normalizados:

Figura 126. *Ensayos de laboratorio*

ENSAYOS DE LABORATORIO	NORMAS APLICABLES
Preparación de muestras	ASTM D 420-69
Peso específico de los solidos	ASTM D 854
Contenido de humedad	ASTM D 4643
Granulometría de Identificación	ASTM D 422 / ASTM D 2487/00
Límites de consistencia	ASTM D 4318
Compresión Uniaxial	ASTM D 582
Corte Directo	ASTM D 3080
Resistencia a la compresión	ASTM D5731-16
Peso Especifico	ASTM T-84, T-85

Figura 127. *Ensayos calicata 01 - Roca*



Figura 128. *Calicata 02 - suelo*



Tabla 74. *Parámetros índices para suelos finos*

MUESTRA	CALICATA	N° ESTRATO	PROFUNDIDAD	%HUMEDAD	Gravas:	Arena:	Limo y Arcilla	LL%	LP%	IP	SUCS
1	C-01	2	0.70m a 3.00m	-	-	-	-	-	-	-	ROCA
2	C-02	2	0.80m a 3.00m	21.6	14.68 %	46.85%	38.47%	-	-	-	SM

Tabla 75. *Parámetros de resistencia*

CALICATA	γ (t/m³)	Angulo de fricción	Cohesión (Kpa)	N.F.(m)
C-01	2.76	--	--	NP
C-02	1.79	30.12°	8.45	-1.00

7.3. Parámetros del macizo rocoso (estribo derecho)

A partir de los sondeos y reconocimiento realizados se ha establecido que se fundará sobre la roca existente. En consecuencia, se han evaluado los parámetros de este macizo rocoso en base a los siguientes criterios geomecánicos.

7.3.1. Criterio de Rotura Generalizado de Hoek – Brown

Este criterio para macizos es ampliamente aceptado por su gran aplicación en diversos proyectos y su aplicación práctica en el cálculo y estimación de los parámetros de resistencia del macizo rocoso (mb, s y a), para lo cual considera los siguientes parámetros que pueden ser convenientemente estimados mediante ábacos y tablas de datos integrados, a partir del tipo de roca, condiciones geológicas, etc.:

- La resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta (sigci).
- El parámetro de la roca intacta (mi).
- El índice de resistencia geológica (GSI).
- El factor de perturbación (D).

MACIZO CON AVANZADO ESTADO DE INTEMPERIZACIÓN

ROCA CUARZOARENITA

Tipo de roca: Sedimentaria

Condiciones superficiales: Rugosa

Color: Blanquecino

Estado: Roca medianamente fracturada

Aplicación: Cimentación

Tamaño de grano: Medio a fino

Fotografía 17. *Afloramientos rocosos en las colindancias del sector de estudio*



Tabla 76. *Determinación de RMR con fines de cimentación*

1.- RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA						**120 Mpa**	
Rango de valores	*> 250*	*100 - 250*	*50 - 100*	*25 - 50*	*5 - 25*	*1 - 5*	*< 1*
Puntaje	*15*	*12*	*7*	*4*	*2*	*1*	*0*
					Valoración:	***12***	

2.- VALOR DE RQD *(Rock Quality Index)*					**70%**
Rango de valores	*90 - 100*	*75 - 90*	*50 - 75*	*25 - 50*	*< 25*
Puntaje	*20*	*17*	*13*	*8*	*3*
				Valoración:	***13***

3.- ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES					**0.30 m**
Rango de valores	*> 2*	*0.6 - 2*	*0.2 - 0.6*	*0.06 - 0.2*	*< 0.06*
Puntaje	*20*	*15*	*10*	*8*	*5*
				Valoración:	***10***

4.- CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES					
Persistencia de las discontinuidades (m)					***2 m***
Rango de valores	*< 1*	*1 - 3*	*3 - 10*	*10 - 20*	*> 20*
Puntaje	*6*	*4*	*2*	*1*	*0*
				Valoración:	***4***
Separación (apertura) mm					***Ninguno***
Rango de valores	*Ninguno*	*< 0.1*	*0.1 - 1.0*	*1 - 5*	*> 5*
Puntaje	*6*	*5*	*4*	*1*	*0*
				Valoración:	***6***
Rugosidad					***VR***
Condición	*Muy rugosa VR*	*Rugosa R*	*Ligeramente rugosa SR*	*Lisa L*	*Superficie pulida SK*
Puntaje	*6*	*5*	*3*	*1*	*0*
				Valoración:	***6***
Relleno					***1 mm***
Rango de valores	*Ninguno*	*Duro < 5*	*Duro > 5*	*Blando < 5*	*Blando > 5*
Puntaje	*6*	*4*	*2*	*2*	*0*
Marque con X el tipo de relleno:		***Blando:***	***Duro:***	***x***	***Valoración:*** ***4***
Meteorización					***SW***
Condición	*No Intemperizada UW*	*Ligeramente intemperizada SW*	*Moderadamente Intemperizada MW*	*Altamente Intemperizada HW*	*Completamente Intemperizada CW*
Puntaje	*6*	*5*	*3*	*1*	*0*
				Valoración:	***5***

5.- CONDICIONES GENERALES DEL AGUA SUBTERRANEA					***WT***
Condición	*Completamente seca CD*	*Húmeda DM*	*Mojada WT*	*Goteo DP*	*Flujo FW*
Puntaje	*15*	*10*	*7*	*4*	*0*
				Valoración:	***7***

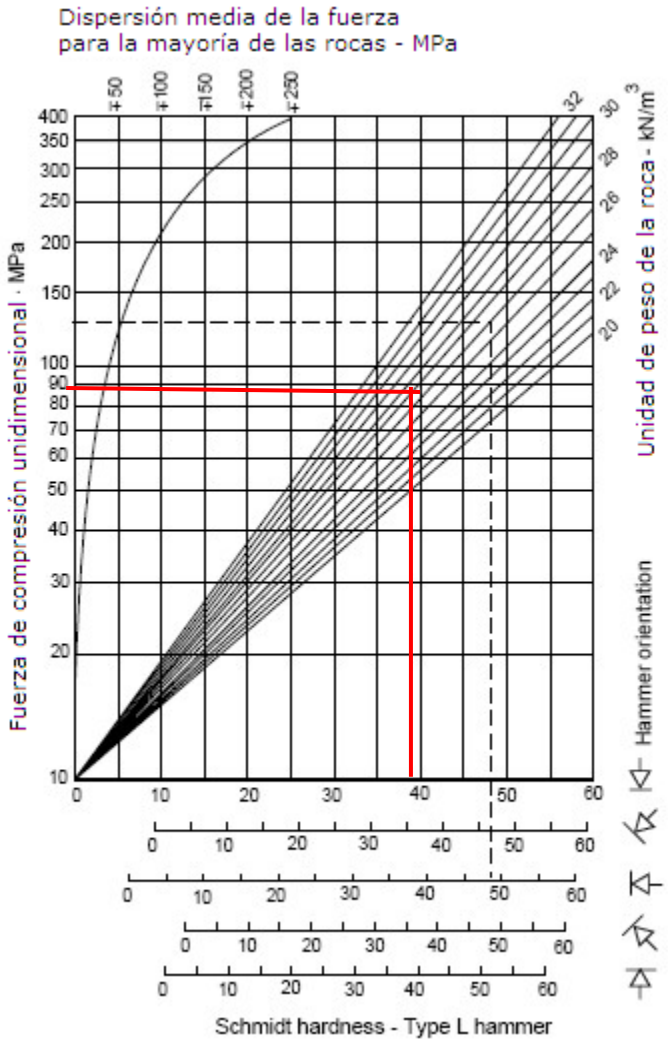
6.- AJUSTE POR ORIENTACION DE LAS DISCONTINUIDADES						***FV***
Orientaciones del rumbo y buzamiento		*Muy Favorable VF*	*Favorable FV*	*Regular FR*	*Desfavorable UF*	*Muy desfavorable VU*
	Túneles y mina (T)	*0*	*-2*	*-5*	*-10*	*-12*

Puntaje según el tipo de trabajo	*Cimentaciones (F)*	*0*	*-2*	*-7*	*-15*	*-25*
	Taludes (S)	*0*	*-5*	*-25*	*-50*	*-60*
Indique el tipo de trabajo	***F***				***Valoración:***	***-2***

VALOR DE RMR

RMR Básico	:	67	
RMR Ajustado	:	65	***Clase:*** *II*
RMR89 (condiciones secas y muy favorables)	:	67	***Calidad:*** *Buena*
Cohesión (c)	:	300 Kpa	
Angulo de fricción interna (°)	:	35 °	

Tabla 77. *Ensayo de martillo de Schmidt*



Datos obtenidos con el esclerómetro

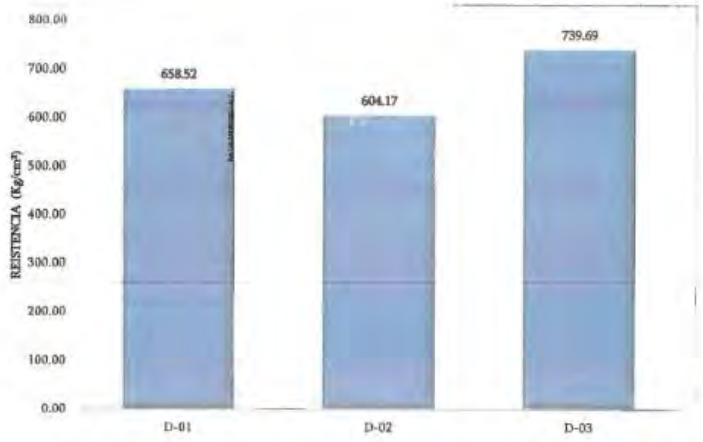
N°	Numero de Rebote
1	37
2	38
3	39
4	42
5	39
6	38
7	42
8	38
9	39
10	42
Promedio	39.4
Resistencia (MPa)	85

Observaciones: Todas las ventanas estructurales presentaron similares valores de rebote

Tabla 78. *Valores de ensayo de compresión simple*

DATOS DE LOS TESTIGOS			
Muestra:	D-01	D-02	D-03
Descripción de la Muetra:	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Diametro medio (cm):	5.53	5.48	5.49
Altura (cm):	10.29	10.45	10.52
Area (cm2):	24.02	23.59	23.67

REG.N°	MUESTRA	FECHA ROTURA	LECTURA DIAL (Mpa)	REISTENCIA (Kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	D-01	11/12/2023	64.58	658.52	Falla columnar
2	D-02	11/12/2023	59.25	604.17	Falla columnar
3	D-03	11/12/2023	72.54	739.69	Falla columnar



RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm²):	667.46

Tabla 79. *Valores de ensayo de peso especifico*

DATOS DE LA MUESTRA

AGREGADO : ROCA

ROCA

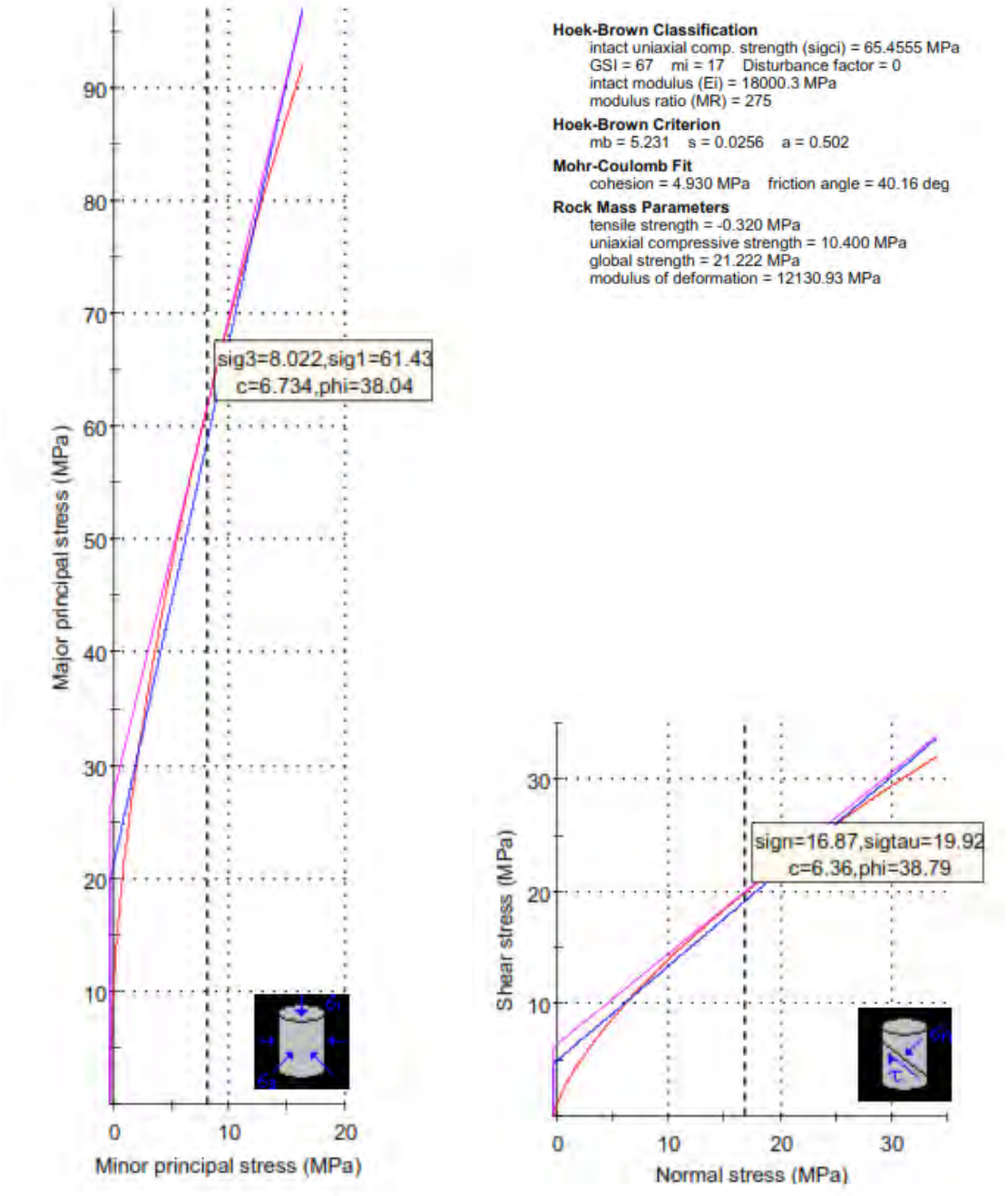
A	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire) (gr)	1245.65	985.64		
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua) (gr)	810.25	641.32		
C	Vol. de masa + vol de vacios = A-B (gr)	435.40	344.32		
D	Peso material seco en estufa (105 °C)(gr)	1198.65	952.61		
E	Vol. de masa = C- (A - D) (gr)	388.40	311.29		PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = D/C	2.75	2.77		2.760
	Pe bulk (Base asturada) = A/C	2.86	2.86		2.862
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	3.09	3.06		3.073
	% de absorción = ((A - D) / D * 100)	3.92	3.47		3.69

OBSERVACIONES: Material muestreado In Situ

Tabla 80. *Resultados de los ensayos de rocas realizados en la muestra de la calicata 01*

ENSAYO	NORMA	RESULTADOS
		MUESTRA 01
Absorción	ASTM C127	3.69%
Resistencia a la Compresión	ASTM D5731-16	667.46 Kg/cm³
Peso Específico	ASTM C127	2.76 t/m³

Figura 129. *Parámetros geomecánicos obtenidos mediante Roc data 4.0*



7.4. Análisis de Problemas Especiales en la Cimentación

7.4.1. Colapsabilidad

Para que un suelo sea susceptible al colapso, deberá ser suelos que cambian violentamente de volumen por la acción combinada o individual de las siguientes acciones:

a) Al ser sometidos a un incremento de carga

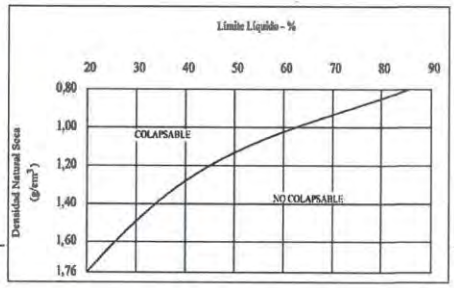
b) Al humedecerse o saturarse

En los lugares donde se conozca o sea evidente la ocurrencia de hundimientos debido a la existencia de suelos colapsables, el PR incluye en su EMS un análisis basado en la determinación de la plasticidad del suelo NTP 339.129:1999, del ensayo para determinar el peso volumétrico NTP 339.139:1999, y del ensayo de humedad NTP 339.127:1998, con la finalidad de evaluar el potencial de colapso del suelo en función del Límite Liquido (LL) y del peso volumétrico seco (yd).

Tabla 81. *Determinación del potencial de colapso NTP 339.163 (ASTM 5333)*

N° DE CALIC.	DENSIDAD NATURAL SECA (gr/cm3)			LIMITE LIQUIDO (LL)
	ENCIMA DEL NIVEL DE FUNDACION	DEBAJO DEL NIVEL DE FUNDACION	PROMEDIO	
C-02	1.79 gr/cm3	1.79 gr/cm3	1.79 gr/cm3	0 %

ENTONCES= NO COLAPSABLE



DETERMINACION DEL INDICE DE COLAPSABILIDAD

$$I_c(\%) = \frac{\Delta e}{1 + e_0} = \frac{\Delta h}{h_0}$$

= 0.09% NINGUNO

Donde:

Δe	: Cambio de la relacion de vacios debido al colapso bajo humedecimiento	:	-
e_0	: Relacion de vacios inicial	:	-
Δh	: Cambio de altura de la muestra inicial	:	0.22 cm
h_0	: Altura inicial de la muestra	:	2.54 cm

CLASIFICACION DEL INDICE DE COLAPSO Ic	
GRADO DE COLAPSO	INDICE DE COLAPSO Ic (%)
NINGUNO	0
LEVE	0.1 a 2.0
MODERADO	2.1 a 6.0
MODERADAMENTE SEVERO	6.1 a 10.0
SEVERO	>10.0

Fuente: Norma E.050 (2018)

El suelo de la zona de estudio, no tiene un potencial al fenómeno de Colapso.

7.4.2. Expansión

Al evaluar el potencial de expansión en suelos cohesivos con bajo grado de saturación que aumentan de volumen al humedecerse o saturarse, se deben evaluar en aquellos estratos en las que se encuentren suelos cohesivos con bajo grado de saturación y plasticidad alta (LL ^50), para el presente estudio se muestra en el cuadro siguiente el resumen de índices de plasticidad el cual fue realizado según NTP 339.129, determinados en las calicatas exploradas.

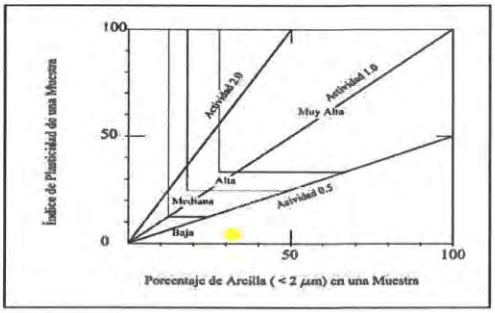
Tomando los valores de índice de plasticidad (IP) y el porcentaje de finos, se evalúa según la tabla de clasificación de suelos expansivos y el cuadro de clasificación de cambio de potencial de volumen del artículo 37 de la norma E-050 del RNE, observando que el suelo de cimentación de las diferentes Calicatas se puede clasificar como un suelo de potencial de expansión bajo.

Tabla 82. *Determinación de los Suelos Expansivos*

N° DE CALIC.	INDICE DE PLASTICIDAD	PORCENTAJE DE ARCILLA
C-02	0	38.47%

TABLA 11
CLASIFICACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS

Potencial de expansión Ep	Expansión en consolidómetro, bajo presión vertical de 7 kPa (0,07 kgf/cm2)	Índice de plasticidad IP	Porcentaje de partículas menores que dos micras
%	%	%	%
Muy alto	> 30	> 32	> 37
Alto	20 – 30	23 – 45	18 – 37
Medio	10 – 20	12 – 34	12 – 27
Bajo	< 10	< 20	< 17



$$ACTIVIDAD(A) = \frac{IP}{\% < 2\mu m}$$

Actividad Coloidal de las Arcillas (Skempton, 1953)

Actividad	Categoría de Suelo
< 0,75	Inactivo
0,75 – 1,25	Normal
> 1,25	Activo

ENTONCES: INACTIVO

Fuente: Norma E.050 (2018)

El suelo de la zona de estudio, tiene un bajo a medio potencial al fenómeno de Expansión.

7.4.3. Evaluación del Potencial de Licuefacción

Se reconoce el fenómeno de licuación de suelos o licuefacción como sucesos de pérdida de capacidad admisible bajo el nivel freático ante la acción de un sismo, para el caso del estudio realizado se prevee la construcción de diques de materiales sueltos en el cual se prevé la presencia de nivel freático, además se debe realizar la verificación si existe riesgo de licuación, por lo que se debe cumplir con el método de Seed y coworkers (i.e., Seed & Idriss, 1971): "Procedimiento Simplificado".

Verificar si el tipo de suelo es susceptible a licuefacción.

a) Partículas 5 mm < 15%,

b) LL < 35%,

c) W% > 0.9 LL.

Análisis:

- Partículas < 5 mm < 15%: No cumple.
- LL < 35%: Cumple.
- W% > 0.9 LL: Cumple.

Evaluación Final: El suelo es parcialmente susceptible a la licuefacción. Aunque no cumple con el criterio de partículas menores a 5 mm, cumple con los otros dos criterios (bajo límite líquido y alto contenido de humedad). Sin embargo, dado que las partículas finas superan el 15%, esto reduce la susceptibilidad. Por lo tanto, el suelo podría tener una baja susceptibilidad a la licuefacción.

7.5. Agresión Del Suelo a la Cimentación

En la zona del proyecto se ha evidenciado nivel freático superficial, se realizaron los ensayos para verificar la agresión del suelo al concreto a nivel de fundación.

CONTENIDO DE SUSTANCIAS PERJUDICIALES

El siguiente cuadro, señala los límites de aceptación.

Sustancias Perjudiciales

CARACTERÍSTICAS	NORMA DE ENSAYO	LIMITE DE ACEPTACIÓN
Contenido de Cloruros, expresado como ión Cl^-	AASHTO T291 NTP 339.177	0.10% máx.

Exposición a Sulfatos	Sulfato Soluble en agua (SO_4) presente en el Suelo, porcentaje en Peso	Sulfato (SO_4) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Relación máxima agua-material cementante (en peso) para concretos de peso normal*	$f'c$ mínimo (MPa) para concretos de peso normal y ligero*
Insignificante	$0.0 \leq SO_4 < 0.1$	$0 \leq SO_4 < 150$	--	--	--
Moderada	$0.1 \leq SO_4 < 0.2$	$150 \leq SO_4 < 1500$	II, IP (MS), IS (MS), P (MS), I (PM) (MS), I (SM) (MS)	0.5	28
Severa	$0.2 \leq SO_4 < 2.0$	$1500 \leq SO_4 < 10000$	V	0.45	31
Muy Severa	$2.0 < SO_4$	$10000 < SO_4$	Tipo V más puzolana ***	0.45	31

Fuente: *Norma E060(2020)*

Tabla 83. *Análisis Físico- Químico de Agregados y Suelos*

PARÁMETROS	REPORTE en p.p.m	REPORTE en % p/p	MÉTODO
pH 5.25			Conductimetro
Cloruros (Cl^-)	185.64	0.0186	V. Precipitación
Sulfatos ($SO4^{-2}$)	289.74	0.0290	G. Precipitación
Sales solubles totales	524.05	0.0524	G. Volatilización

De acuerdo con los ensayos de sales, sulfatos y Cloruros, la reacción del suelo al concreto es moderada.

Considerar medidas de protección para las estructuras de concreto armado, tales como el uso de concreto resistente a sulfatos, barreras protectoras, o recubrimientos especiales para evitar el deterioro de las estructuras expuestas a este tipo de suelos. Además, podría ser necesario aumentar el recubrimiento de las armaduras y considerar aditivos inhibidores de corrosión.

7.6. Cálculo de la Capacidad Admisible Del Terreno

7.6.1. Carga Límite de Cimentación en Roca

Según Serrano y Olalla (2001), El método de Serrano y Olalla (2001) para calcular la capacidad de carga en rocas es un enfoque analítico avanzado que se basa en el criterio de falla no lineal de Hoek-Brown. Este método es especialmente útil para macizos rocosos, ya que no utiliza los parámetros clásicos de Mohr-Coulomb (cohesión y ángulo de fricción) de forma directa, sino que los infiere a partir de un análisis más completo de las propiedades del macizo rocoso.

Ecuaciones Principales

La capacidad de carga última (Ph) se determina a partir de la siguiente ecuación, propuesta por Serrano y Olalla:

$$Ph=\beta\cdot(N\beta-\xi)$$

Donde:

- **Ph**: Es la carga de hundimiento o capacidad de carga última.
- **β**: Un factor que depende de la resistencia a la compresión de la roca intacta (σci) y los parámetros del macizo rocoso del criterio de Hoek-Brown. Se puede calcular de la siguiente forma:

$$\beta = \frac{\sigma_{ci}}{N_\beta - 1}$$

- **Nβ**: Es un factor de capacidad de carga, que depende del **ángulo de rozamiento instantáneo medio (ρm)**. Este valor se obtiene a través de ábacos o tablas desarrolladas por los autores.
- ξ: Un parámetro que considera la resistencia a la tracción del macizo rocoso, que es un valor menor a 1.

Para aplicar estas fórmulas, es necesario utilizar el **criterio de Hoek-Brown**, que requiere conocer la resistencia a la compresión de la roca intacta (σci), el **GSI (Geological Strength Index)** y el parámetro mi. A partir de estos valores, se calculan los parámetros del macizo rocoso (mb, s y a), que son la base para el cálculo de β y Nβ.

De acuerdo a los datos del proyecto:

Datos de entrada			
GSI	67	Prof. (m)	0.4
RMR	65		
σc	65.46 MPa		
γ	27.60 kN/m³		
m0	17		

Hoek-Brown parámetros:

$$m = m_0 \exp\left(\frac{\text{GSI} - 100}{28}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{\text{GSI} - 100}{9}\right)$$

m	5.2312064
s	0.0255615
n	0.315

Intermedio parámetros:

k	2.1746
1/k	0.4599

$$k = \frac{(1-n)}{n}$$

$$1/k$$

A_n^k	0.3969

$$A_n^k = m(1-n)/2^{1/n}$$

A_n	0.654
β_n	42.797 MPa

$$\beta_n = A_n \sigma_c$$

ζ_n	0.0075

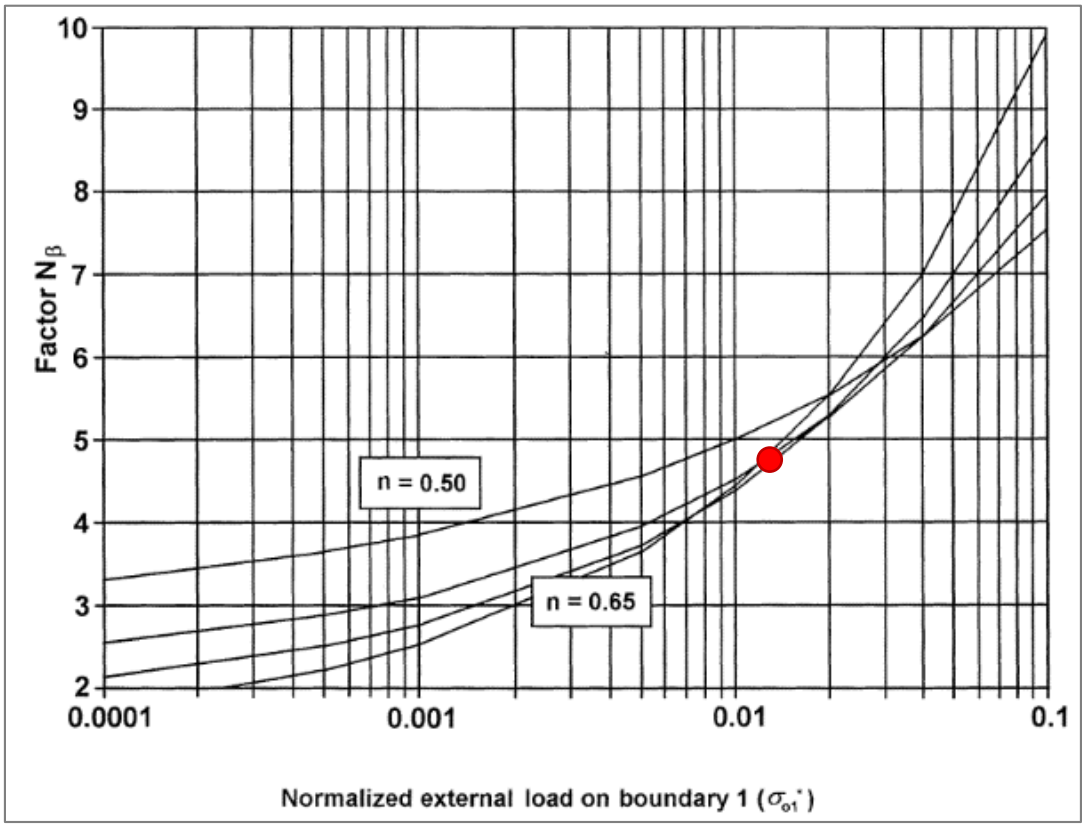
$$\zeta_n = s/mA_n$$

σ_1	11.04 kN/m²
σ_{01}^*	0.0077

$$\sigma_{01}^* = \frac{\sigma_1}{\beta_n} + \zeta_n$$

σ_1=Prof. x γ

Figura 130. *Nβ factors depending on the external load (for exponents n =0.5; 0.55; 0.6; and 0.65)*



Nβ	4.7

Ph	200.824 MPa

FS	3

Pperm	66.94 MPa
	682.62 Kg/cm²

$$P_h = \beta_n (N_\beta - \zeta_n)$$

7.6.2. Carga Límite de Cimentación en Suelo

La carga última de una cimentación superficial se puede definir como el valor máximo de la carga con el cual en ningún punto del subsuelo se alcanza la condición de rotura (método de Frolich), o también como aquel valor de carga, mayor que el anterior, con el cual el fenómeno de rotura se extiende a un amplio volumen del suelo (método de Prandtl y sucesivos).

Prandtl ha estudiado el problema de la rotura de un semiespacio elástico por efecto de una carga aplicada sobre su superficie con referencia al acero, caracterizando la resistencia a la rotura con una ley del tipo:

$$\tau = c + \sigma \times tg\ \varphi \quad \textit{válida también para suelos.}$$

Las hipótesis y las condiciones dictadas por Prandtl son las siguientes:

- Material carente de peso y por lo tanto $\gamma=0$
- Comportamiento rígido - plástico
- Resistencia a la rotura del material expresada con la relación $\tau=c + \sigma \times tg\varphi$
- Carga uniforme, vertical y aplicada en una franja de longitud infinita y de ancho 2b (estado de deformación plana)
- Tensiones tangenciales nulas al contacto entre la franja de carga y la superficie límite del semiespacio.

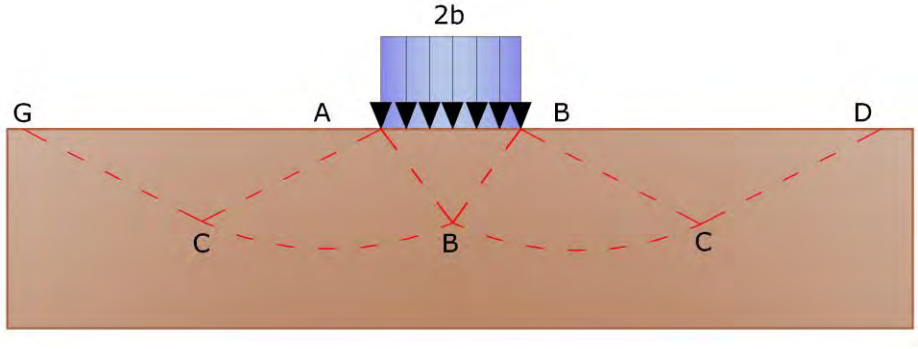
En el acto de la rotura se verifica la plasticidad del material contenido entre la superficie límite del semiespacio y la superficie *GFBCD.*

En el triángulo *AEB* la rotura se da según dos familias de segmentos rectilíneos e inclinados en *45°+φ/2* con respecto al horizontal.

En las zonas *ABF y EBC* la rotura se produce a lo largo de dos familias de líneas, una constituida por segmentos rectilíneos que pasan respectivamente por los puntos *A* y *E* y la otra por arcos de familias de espirales logarítmicas.

Los polos de éstas son los puntos *A* y *E*. En los triángulos *AFG y ECD* la rotura se da en segmentos inclinados en ± *(45°+ φ/2)* con respecto a la vertical.

Figura 131. *Mecanismo de rotura de Prandtl*



Fuente: *Loadcap – Geoestru*

Identificado así el volumen de terreno que experimenta rotura con la carga última, ésta se puede calcular escribiendo la condición de equilibrio entre las fuerzas que actúan en cualquier volumen de terreno delimitado bajo cualquiera de las superficies de deslizamiento.

Se llega por lo tanto a una ecuación q =B × c, donde el coeficiente B depende solo del ángulo de rozamiento φ del terreno.

$$B = cot\, g\varphi\left[e^{\pi tg\varphi}\, tg^2(45° + \varphi/2) - 1\right]$$

Para φ =0 el coeficiente B es igual a 5.14, por lo tanto, q=5.14 × c.

En el otro caso particular de terreno sin cohesión (c=0, γ≠0) resulta q=0. Según la teoría de **Prandtl**, no sería entonces posible aplicar ninguna carga en la superficie límite de un terreno incoherente.

Si bien no se puede aplicar prácticamente, en esta teoría se han basado todas las investigaciones y los métodos de cálculo sucesivos.

En efecto ***Caquot*** se puso en las mismas condiciones de Prandtl, a excepción del hecho que la franja de carga no se aplica sobre la superficie límite del semiespacio, sino a una profundidad h, con h ≤ 2b; el terreno comprendido entre la superficie y la profundidad h tiene las siguientes características*: $\gamma \neq 0$, $\varphi = 0$, $c = 0$* es decir un medio dotado de peso, pero sin resistencia.

Resolviendo las ecuaciones de equilibrio se llega a la expresión:

$$q = A \times \gamma_1 + B \times c$$

que de seguro es un paso adelante con respecto a Prandtl, pero que aún no refleja la realidad.

7.6.2.1. Método de Terzaghi (1955)

Terzaghi, prosiguiendo el estudio de Caquot, ha aportado algunos cambios para tener en cuenta las características efectivas de toda la obra de cimentación - terreno.

Bajo la acción de la carga transmitida por la cimentación, el terreno que se encuentra en contacto con la cimentación misma tiende a irse lateralmente, pero resulta impedido por las resistencias tangenciales que se desarrollan entre la cimentación y el terreno.

Esto comporta un cambio del estado tensional en el terreno puesto directamente por debajo de la cimentación; para tenerlo en cuenta, ***Terzaghi*** asigna a los lados AB y EB de la cuña

de Prandtl una inclinación ψ respecto a la horizontal, seleccionando el valor de ψ en función de las características mecánicas del terreno al contacto terreno-obra de cimentación.

De esta manera se supera la hipótesis $\gamma_2 = 0$ para el terreno por debajo de la cimentación admitiendo que las superficies de rotura quedan inalteradas, la expresión de la carga última entonces es:

$$q = A \times \gamma \times h + B \times c + C \times \gamma \times b$$

Donde C es un coeficiente que resulta función del ángulo de rozamiento interno φ del terreno puesto por debajo del nivel de cimentación y del ángulo φ antes definido; b es la semianchura de la franja.

Además, basándose en datos experimentales, *Terzaghi* pasa del problema plano al problema espacial introduciendo algunos factores de forma.

Una sucesiva contribución sobre el efectivo comportamiento del terreno ha sido aportada por *Terzaghi*. En el método de Prandtl se da la hipótesis de un comportamiento del terreno rígido-plástico, en cambio *Terzaghi* admite este comportamiento en los terrenos muy compactos.

En éstos, de hecho, la curva cargas-asentamientos presenta un primer tracto rectilíneo, seguido por un breve tracto curvilíneo (comportamiento elástico-plástico); la rotura es instantánea y el valor de la carga límite resulta claramente individuado (rotura general).

En un terreno muy suelto en cambio la relación cargas-asentamientos presenta un tramo curvilíneo acentuado desde las cargas más bajas por efecto de una rotura progresiva del terreno (rotura local). Como consecuencia la individualización de la carga límite no es tan clara y evidente como en el caso de los terrenos compactos.

Para los terrenos muy sueltos, Terzaghi aconseja tener en consideración la carga última; el valor que se calcula con la fórmula anterior, pero introduciendo valores reducidos de las características mecánicas del terreno y precisamente:

$$tg\varphi_{rid} = 2/3 \times tg\varphi \; e \; c_{rid} = 2/3 \times c$$

Haciendo explícitos los coeficientes de la fórmula anterior, la fórmula de Terzaghi se puede escribir así:

$$q_{ult} = c \times N_c \times s_c + \gamma \times D \times N_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma$$

Donde:

$$Nq = \frac{a^2}{2\cos^2(45 + \varphi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \varphi/2)\tan\varphi}$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan\varphi}{2}\left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\varphi} - 1\right)$$

7.6.2.2. Fórmula de Meyerhof (1963)

Meyerhof propuso una fórmula para calcular la carga última parecida a la de *Terzaghi*. Las diferencias consisten en la introducción de nuevos coeficientes de forma.

Introdujo un coeficiente s_q que multiplica el factor N_q, factores de profundidad d_i y de pendencia i_i para el caso en que la carga trasmitida a la cimentación sea inclinada en la vertical.

Los valores de los coeficientes N se obtuvieron de Meyerhof suponiendo varios arcos de prueba BF (v. mecanismo Prandtl), mientras que el corte a lo largo de los planos AF tenía valores aproximados.

A continuación, se presentan los factores de forma tomados de Meyerhof, junto con la expresión de la fórmula.

Carga vertical $q_{ult} = c \times N_c \times s_c \times d_c + \gamma \times D \times N_q \times s_q \times d_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma \times d_\gamma$

Carga inclinada $q_{ul\,t} = c \times N_c \times i_c \times d_c + \gamma \times D \times N_q \times i_q \times d_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times i_\gamma \times d_\gamma$

$$N_q = e^{\pi \tan\varphi} \tan^2(45 + \varphi/2)$$
$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$
$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1.4\varphi)$$

Factor de forma:

$$s_c = 1 + 0.2 k_p \frac{B}{L} \qquad para\ \varphi > 10$$
$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1 k_p \frac{B}{L} \qquad para\ \varphi = 0$$

Factor de profundidad:

$$d_c = 1 + 0.2\sqrt{k_p}\frac{D}{B}$$
$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{k_p}\frac{D}{B} \qquad para\ \varphi > 10$$
$$d_q = d_\gamma = 1 \qquad para\ \varphi = 0$$

inclinación:

$$i_c = i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2$$
$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\varphi}\right)^2 \qquad para\ \varphi > 0$$
$$i_\gamma = 0 \qquad para\ \varphi = 0$$

Donde:

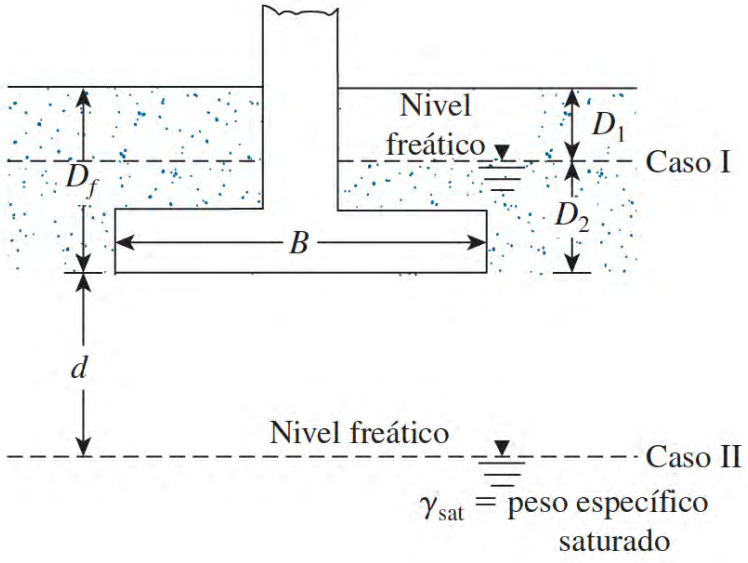
$K_p = \tan^2(45° + \varphi/2)$

θ = *Inclinación de la resultante en la vertical.*

7.6.2.3. Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga por nivel freático

Das (2010), explica que, si el nivel freático está cerca de la cimentación, serán necesarias algunas modificaciones de las ecuaciones de capacidad de carga.

Figura 132. *Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga por nivel freático.*



Fuente: *Das, B. M. (2010). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cengage Learning.*

Caso I. Si el nivel freático se ubica tal que $0 \leq D_1 \leq D_f$, el factor q en las ecuaciones de capacidad de carga toma la forma:

$$q = sobrecarga\ efectiva = D_1\gamma + D_2(\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

Donde:

γ_{sat}: peso específico saturado del suelo

γ_w: peso específico del agua

Además, el valor de γ en el último termino de las ecuaciones se tiene que reemplazar por $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_{w'}$

Caso II. Para un nivel freático ubicado tal que $0 \leq d \leq B$,

$$q = \gamma D_f$$

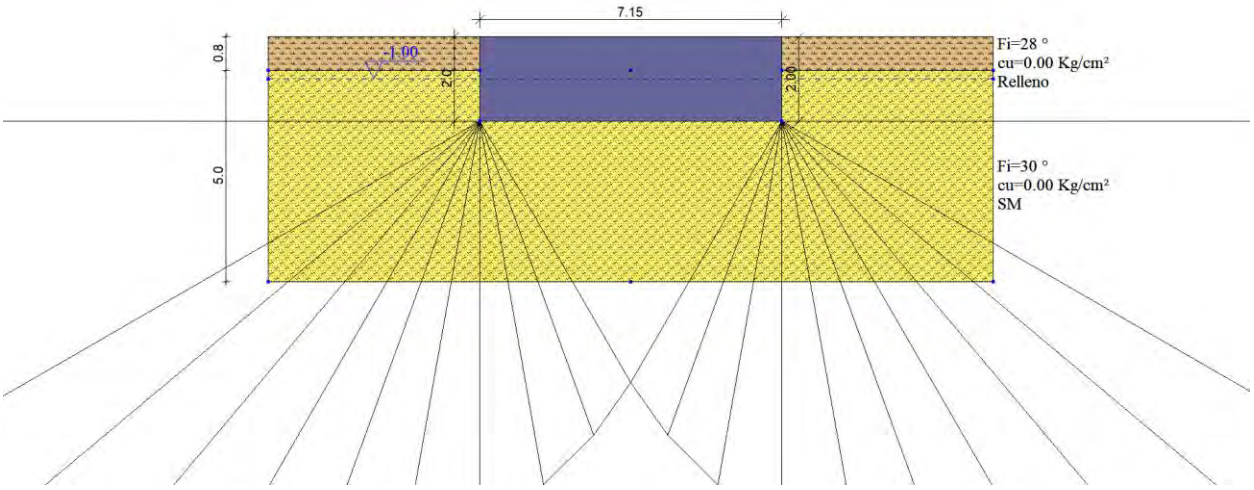
En este caso, el factor γ en el último término de las ecuaciones de capacidad de carga se debe reemplazar por el factor

$$\bar{\gamma} = \quad \gamma' + \frac{d}{B}(\gamma - \gamma')$$

Las modificaciones anteriores se basan en la suposición de que no existe una fuerza de filtración en el suelo.

Caso III. Cuando el nivel freático se ubica tal que d ≤ B, el agua no tendrá efecto sobre la capacidad de carga última.

Figura 133. *Capacidad de carga del proyecto estribo izquierdo*



Fuente: *Elaboración propia en base a LoadCap-Geostru.*

DATOS GENERALES

Normativa	D.M. 88/96
Anchura cimentación	7.15 m
Longitud cimentación	8.8 m
Profundidad plano de cimentación	2.0 m
Altura de empotramiento	2.0 m
Profundidad nivel freático	1.0
Corrección parámetros Terzaghi	

Tabla 84. *Estratigrafía Terreno*

Espesor del estrato [m]	Peso específico [Kg/m³]	Peso específico saturado [Kg/m³]	Ángulo de rozamiento interno [°]	Cohesión [Kg/cm²]	Cohesión sin drenaje [Kg/cm²]	Módulo elástico [Kg/cm²]	Módulo edométrico [Kg/cm²]	Poisson	Coef. consolidac. primaria [cmq/s]	Coef. consolidación secundaria	Descripción
0.8	1875.64	1982.56	28.0	0.0	0.0	101.97	0.0	0.0	0.0	0.0	Relleno
5.0	1798.65	1887.25	30.0	0.08	0.0	101.97	0.0	0.0	0.0	0.0	SM

Autor: TERZAGHI (1955) (Condición drenada)

Factor [Nq]	8.4
Factor [Nc]	19.12
Factor [Ng]	5.88
Factor forma [Sc]	1.3
Factor forma [Sg]	0.8
Factor corrección sísmico inercial [zq]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zg]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zc]	1.0
Carga última	5.13 Kg/cm²
Resistencia de proyecto	1.71 Kg/cm²

Condición de comprobación [Ed<=Rd] Comprobado

Autor: MEYERHOF (1963) (Condición drenada)

Factor [Nq]	7.18
Factor [Nc]	15.97
Factor [Ng]	1.15
Factor forma [Sc]	1.35
Factor profundidad [Dc]	1.0
Factor inclinación cargas [Ic]	1.0
Factor forma [Sq]	1.17
Factor profundidad [Dq]	1.0
Factor inclinación cargas [Iq]	1.0
Factor forma [Sg]	1.17
Factor profundidad [Dg]	1.0
Factor inclinación cargas [Ig]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zq]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zg]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zc]	1.0
Carga última	3.89 Kg/cm²
Resistencia de proyecto	1.3 Kg/cm²

Condición de comprobación [Ed<=Rd] Comprobado

7.7. Asentamientos totales

7.7.1. Asientos de Schmertmann

Un método alternativo para calcular los asientos es el propuesto por Schmertmann (1970), el cual ha correlaciona la variación del bulbo tensiones a la deformación. Schmertmann por lo tanto propone considerar un diagrama de las deformaciones de forma triangular donde la profundidad a la cual se tienen deformaciones significativas se toma como igual a 4B, en el caso de cimentaciones corridas, para cimentaciones cuadradas o circulares es igual a 2B.

Según este acercamiento el asiento se expresa con la siguiente ecuación:

$$w = C_1 \cdot C_2 \cdot \Delta q \cdot \Sigma \frac{I_z \cdot \Delta z}{E}$$

En la cual:

Δq: representa la carga neta aplicada a la cimentación;

I_Z: es un factor de deformación cuyo valor es nulo a la profundidad de **2B,** para cimentaciones circulares o cuadradas, y a profundidad **4B,** para cimentaciones corridas (lineales).

El valor máximo de **I_Z** se verifica a una profundidad respectivamente igual a:

B/2: para cimentaciones circulares o cuadradas

B: para cimentaciones corridas

y vale

$$I_{z\,max} = 0.5 + 0.1 \cdot \left(\frac{\Delta q}{\sigma'_{vi}} \right)^{0.5}$$

donde σ'_{vi} representa la tensión vertical eficaz a la profundidad B/2 para cimentaciones circulares o cuadradas, y a profundidad B para cimentaciones corridas.

E_i representa el módulo de deformación del terreno correspondiente al estrato **i-ésimo** considerado en el cálculo;

Δ_{zi} representa el espesor del estrato **i-ésimo**;

C_1 e **C_2** son dos coeficientes correctores.

El módulo **E** se considera igual a **2.5 q_c** para cimentaciones circulares o cuadradas e igual a **3.5 q_c** para cimentaciones corridas. En los casos intermedios, se interpola en función del valor de **L/B**.

El término **q_c** que interviene en la determinación de **E** representa la resistencia a la puntaza obtenida con la prueba CPT.

Las expresiones de los dos coeficientes **C_1** y **C_2** son:

$$C_1 = 1 - 0.5 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\Delta q} > 0.5$$

que toma en cuenta la profundidad del plano de cimentación.

$$C_2 = 1 + 0.2 \cdot log \frac{t}{0.1}$$

que toma en cuenta las deformaciones diferidas en el tiempo por efecto secundario.

En la expresión t representa el tiempo, expresado en años después de haber terminado la construcción, de acuerdo con el cual se calcula el asentamiento.

Cálculo de asentamientos

Z: Profundidad promedio del estrato; Dp: Incremento de tensiones; Wc: Asiento de consolidación; Ws:Asiento secundario (deformaciones viscosas); Wt: Asiento total.

Tabla 85. *Asentamientos por estrato- estribo izquierdo*

Estrato	Z (m)	Tensión (Kg/cm²)	Dp (Kg/cm²)	Método	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	3.9	0	0	Schmertmann	1.27	0.43	1.7

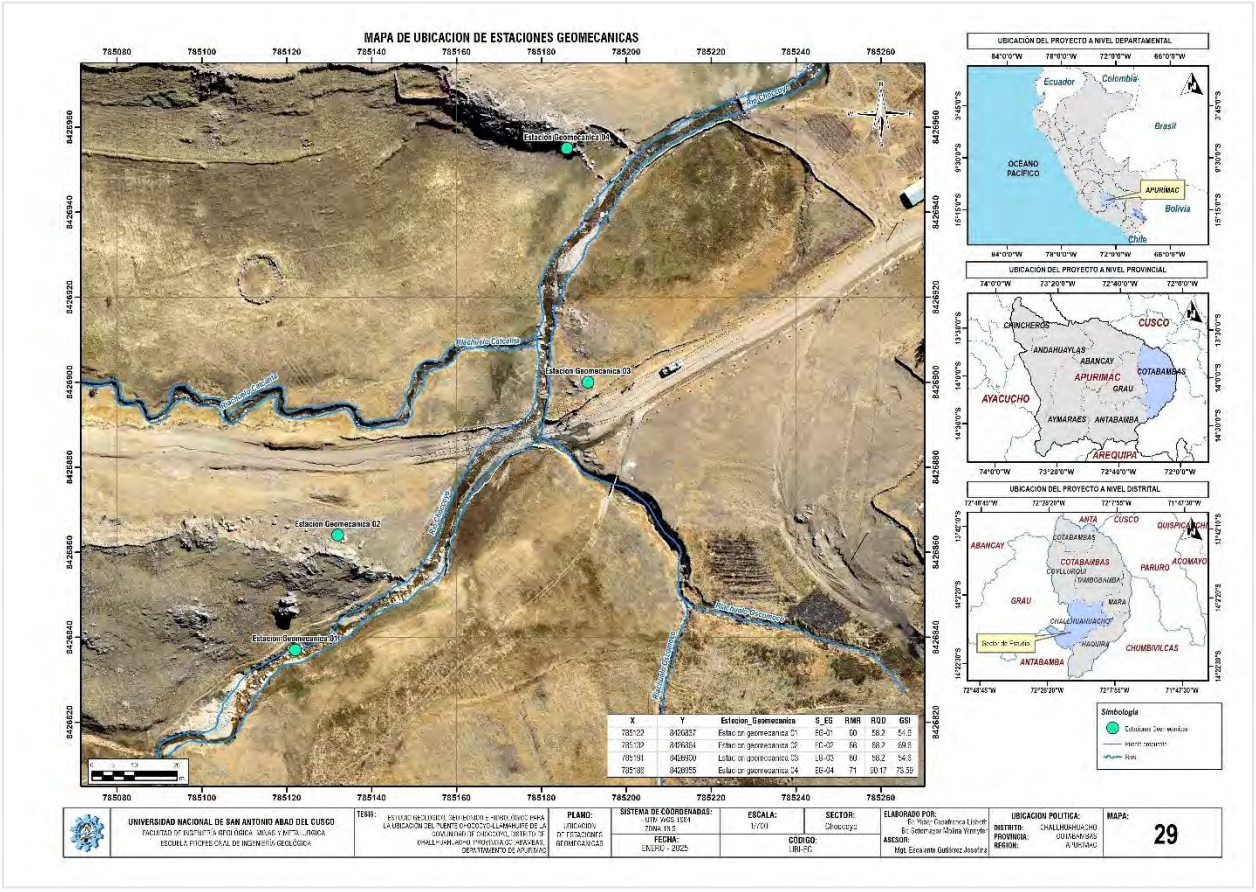
Tabla 86. *Asentamientos por estrato- estribo derecho*

Estrato	Z (m)	Tensión (Kg/cm²)	Dp (Kg/cm²)	Método	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	3.85	0	0	Schmertmann	0.03	0.01	0.04

7.8. Clasificaciones Geomecánicas

La clasificación geomecánica es un método empírico que busca caracterizar la calidad de un macizo rocoso de forma sistemática y numérica. Su objetivo es relacionar las propiedades del macizo con su comportamiento mecánico, lo cual es fundamental para el diseño de obras como túneles, cimentaciones y taludes. Los tres sistemas de clasificación más reconocidos y utilizados a nivel mundial, respaldados por una vasta literatura científica, son el RMR, el Sistema Q y el GSI.

Figura 134. *Mapa de ubicación de estaciones geomecánicas*



7.8.1. Rock Mass Rating (RMR)

Desarrollado por **Z.T. Bieniawski** en 1973 y revisado en 1989, el RMR (Rock Mass Rating) es uno de los sistemas más utilizados a nivel global. Se basa en la suma de puntuaciones asignadas a cinco parámetros principales, a los que se aplica una corrección por la orientación de las discontinuidades.

Parámetros:

1. **Resistencia a la compresión simple** de la roca intacta.
2. **RQD** (Rock Quality Designation).
3. **Espaciamiento** de las discontinuidades.
4. **Condición de las discontinuidades** (rugosidad, relleno, alteración).
5. **Presencia de agua subterránea**.

Fórmula: La puntuación final del RMR se calcula sumando las puntuaciones de los cinco parámetros base y restando un factor de ajuste por la orientación de las discontinuidades. El RMR final va de 0 a 100, clasificando la roca en 5 clases de calidad (desde muy mala hasta muy buena).

7.8.2. Geological Strength Index (GSI)

El GSI, desarrollado por E. Hoek y otros, es un sistema de clasificación que proporciona un valor para estimar las propiedades de resistencia y deformabilidad del macizo rocoso. A diferencia del RMR y el Sistema Q, el GSI es cualitativo y se obtiene visualmente a partir de la observación en campo del macizo rocoso.

Parámetros:

1. Estructura del macizo rocoso: Se basa en el grado de fracturamiento y la forma de los bloques.

2. Condiciones de las discontinuidades: Se evalúa la rugosidad y la alteración de las superficies.

Uso: El valor del GSI se utiliza directamente en el criterio de falla de Hoek-Brown para determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso (m b, s y a), que son esenciales en el diseño de cimentaciones y taludes en roca.

Se observa que en el sector de estudio los afloramientos poseen RMR básico que varía entre 60 a 71, mientras que el RQD oscila entre 58% a 90%, asimismo el GSI se encuentra entre 54.60 a 73.59. Tales valores se encuentran a continuación:

Figura 135. *Estación geomecánica 01*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FECHA:	12/09/2024	ESTACION GEOMECANICA 1	Control Estructural		5	Frecuencia de Fracturamiento x m	7
REALIZADO POR:	L. Yabar & Y. Sotomayor		RQD	$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda+1)$	83.92	λ=1/S	7.14
ESTE:	785122.00					S= espaciamiento promedio en metros	0.14
NORTE:	8426837.00	EG-01	GSI	$GSI = 1.5\ JCond_{89}+RQD/2$	70.46	Tamaño de Bloque (m3)	0.002744
ALTITUD:	-					Resistencia Estimada (Mpa)	75

GEOMETRIA:	Longitud:	4 m
	Altura Maxima:	2 m
TALUD:	DIP:	51
	DIP DIRECTION :	142
GEOLOGIA:	Litologia:	Areniscas Cuarzosas
	Tipo de Roca:	Sedimentaria
	Tipo de Estructura:	Estratificada

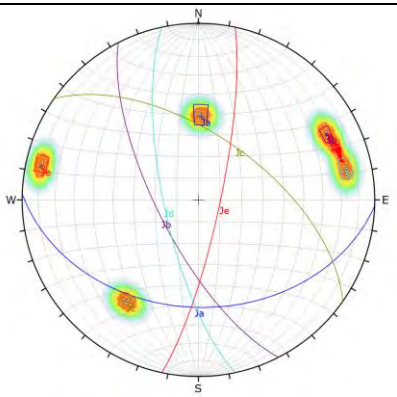
TIPO O FORMA	ORIENTACION	
	DIP	DIP DIR:
Ja	39	182
Jb	71	243
Jc	60	35
Jd	74	258
Je	80	102

N estructuras	N Extremos visibles	Rugosidad Estructura	JRC	Tipo de Relleno 1	Tipo de Relleno 2	Forma Estructura
20	1	Rugosa y Ondulada	11	Ox	-	Plana

FOTO MACIZO ROCOSO:



ESTEREOGRAFIA:



PARAMETROS	RESISTENCIA DE LA ROCA							INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA					ESPACIADO DE LA DISCONTINUIDAD					CONDICIONES DE LA DISCONTINUIDAD																						CONDICION HIDROLOGICA					AJUSTE ORIENTACION DISCONTINUIDADES					RMR BASICO
	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL (Mpa)							RQD(%)					ESPACIADO (mm)					CONTINUIDAD (m)					ABERTURA (mm)					RUGOSIDAD					RELLENO					METEORIZACION					GRADO DE HUMEDAD (Bieniawski, 1989)					PUNTAJE SEGÚN EL TIPO DE TRABAJO					
RANGOS Y VALORES	> 250	100-250	50-100	50-25	25-5	5-1	<1	100-90	75-90	50-75	25-50	<25	Muy juntas	Juntas	Modern. Juntas	Separdas	Muy Separadas	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Cerrada	Abierta				Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Suave - Ondulada	Pulida	Ninguno	Relleno Duro	Relleno Duro	Relleno Blando	Relleno Blando	Inalterado	Ligeramente alterada	Moderadamente Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	CIMENTACIONES (F)					
													<60	≥60 <200	≥200 <600	≥600<2000	≥2000	< 1	≥1 <3	≥3 <10	≥10<20	≥20	ninguna	< 0.1 mm	≥0.10 <1mm	≥1 <5mm	≥5 mm						ninguno	<5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm											MUY FAVORABLE (VF)	FAVORABLE (FV)	REGULAR (FR)	DESFAVORABLE (UF)	MUY DESFAVORABLE (VU)	
	15	12	7	4	2	1	0	20	17	13	8	3	5	8	10	15	20	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	2	0	6	5	3	1	0	15	10	7	4	0	0	-2	-7	-15	-25	
VALORES	7							17					10					6					1					3					4					5					15					-15					68

VALOR TOTAL RMR CORREGIDO	53

CLASE DE MACIZO ROCOSO

VALORACION RMR	100-81	80-61	60-51	50-41	40-31	30-21	20-0	II Buena
CALIDAD	I Muy Buena	II Buena	IIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala	II Buena
COHESION	> 4 kg/cm2	4-3 kg/cm2	3-2 kg/cm2		2-1 kg/cm2		1 kg/cm2	4-3 kg/cm2
ANGULO DE ROZAMIENTO	>45°	45°-35°	35°-25°		25°-15°		<15°	45°-35°

Figura 136. *Estación geomecánica 02*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

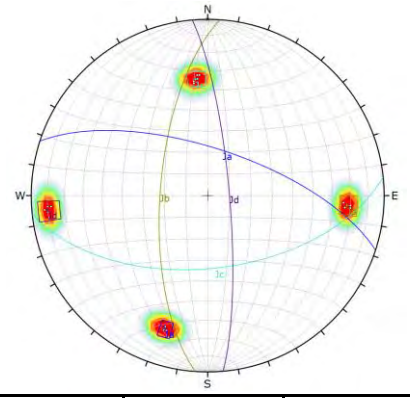
FECHA:	12/09/2024	ESTACION GEOMECANICA 2	Control Estructural		4	Frecuencia de Fracturamiento x m	6
REALIZADO POR:	L. Yabar & Y. Sotomayor		RQD	$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda+1)$	88.20	λ=1/S	5.88
ESTE:	785132.00					S= espaciamiento promedio en metros	0.17
NORTE:	8426864.00	EG-02	GSI	$GSI = 1.5\ JCond_{89}+RQD/2$	69.60	Tamaño de Bloque (m3)	0.004913
ALTITUD:	-					Resistencia Estimada (Mpa)	75

GEOMETRIA:	Longitud:	40 m
	Altura Maxima:	3 m
TALUD:	DIP:	42
	DIP DIRECTION :	29
GEOLOGIA:	Litologia:	Cuarzo Arenita
	Tipo de Roca:	Sedimentaria
	Tipo de Estructura:	Estratificada

FOTO MACIZO ROCOSO:



ESTEREOGRAFIA:



TIPO O FORMA	ORIENTACION DIP	ORIENTACION DIP DIR:	N estructuras	N Extremos visibles	Rugosidad Estructura	JRC	Tipo de Relleno 1	Tipo de Relleno 2	Forma Estructura
Ja	68	18	100	1	Rugosa y Ondulada	16	Ox	-	Plana
Jb	68	274							
Jc	56	174							
Jd	80	85							

PARAMETROS	RESISTENCIA DE LA ROCA							INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA					ESPACIADO DE LA DISCONTINUIDAD					CONDICIONES DE LA DISCONTINUIDAD																					CONDICION HIDROLOGICA					AJUSTE ORIENTACION DISCONTINUIDADES						RMR BASICO
	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL (Mpa)							RQD(%)					ESPACIADO (mm)					CONTINUIDAD (m)					ABERTURA (mm)					RUGOSIDAD					RELLENO					METEORIZACION					GRADO DE HUMEDAD (Bieniawski, 1989)					PUNTAJE SEGÚN EL TIPO DE TRABAJO						
RANGOS Y VALORES	> 250	100-250	50-100	50-25	25-5	5-1	<1	100-90	75-90	50-75	25-50	<25	Muy juntas	Juntas	Modern. Juntas	Separadas	Muy Separadas	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Cerrada	Abierta				Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Suave - Ondulada	Pulida	Ninguno	Relleno Duro	Relleno Duro	Relleno Blando	Relleno Blando	Inalterado	Ligeramente alterada	Moderadamente Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	CIMENTACIONES (F)					
													<60	≥60 <200	≥200 <600	≥600<2000	≥2000	< 1	≥1 <3	≥3 <10	≥10<20	≥20	ninguna	< 0.1 mm	≥0.10 <1mm	≥1 <5mm	≥5 mm						ninguno	<5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm											MUY FAVORABLE (VF)	FAVORABLE (FV)	REGULAR (FR)	DESFAVORABLE (UF)	MUY DESFAVORABLE (VU)	
	15	12	7	4	2	1	0	20	17	13	8	3	5	8	10	15	20	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	2	0	6	5	3	1	0	15	10	7	4	0	0	-2	-7	-15	-25	
VALORES	7							17					10					2					1					5					4					5					15					-15					66

VALOR TOTAL RMR CORREGIDO	51

CLASE DE MACIZO ROCOSO

VALORACION RMR	100-81	80-61	60-51	50-41	40-31	30-21	20-0	II Buena
CALIDAD	I Muy Buena	II Buena	IIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala	II Buena
COHESION	> 4 kg/cm2	4-3 kg/cm2	3-2 kg/cm2		2-1 kg/cm2		1 kg/cm2	4-3 kg/cm2
ANGULO DE ROZAMIENTO	>45°	45°-35°	35°-25°		25°-15°		<15°	45°-35°

Figura 137. *Estación geomecánica 03*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FECHA:	12/09/2024	ESTACION GEOMECANICA 3	Control Estructural		4	Frecuencia de Fracturamiento x m	14
REALIZADO POR:	Ing.Carlos Lopez De La Torre		RQD	RQD = $100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda+1)$	58.20	λ=1/S	14.29
ESTE:	785191.00					S= espaciamiento promedio en metros	0.07
NORTE:	8426900.00	EG-03	GSI	GSI = 1.5 $JCond_{89}$+RQD/2	54.60	Tamaño de Bloque (m3)	0.000343
ALTITUD:	-					Resistencia Estimada (Mpa)	75

GEOMETRIA:	Longitud:	4 m
	Altura Maxima:	1.5 m
TALUD:	DIP:	39
	DIP DIRECTION :	285
GEOLOGIA:	Litologia:	Arcosas
	Tipo de Roca:	Sedimentaria
	Tipo de Estructura:	Estratificada

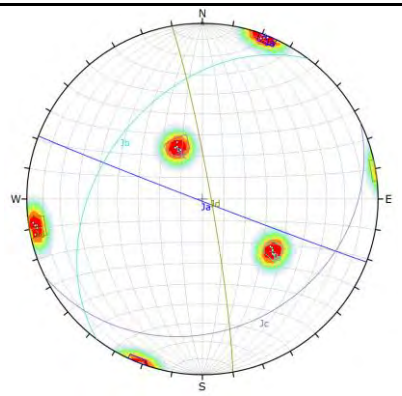
TIPO O FORMA	ORIENTACION	
	DIP	DIP DIR:
Ja	89	201
Jb	41	307
Jc	26	154
Jd	86	80

N estructuras	N Extremos visibles	Rugosidad Estructura	JRC	Tipo de Relleno 1	Tipo de Relleno 2	Forma Estructura
100	1	Rugosa y Ondulada	10	Ox	-	Plana

FOTO MACIZO ROCOSO:



ESTEREOGRAFIA:



PARAMETROS	RESISTENCIA DE LA ROCA							INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA					ESPACIADO DE LA DISCONTINUIDAD					CONDICIONES DE LA DISCONTINUIDAD																					CONDICION HIDROLOGICA					AJUSTE ORIENTACION DISCONTINUIDADES					RMR BASICO
	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL (Mpa)							RQD(%)					ESPACIADO (mm)					CONTINUIDAD (m)					ABERTURA (mm)					RUGOSIDAD					RELLENO					METEORIZACION					GRADO DE HUMEDAD (Bieniawski, 1989)					PUNTAJE SEGÚN EL TIPO DE TRABAJO					
RANGOS Y VALORES	> 250	100-250	50-100	50-25	25-5	5-1	<1	100-90	75-90	50-75	25-50	<25	Muy juntas	Juntas	Modern. Juntas	Separadas	Muy Separadas	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Cerrada	Abierta				Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Suave - Ondulada	Pulida	Ninguno	Relleno Duro	Relleno Duro	Relleno Blando	Relleno Blando	Inalterado	Ligeramente alterada	Moderadamente Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	CIMENTACIONES (F)					
													<60	≥60 <200	≥200 <600	≥600<2000	≥2000	< 1	≥1 <3	≥3 <10	≥10<20	≥20	ninguna	< 0.1 mm	≥0.10 <1mm	≥1 <5mm	≥5 mm						ninguno	<5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm											MUY FAVORABLE (VF)	FAVORABLE (FV)	REGULAR (FR)	DESFAVORABLE (UF)	MUY DESFAVORABLE (VU)	
	15	12	7	4	2	1	0	20	17	13	8	3	5	8	10	15	20	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	2	0	6	5	3	1	0	15	10	7	4	0	0	-2	-7	-15	-25	
VALORES	7							13					8					4					1					5					4					3					15					-15					60

VALOR TOTAL RMR CORREGIDO	45

CLASE DE MACIZO ROCOSO

VALORACION RMR	100-81	80-61	60-51	50-41	40-31	30-21	20-0	II Regular
CALIDAD	I Muy Buena	II Buena	IIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala	IIA Regular A
COHESION	> 4 kg/cm2	4-3 kg/cm2	3-2 kg/cm2		2-1 kg/cm2		1 kg/cm2	3-2 kg/cm2
ANGULO DE ROZAMIENTO	>45°	45°-35°	35°-25°		25°-15°		<15°	35°-25°

Figura 138. *Estación geomecánica 04*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FECHA:	12/09/2024	ESTACION GEOMECANICA 4	Control Estructural		4	Frecuencia de Fracturamiento x m	5
REALIZADO POR:	L. Yabar & Y. Sotomayor		RQD	RQD = $100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda+1)$	90.17	λ=1/S	5.26
ESTE:	785186.00					S= espaciamiento promedio en metros	0.19
NORTE:	8426955.00	EG-04	GSI	GSI = 1.5 $JCond_{89}$+RQD/2	73.59	Tamaño de Bloque (m3)	0.006859
ALTITUD:	-					Resistencia Estimada (Mpa)	75

GEOMETRIA:	Longitud:	40 m
	Altura Maxima:	8m
TALUD:	DIP:	51
	DIP DIRECTION :	177
GEOLOGIA:	Litologia:	Tuff de ceniza y lapilli(CL)
	Tipo de Roca:	Sedimentaria Volcanica
	Tipo de Estructura:	Estratificada

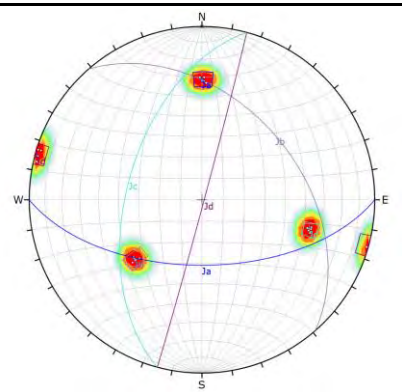
TIPO O FORMA	ORIENTACION	
	DIP	DIP DIR:
Ja	59	180
Jb	43	49
Jc	54	285
Jd	89	105

N estructuras	N Extremos visibles	Rugosidad Estructura	JRC	Tipo de Relleno 1	Tipo de Relleno 2	Forma Estructura
20	0	Suahve y Escalonada	4	-	-	Plana

FOTO MACIZO ROCOSO:



ESTEREOGRAFIA:



PARAMETROS	RESISTENCIA DE LA ROCA							INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA					ESPACIADO DE LA DISCONTINUIDAD					CONDICIONES DE LA DISCONTINUIDAD																						CONDICION HIDROLOGICA					AJUSTE ORIENTACION DISCONTINUIDADES						RMR BASICO
	RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL (Mpa)							RQD(%)					ESPACIADO (mm)					CONTINUIDAD (m)					ABERTURA (mm)					RUGOSIDAD					RELLENO					METEORIZACION					GRADO DE HUMEDAD (Bieniawski, 1989)					PUNTAJE SEGÚN EL TIPO DE TRABAJO						
RANGOS Y VALORES	> 250	100-250	50-100	50-25	25-5	5-1	<1	100-90	75-90	50-75	25-50	<25	Muy juntas	Juntas	Modern. Juntas	Separdas	Muy Separadas	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Cerrada	Abierta				Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Suave - Ondulada	Pulida	Ninguno	Relleno Duro	Relleno Duro	Relleno Blando	Relleno Blando	Inalterado	Ligeramente alterada	Moderadamente Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Agua fluyendo	CIMENTACIONES (F)					
													<60	≥60 <200	≥200 <600	≥600<2000	≥2000	< 1	≥1 <3	≥3 <10	≥10<20	≥20	ninguna	< 0.1 mm	≥0.10 <1mm	≥1 <5mm	≥5 mm						ninguno	<5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm											MUY FAVORABLE (VF)	FAVORABLE (FV)	REGULAR (FR)	DESFAVORABLE (UF)	MUY DESFAVORABLE (VU)	
	15	12	7	4	2	1	0	20	17	13	8	3	5	8	10	15	20	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	2	0	6	5	3	1	0	15	10	7	4	0	0	-2	-7	-15	-25	
VALORES	7							20					10					2					1					5					6					5					15					-15					71

VALOR TOTAL RMR CORREGIDO	56

CLASE DE MACIZO ROCOSO

VALORACION RMR	100-81	80-61	60-51	50-41	40-31	30-21	20-0	Buena
CALIDAD	I Muy Buena	II Buena	IIA Regular A	IIIB Regular B	IVA Mala A	IVB Mala B	V Muy Mala	II Buena
COHESION	> 4 kg/cm2	4-3 kg/cm2	3-2 kg/cm2		2-1 kg/cm2		1 kg/cm2	4-3 kg/cm2
ANGULO DE ROZAMIENTO	>45°	45°-35°	35°-25°		25°-15°		<15°	45°-35°

Figura 139. *Mapa geotécnico*

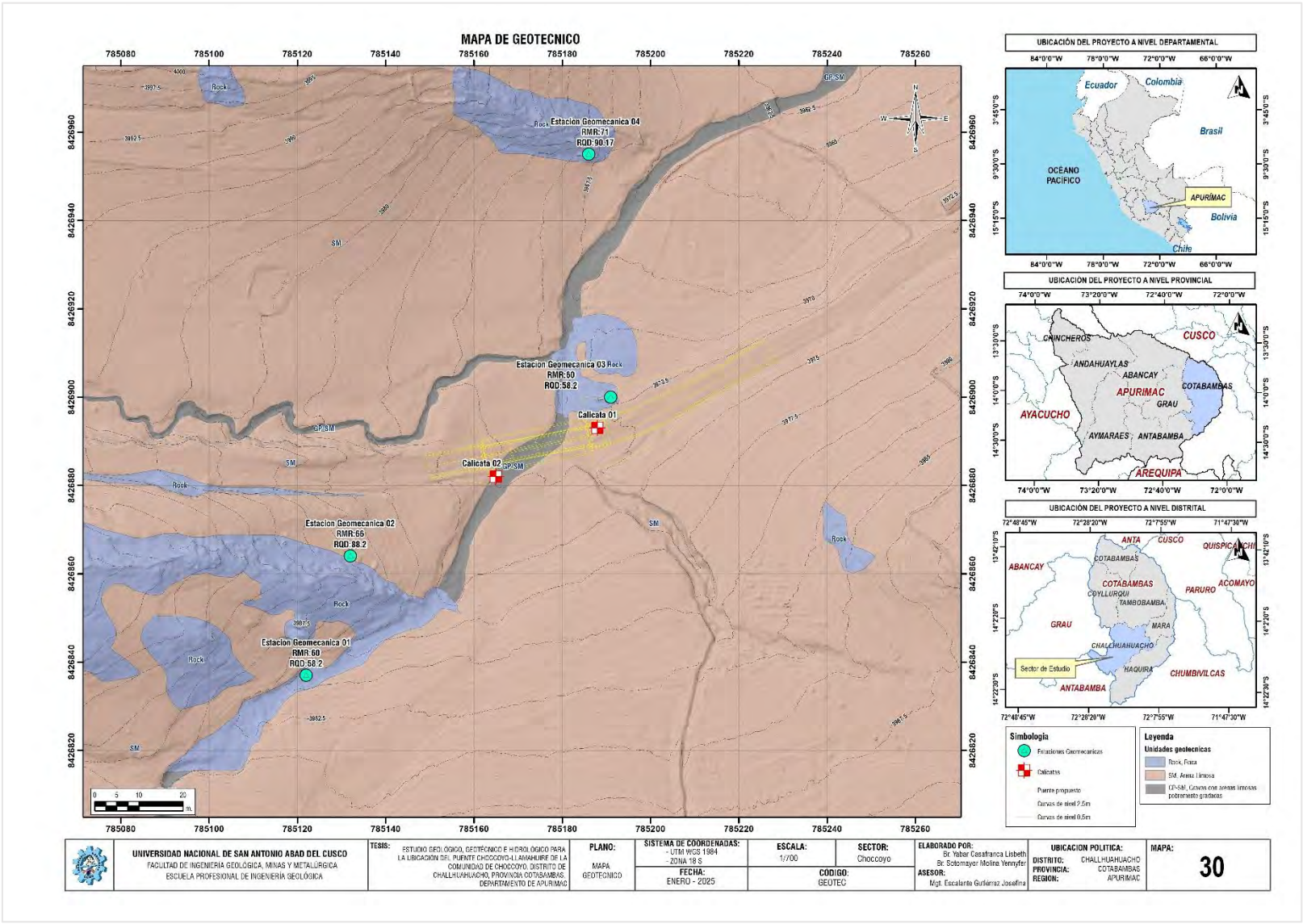


Figura 140. *Perfil Geotécnico*



Capítulo VIII

Riesgos geológicos

El presente capítulo sintetiza los resultados del Estudio de Vulnerabilidad y Análisis de Riesgo (EVAR) elaborado para el proyecto de puente vehicular del tramo Choccoyo–Llamahuire, siguiendo la metodología del CENEPRED (Manual EVAR, versión 2, 2015) y el Proceso de Análisis Jerárquico (Método SAATY) para la ponderación de parámetros. El contenido se organiza en tres componentes secuenciales peligro, vulnerabilidad y riesgo, seguidos de las medidas de control y prevención recomendadas.

8.1. Determinación del peligro

8.1.1. Identificación del fenómeno evaluado

Dada la localización de la infraestructura vial sobre un sector de cauce de drenaje, se identificó la erosión fluvial como el peligro crítico para la infraestructura del puente. Este fenómeno es desencadenado por eventos de máxima avenida (caudales de diseño para distintos periodos de retorno, estimados en el estudio hidrológico) y condicionado por la disposición estructural del macizo rocoso y las unidades geomorfológicas del sector.

8.1.2. Factores condicionantes y desencadenantes

La susceptibilidad del ámbito de estudio ante la erosión fluvial se evaluó a partir de los siguientes parámetros y sus respectivos descriptores, ponderados mediante el método SAATY:

- Factores condicionantes: unidades geológicas (litología), unidades geomorfológicas y unidades de pendiente del terreno.
- Factor desencadenante: caudales para distintos periodos de retorno, asociados a precipitaciones máximas en 24 horas (umbral de precipitación RR > 34.3 mm).

- Parámetro de evaluación: velocidad del flujo, obtenida mediante modelamiento hidráulico en HEC-RAS.

8.1.3. Estratificación del nivel de peligro

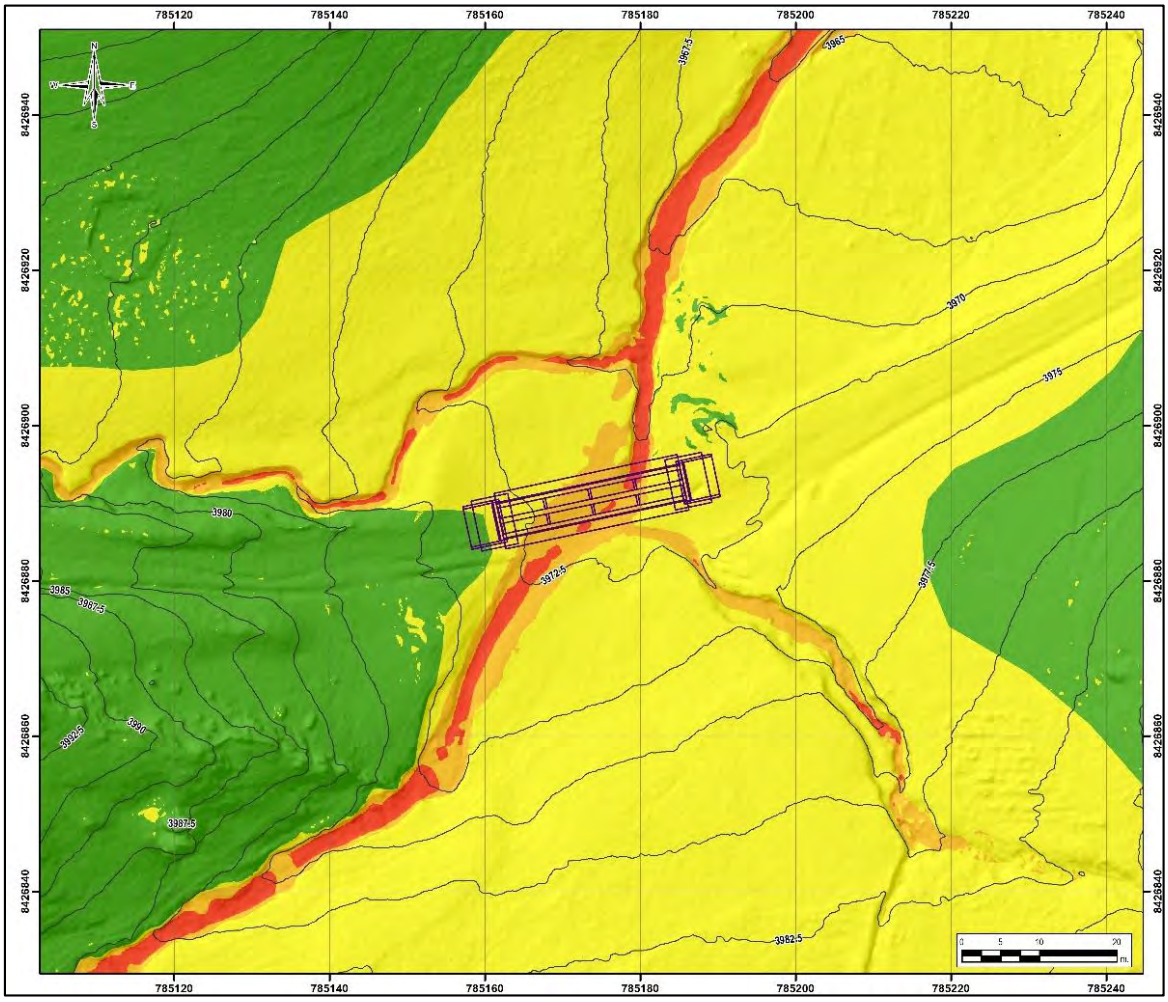
La aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico permitió definir cuatro niveles de peligrosidad por erosión fluvial, con los siguientes rangos e indicadores característicos:

Tabla 87. *Estratificación del nivel de peligro*

Nivel	Rango	Velocidad de flujo característica	Contexto geomorfológico / geológico dominante
Muy Alto	0.260 < P ≤ 0.503	3.000 – 6.332 m/s	Llanura de inundación (Llln); depósitos fluviales (Q-flv); pendiente llana a inclinada (0°–5°)
Alto	0.134 ≤ P < 0.260	1.500 – 3.000 m/s	Depósitos lacustres (Q-Lcs); pendiente llana a inclinada (0°–5°)
Medio	0.068 ≤ P < 0.134	1.200 – 1.500 m/s	Terrazas (Trz); depósitos coluviales (Q-Co); pendiente empinada (15°–25°)
Bajo	0.035 ≤ P < 0.068	0.003 – 0.600 m/s	Laderas y cima de montaña (LdM, Ci-M); limoarenitas y areniscas cuarzo-feldespáticas; pendiente fuertemente empinada a escarpada (>25°)

Fuente*: elaboración propia a partir del EVAR del proyecto.*

Figura 141. *Peligro por erosión fluvial en el sector de estudio*



8.2. Análisis de vulnerabilidad

La vulnerabilidad de los elementos expuestos (estribos, vigas transversales, vigas longitudinales y losas del puente) se evaluó en tres dimensiones social, económica y ambiental, cada una desagregada en parámetros de exposición, fragilidad y resiliencia, ponderados igualmente mediante el método SAATY.

8.2.1. Dimensiones evaluadas

- Dimensión social: población afectada por rango etario, accesibilidad vial, nivel de conocimiento en gestión del riesgo de desastres y actitud de la población frente al riesgo.

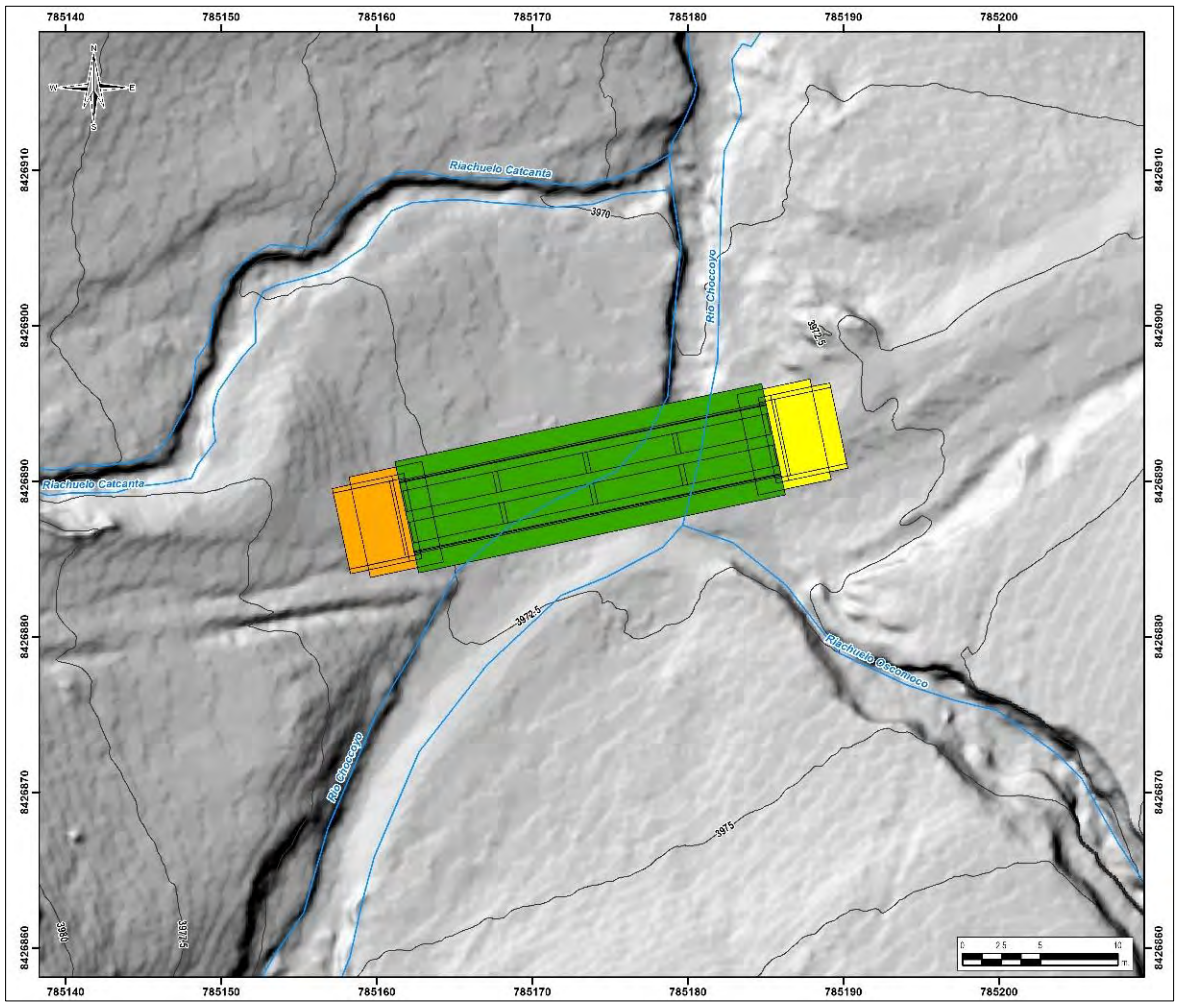
- Dimensión económica: cercanía de la infraestructura a la zona de peligro, material predominante de construcción y estado de conservación / cumplimiento del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).
- Dimensión ambiental: nivel de contaminación del cuerpo de agua, alteración de ecosistemas acuáticos y calidad del agua, así como el nivel de conocimiento y manejo ambiental de la población.

Tabla 88. *Estratificación del nivel de vulnerabilidad*

Nivel	Rango	Rasgos característicos
Muy Alta	0.286 < V ≤ 0.443	Sin ruta de acceso alterna; nulo conocimiento en GRD; actitud fatalista; edificación a 0–5 m de la zona de peligro; material precario (quincha/adobe); no cumple el RNE.
Alta	0.152 < V ≤ 0.286	Una sola ruta de acceso; conocimiento básico en GRD; edificación hasta 10 m de la zona de peligro; material adobe; cumplimiento parcial del RNE.
Media	0.079 < V ≤ 0.152	Dos rutas de acceso; conocimiento intermedio en GRD; edificación hasta 15 m de la zona de peligro; material acero/drywall; cumplimiento moderado del RNE.
Baja	0.040 ≤ V ≤ 0.079	Más de tres rutas de acceso; conocimiento avanzado en GRD aplicado; edificación a más de 20 m de la zona de peligro; estructura nueva en acero/albañilería; cumplimiento total del RNE.

Fuente*: elaboración propia a partir del EVAR del proyecto.*

Figura 142. *Vulnerabilidad por erosión fluvial*



8.3. Cálculo del nivel de riesgo

El nivel de riesgo se determinó como función del peligro y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, conforme a la expresión general del CENEPRED:

$$R = f(P, V)$$

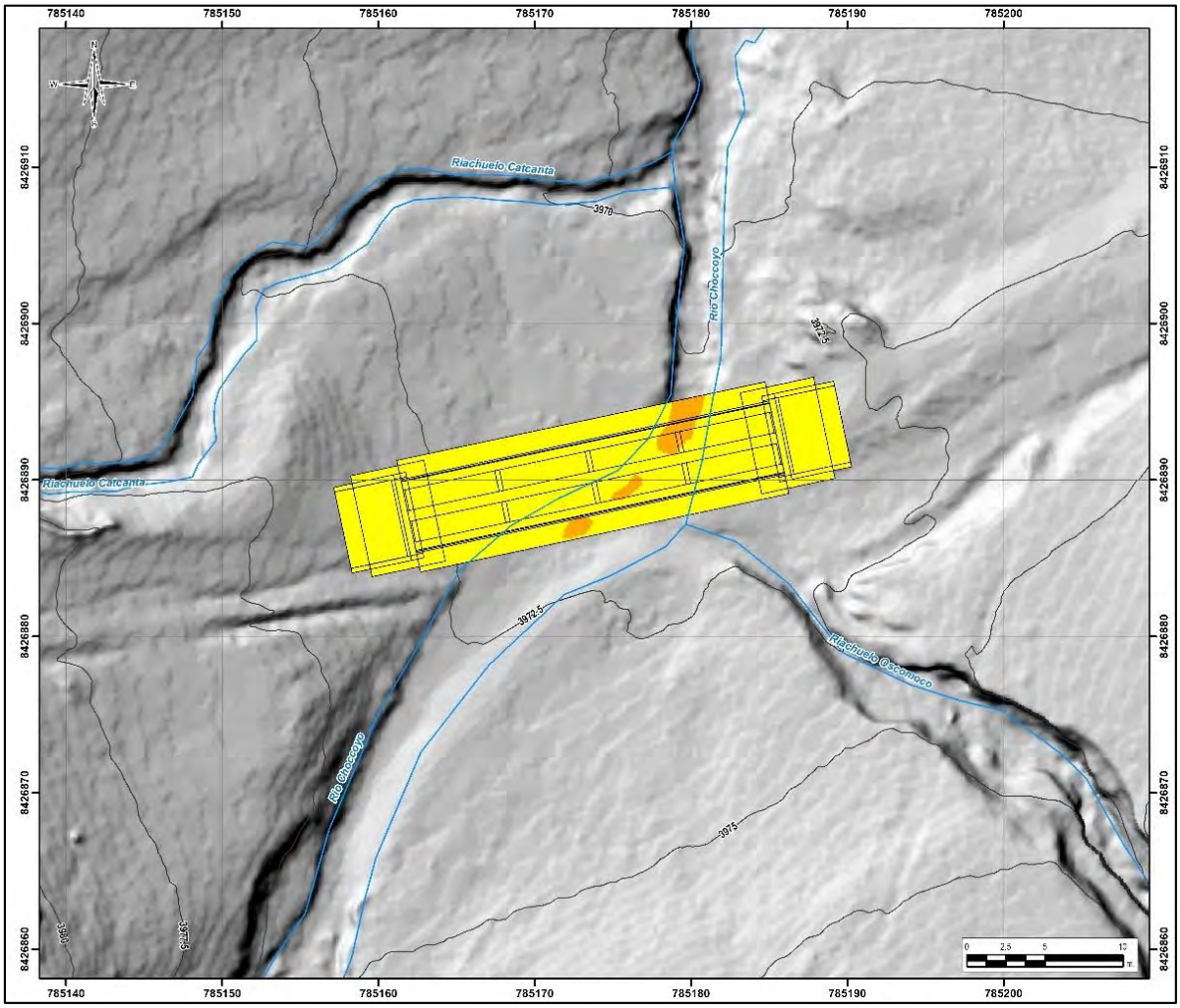
donde R es el nivel de riesgo, P el nivel de peligro con intensidad igual o mayor a un umbral "i" durante el periodo de exposición "t", y V la vulnerabilidad del elemento expuesto "e". El cruce matricial de ambos factores, mediante el Proceso de Análisis Jerárquico, definió los siguientes rangos de riesgo:

Tabla 89. *Estratificación del nivel de riesgo*

Nivel de riesgo	Rango
Muy Alto	0.074 < R ≤ 0.223
Alto	0.020 < R ≤ 0.074
Medio	0.005 < R ≤ 0.020
Bajo	0.001 ≤ R ≤ 0.005

***Fuente**: elaboración propia a partir del EVAR del proyecto.*

***Figura 143**. Riesgo por erosión fluvial*



8.3.1. Elementos expuestos y resultados obtenidos

Se identificaron en total 21 elementos estructurales expuestos: 2 estribos, 6 vigas transversales, 3 vigas longitudinales y 10 losas de concreto. La distribución de estos elementos según nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo se resume a continuación.

a) Distribución por nivel de peligro

Peligro Muy Alto: 4 losas de concreto, 1 viga transversal, 1 viga longitudinal.

Peligro Alto: 5 losas de concreto, 5 vigas transversales.

Peligro Medio: 1 losa de concreto, 2 estribos.

b) Distribución por nivel de vulnerabilidad

Vulnerabilidad Alta: 1 estribo.

Vulnerabilidad Media: 1 estribo.

Vulnerabilidad Baja: 6 vigas transversales, 3 vigas longitudinales, 10 losas de concreto.

c) Distribución por nivel de riesgo

Riesgo Medio: 2 estribos, 5 losas de concreto, 5 vigas transversales.

Riesgo Alto: 5 losas de concreto, 3 vigas longitudinales, 1 viga transversal.

El análisis muestra que el riesgo más severo se concentra en las losas de concreto y las vigas longitudinales, mientras que los estribos pese a registrar peligro medio alcanzan un nivel de vulnerabilidad más alto por su proximidad a la zona de erosión, lo que los mantiene en un nivel de riesgo medio.

8.3.2. Cálculo de pérdidas probables

Cualitativamente, el estudio concluye que el riesgo potencial significativo de la infraestructura se ubica entre los niveles Medio y Alto, sin llegar a comprometer la interrupción total del sistema vial. Cuantitativamente, el costo total de las infraestructuras críticas expuestas

(activo "Adecuada infraestructura de paso vehicular") asciende a S/ 1,646,889.35, incluyendo costo directo, gastos generales, utilidad, IGV, supervisión de obra, elaboración de expediente técnico y gestión del proyecto.

8.4. Control de riesgo

8.4.1. Aceptabilidad y tolerancia

La aplicación de medidas preventivas y correctivas reduce la probabilidad de pérdidas, pero no elimina totalmente el riesgo por erosión fluvial. Conforme a la matriz de valoración de consecuencia y frecuencia de recurrencia del CENEPRED (2014), el riesgo del sector se calificó con un nivel de consecuencia y frecuencia media, lo que lo ubica en un nivel de aceptabilidad y/o tolerancia bajo, sin llegar a constituir un peligro significativo para la infraestructura.

En cuanto a la prioridad de intervención, la evaluación asigna al proyecto el Nivel de Priorización III, correspondiente a un riesgo tolerable, para el cual el CENEPRED recomienda desarrollar actividades de manejo de riesgo (no necesariamente medidas inmediatas o prioritarias, reservadas a los niveles I y II).

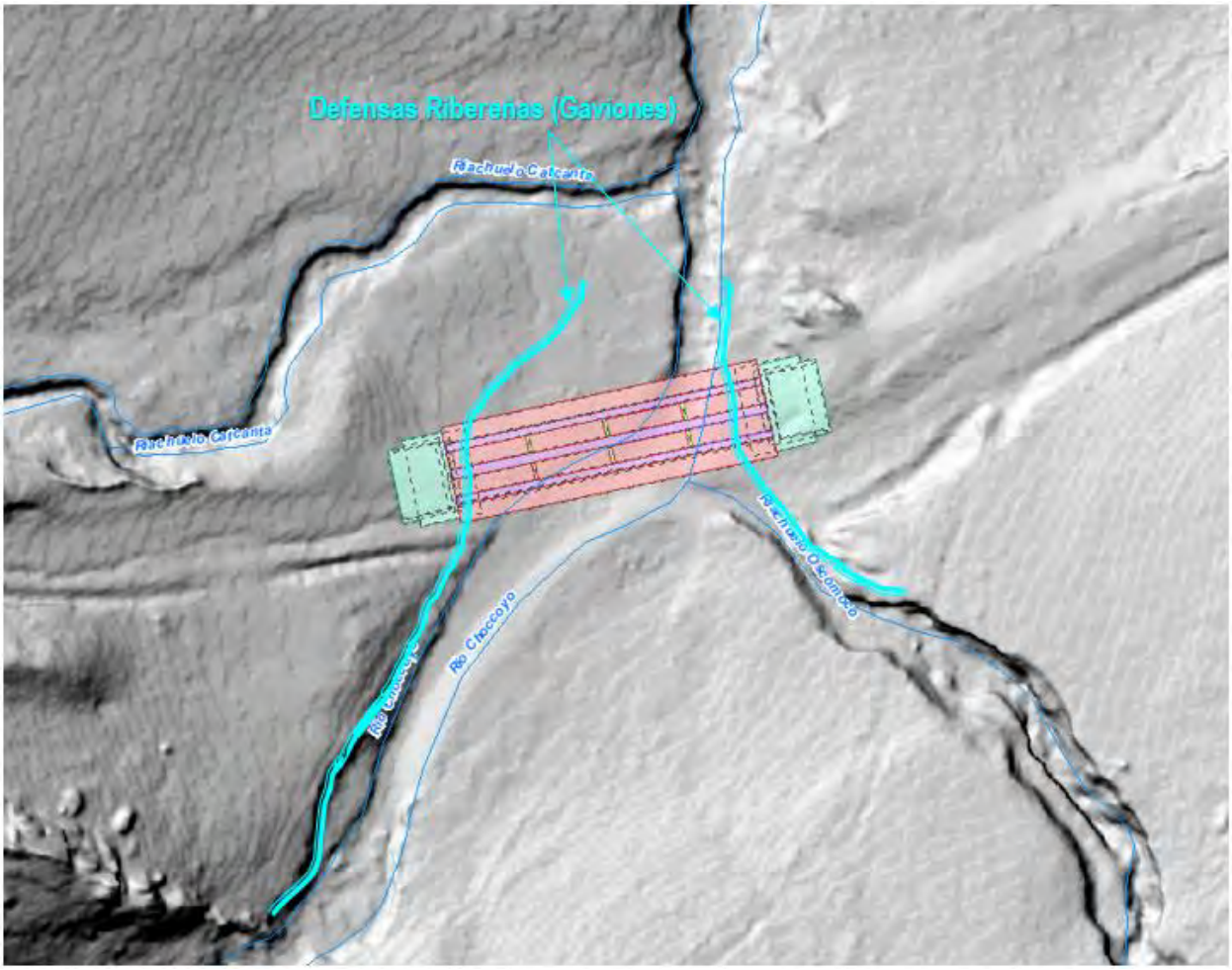
8.4.2. Medidas de prevención y reducción de riesgos

A partir de la información topográfica, geológica y geotécnica recopilada, se definieron las siguientes medidas estructurales de prevención y reducción del riesgo por erosión fluvial:

- Defensa ribereña mediante gaviones (sistema tipo Terramesh) a lo largo de ambos estribos del puente, cuyo diseño debe coordinarse con el especialista hidráulico del proyecto.
- Verificación periódica del estado de las estructuras de contención y del comportamiento del cauce durante eventos de máxima avenida, en el marco del plan de operación y mantenimiento de la vía.

- Incorporación del asentamiento diferencial entre estribos (determinado en el estudio geotécnico) al modelo estructural, dado que agrava la exposición de estribos y losas ante escenarios de erosión combinada con asentamiento.

Figura 144. *Diseño tentativo de defensas ribereñas con gaviones*



Capítulo IX

Resultados

De acuerdo con la infraestructura propuesta:

1. **A nivel geomorfológico:**

Geomorfológicamente a nivel regional el área de estudio está situada geográficamente en la vertiente Oriental de la Cordillera Occidental de los Andes de Perú, constituida de las siguientes subcategorías: Abanico de piedemonte (Ab), Montaña en oca sedimentaria (Rm-rs) y Vertiente coluvio-deluvial (V-cd).

Por otra parte, a nivel local se identificaron las siguientes unidades: Cauce de drenaje (CdD), Terrazas (Trz), Llanuras de inundación (LlIn), Laderas de montaña (LdM) y Cima de montaña (Ci-M).

2. **A nivel geológico:**

A escala regional geológicamente el proyecto de investigación se encuentra ubicado en el cuadrángulo Santo Tomas 29-r. En cuyo sector de estudio afloran las formaciones Gramadal y Labra, así como depósitos aluviales.

Asimismo, a escala local, se ha identificado: Depósitos Fluviales (Q-flv), Depósitos Coluviales (Q-Co), Depósitos Lacustres (Q-Lcs), Areniscas (Arn) y Tuff de ceniza y lapilli (T-CL).

3. **A nivel geológico estructural:**

A escala regional geológico estructural, se detectan pliegues regionales que superan los 15km de longitud según el Ingemmet, vinculados a grandes fallas normales, inversas y de rumbo.

Por otra parte, a escala local solo se a identificado fracturas y detectado fallas inferidas por medio de geofísica, aunque se desconoce su cinemática al no encontrar indicadores cinemáticos.

4. **A nivel Geotécnico:**

Se realizaron dos calicatas de profundidad variable en donde se ha establecido una profundidad de investigación de 3 metros, en el estribo derecho se identificó basamento rocoso de cuarzoarenita (RMR:67, RQD:70% y una capacidad admisible de 682.62 Kg/cm²) mientras que en el estribo izquierdo se ha determinado suelo SM (con una capacidad admisible de 3.89 Kg/cm²). Se ha evidenciado Nivel freático superficial y de acuerdo con el ensayo de sales, sulfatos y Cloruros, la reacción del suelo al concreto es moderada; se recomienda usar el cemento Portland Tipo Ip. La evaluación de suelos colapsabilidad y Licuables en función a los parámetros del suelo; y según el criterio del Artículo 35, del capítulo VI de la Norma E-050 y realizando la evaluación, se observa que los suelos encontrados no presentan suelos colapsables ni licuables.

5. **A nivel hidrológico:**

Se determinaron 3 microcuencas con áreas menores a 5km², las cuales generan los siguientes caudales en TR200 (Microcuenca 01 – 1.276m³/s, Microcuenca 02 – 4.986m³/s y Microcuenca 03 – 0.221m³/s) y TR500(Microcuenca 01 – 1.722m³/s, Microcuenca 02 – 6.513m³/s y Microcuenca 03 – 0.316m³/s), que a su vez poseen un ancho estable promedio de 13m, y generan una socavación general de 0.84m.

6. **A nivel Geofísico:**

Los ensayos sísmicos realizados en la zona de estudio, muestran altas velocidades por debajo de 3.5 metros de profundidad aproximadamente, velocidades que superan los 500 m/s, lo

que se clasifica conforme a la norma ASSHTO de Puentes, como sitio S1 o Roca o Suelo muy rígido, el sector donde se va a emplazar el puente del Tramo Choccoyo – Llamanhuire.

De acuerdo a la norma Sismo resistente Vs30, para una profundidad de plano de cimentación de 4 a 5 metros, en el estribo izquierdo poseemos una velocidad de 583.81 m/s, y 674.01 m/s en el estribo derecho, ambos clasificados como Afloraciones de masas rocosas o suelos muy rígidos caracterizados por valores de Vs,30 superiores a 500 m/s.

Estribo derecho roca de categoría A y Estribo izquierdo terreno blando de categoría D.

Los ensayos eléctricos nos muestran que la calidad del macizo rocoso mejora conforme se profundiza, esto tomando en cuenta las resistividades eléctricas presentes en la zona de estudio, algo que se correlaciona con lo descrito anteriormente en el párrafo anterior; la roca en superficie se encuentra saturada en la porosidad secundaria se presenta, hasta 8 metros de profundidad aproximadamente.

El ensayo de potencial espontaneo realizado en la zona de estudio, nos da más claridad, respecto a la existencia de sectores saturados en la zona de estudio, confirmando la inexistencia de niveles freáticos superficiales, dado que los potenciales eléctricos no superan los -50mV. para medios fisurados, al menos no hasta la profundidad de prospección.

Síntesis de resultados en función de los objetivos específicos:

Los resultados presentados permiten dar respuesta a los tres objetivos específicos de la investigación. Respecto al primer objetivo, se caracterizaron las unidades geomorfológicas, geológicas, estructurales y geotécnicas del área de emplazamiento, evidenciándose una marcada asimetría entre ambos estribos: roca de cuarzoarenita (RMR 67, RQD 70%, capacidad admisible de 682.62 Kg/cm²) en el estribo derecho, frente a suelo SM de baja capacidad admisible (3.89 Kg/cm²) en el estribo izquierdo. Respecto al segundo objetivo, se determinaron los parámetros

hidrológicos e hidráulicos condicionantes (caudales de diseño para TR200 y TR500 en las tres microcuencas, ancho estable de 13 m y socavación total de 0.84 m), necesarios para el planteamiento de la infraestructura. Respecto al tercer objetivo, los métodos geofísicos aplicados (refracción sísmica, MASW, tomografía eléctrica y potencial espontáneo) permitieron definir la estratificación del subsuelo bajo ambos estribos, clasificándolos como sitio S1 (roca o suelo muy rígido, Vs30 > 500 m/s), con mejora de la calidad del macizo rocoso en profundidad.

Un hallazgo relevante para el diseño estructural es la diferencia en los asentamientos totales calculados entre estribos: 1.70 cm en el estribo izquierdo (suelo SM) frente a 0.04 cm en el estribo derecho (roca), lo que configura una condición de asentamiento diferencial de aproximadamente 1.66 cm entre apoyos, la cual deberá ser incorporada explícitamente en el análisis estructural de la superestructura del puente.

Capitulo X

Conclusiones y Recomendaciones

10.1. Conclusiones

Primera. A escala regional, el área de estudio se emplaza geomorfológicamente en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, donde se identificaron las unidades de abanico de piedemonte (Ab), montaña en roca sedimentaria (Rm-rs) y vertiente coluvio-deluvial (V-cd). A escala local se diferenciaron las geoformas de cauce de drenaje (CdD), terrazas (Trz), llanuras de inundación (LlIn), laderas de montaña (LdM) y cima de montaña (Ci-M). Geológicamente, el proyecto se ubica dentro del cuadrángulo Santo Tomás (29-r), donde afloran las formaciones Gramadal y Labra, además de depósitos aluviales de cobertura reciente; a nivel local se reconocieron depósitos fluviales (Q-fl), depósitos coluviales (Q-co), depósitos lacustres (Q-lc), areniscas (Arn) y tobas de ceniza y lapilli (T-cl).

Desde el punto de vista geotécnico, se ejecutaron dos calicatas hasta una profundidad de investigación de 3.00 m, determinándose una marcada heterogeneidad de cimentación entre estribos: en el estribo derecho se identificó un basamento rocoso de cuarzoarenita (RMR = 67, RQD = 70 %, capacidad admisible = 682.62 kg/cm²), correspondiente a un suelo de fundación categoría A, mientras que en el estribo izquierdo se determinó un suelo tipo SM (capacidad admisible = 1.3 kg/cm²), clasificado como categoría D. Se registró nivel freático superficial, y el ensayo de sales solubles, sulfatos y cloruros indica una agresividad moderada del suelo frente al concreto, por lo que se recomienda el empleo de cemento Portland Tipo IP. La evaluación de colapsabilidad y licuación de suelos, conforme a los criterios del artículo 35 del capítulo VI de la Norma E.050, descartó la presencia de suelos colapsables o licuables en el área de emplazamiento.

Como hallazgo relevante para el diseño estructural, se destaca la asimetría de las condiciones de cimentación entre estribos —roca categoría A en el estribo derecho frente a suelo blando categoría D en el estribo izquierdo—, la cual se traduce en un asentamiento diferencial estimado de 1.66 cm entre apoyos (1.70 cm en el estribo izquierdo frente a 0.04 cm en el estribo derecho). Esta condición deberá incorporarse explícitamente en el modelo estructural del puente, dado su potencial incidencia sobre los esfuerzos de flexión inducidos en la superestructura.

Segunda. El análisis hidrológico permitió delimitar tres microcuencas de aporte, todas con áreas menores a 5 km², cuyos caudales máximos estimados son: para TR = 200 años, 1.276 m³/s (microcuenca 01), 4.986 m³/s (microcuenca 02) y 0.221 m³/s (microcuenca 03); y para TR = 500 años, 1.722 m³/s, 6.513 m³/s y 0.316 m³/s, respectivamente. El cauce principal presenta un ancho estable promedio de 13.00 m, y el análisis de socavación total (general más local) arrojó un valor de 0.84 m, parámetro determinante para la definición de la cota de cimentación de los estribos.

Tercera. Los ensayos sísmicos de refracción evidencian un incremento marcado de velocidades de onda a partir de aproximadamente 3.5 m de profundidad, superando los 500 m/s, lo que permite clasificar el sitio de emplazamiento del puente del tramo Choccoyo–Llamanhuire como Sitio S1 (roca o suelo muy rígido) según la norma AASHTO LRFD para puentes. En concordancia, el cálculo de Vs30 según la Norma Sismorresistente E.030, para una profundidad de cimentación entre 4 y 5 m, arrojó valores de 583.81 m/s en el estribo izquierdo y 674.01 m/s en el estribo derecho, ambos correspondientes a afloramientos rocosos o suelos muy rígidos (Vs30 > 500 m/s); no obstante, ello no contradice la diferenciación geotécnica previamente establecida (estribo derecho: categoría A; estribo izquierdo: categoría D), la cual responde a criterios de capacidad portante y compresibilidad antes que de rigidez dinámica.

Los ensayos de tomografía eléctrica muestran una mejora progresiva de la calidad del macizo rocoso con la profundidad, evidenciada por el incremento de resistividades, lo cual es consistente con los resultados sísmicos. Se identificó saturación en la porosidad secundaria de la roca superficial hasta aproximadamente 8.00 m de profundidad. Complementariamente, el ensayo de potencial espontáneo (SP) confirmó la ausencia de niveles freáticos someros en medios fisurados, al no registrarse potenciales eléctricos inferiores a −50 mV dentro de la profundidad de prospección alcanzada.

10.2. Recomendaciones

1. Se recomienda no utilizar explosivos cuando se entre en contacto con la roca (posterior a la limpieza del material cuaternario), dado que la vibración generada por la explosión podría afectar el macizo rocoso y darle una menor calidad, respecto al grado de fracturamiento y permeabilidad.
2. Antes de ejecutar el relleno de una zona se limpiará la superficie del terreno eliminando las raíces u otras materias orgánicas, garantizando que el terreno a rellenar permanezca estable, exento de agua, materia orgánica y otros desperdicios no aptos para la construcción. El material del relleno a emplear estará libre de material orgánico y de cualquier otro material comprimible.
3. El material de estudio:

   a. Si el material tiene más de 12% de finos, deberá compactarse a una densidad no menor del 90% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado, NTP 339.141 (ASTM D 1557), en todo su espesor.

b. Si el material tiene menos de 12% de finos, deberá compactarse a una densidad no menor del 95% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado, NTP 339.141 (ASTM D 1557), en todo su espesor.

4. Por tratarse de arenas limosas medianamente compactadas se deberá prever la defensa ribereña de la zona donde se va emplazar la cimentación de los estribos del puente (Socavación).
5. Dada la marcada diferencia entre la capacidad admisible y el asentamiento del estribo derecho (roca, 682.62 Kg/cm², 0.04 cm) y del estribo izquierdo (suelo SM, 3.89 Kg/cm², 1.70 cm), se recomienda que el diseño estructural del puente incorpore explícitamente el efecto del asentamiento diferencial entre apoyos, evaluando de ser necesario el mejoramiento del terreno de fundación o un sistema de cimentación diferenciado en el estribo izquierdo.
6. Se recomienda instrumentar los estribos del puente con hitos topográficos o placas de asentamiento durante la etapa constructiva y los primeros años de operación, con el fin de verificar en campo los asentamientos estimados y detectar oportunamente cualquier comportamiento diferencial no previsto.
7. Debido a la presencia de nivel freático superficial y a la reacción moderada del suelo frente al concreto, se recomienda emplear cemento Portland Tipo IP en todos los elementos de cimentación en contacto con el terreno, además de prever los recubrimientos de acero de refuerzo indicados en la norma E.060 para condiciones de exposición moderada.
8. Considerando la socavación general estimada (0.84 m) y el ancho estable calculado (13 m), se recomienda dimensionar la protección de riberas (enrocado o defensa ribereña)

con un margen de seguridad adicional, y verificar dichos valores en la etapa de expediente técnico definitivo mediante un modelamiento hidráulico complementario para escenarios de avenida extraordinaria.

9. Se recomienda complementar la presente investigación con sondajes geotécnicos adicionales y ensayos de placa de carga en el estribo izquierdo, dada la menor capacidad admisible registrada en dicho sector, con el fin de reducir la incertidumbre en el diseño de su cimentación.

Referencias Bibliográficas

1. Aparicio F. J., Editorial Limusa S.A. de C.V, (1996). "Fundamentos de Hidrología de Superficie"

2. Aki, K., "Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors", Bull. Earthq. Res. Inst., 35, 415–457, 1957.

3. Arturo Rocha Felices, 1ra. Edición, noviembre 1998. "Introducción a la Hidráulica Fluvial"

4. Astete Samata, M., & Cruz Guizado, R. (2022). Estudio geológico, geotécnico e hidrológico para la ubicación del puente Parocan–distrito de Urcos-provincia Quispicanchi–Cusco 2020.

5. ASTM (1995), Norma Técnica de Exploración Geofísica, ASTM D5777.

6. Béjar, M. V. (2006). Hidrología estadística. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

7. Castillo Luicho, G. R., & Ramírez Cornejo, S. O. (2014). Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del puente Pucayacu, localizado en el tramo: Mayocc–Huanta en la progresiva 3+ 200, aplicando los softwares HEC-HMS e Iber V2. 0.

8. Das, B. M. (2010). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Cengage Learning.

9. Evans, J. E. (2017). Fluvial environments. In V. R. Baker (Ed.), Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer.

10. Gutiérrez Elorza, M. (2008). Geomorfología. Madrid, España: Pearson Educación S.A.

11. Gutiérrez, V. (1981). Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomas. Hojas :29-p, 29-q y 29-r. Boletín N°35 Serie A. Carta Geológica Nacional. Ingemmet. Lima-Perú. Pág. 10.

12. Hayashi, K. (2008), "Development of Surface wave methods and its application to site investigations".

13. Hoek, E., & Brown, E. T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. Este artículo es fundamental para entender el criterio de falla de Hoek-Brown y el uso del GSI.

14. Jorda. L. et. al. (2016). Manual de estaciones Geomecánicas. Descripciones de macizos rocosos en afloramientos. E.T.S.I. Minas – Universidad politécnica de Madrid.

15. Ingemmet. Mapa geológico a escala 1: 50 000, del cuadrángulo de Santo Tomas(29-r).

16. Ingemmet. (2003). Memoria Descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Santo Tomas (29-r). Pág. 13

17. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Mtc

18. Manilla Aceves, Alfonso Alvarez (2003),” Geofísica Aplicada en los Proyectos básicos de Ingeniería Civil”, Publicación Técnica No. 229 Sanfandila, Qro, 2003

19. Mejía Caldas, D. A. (2024). Estudio geotécnico para diseño de cimentación del puente en el sector Chorro de la parroquia Sinincay del cantón Cuenca (Bachelor's thesis).

20. Miall, A. D. (2016). The geology of fluvial deposits: Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology (4th corrected printing). Springer.

21. Lopez Aguilar, Y. P. (2022). Estudio de evaluación geológico e hidrológico preliminar para la transitabilidad de la vía de evitamiento en el distrito de Chivay, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa.

22. Park, C., Miller, R. y Xía, J. 1999, “Multichannel analysis of surface waves”. Geophysics. Vol. 64. Nº 3. P: 800-808.

23. Redpath, B., B. (1973), “Seismic Refraction Exploration for Engineering Site Investigations”, Explosive Excavation Research Laboratory Livermore, California, U.S.A.

24. Revista CIVILIZATE Nº 7, 2015, Dónde: LRFD = Load and Resistance Factor Desing.

25. Reading, H. G. (Ed.). (1996). Sedimentary environments: Processes, facies and stratigraphy (3rd ed.). Blackwell Science.

26. Senamhi, 1988. Mapa de Clasificación Climática del Perú. Método de Thornthwaite. Eds. SENAMHI Perú, 14 pp.

27. SeisImager/SWTM Manual (2009) Windows Software for Analysis of Surface Waves.

28. Winterstein, D. (1990). "Velocity anisotropy terminology for geophysicists". Geophysics. Volumen 55. Nº 8. p: 1070-1088.

29. Z. T. Bieniawski. (1977) Engineering Rock Mass Classifications. A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering. A WILEY'INTERSCIENCE PUBLICATION.

ANEXOS

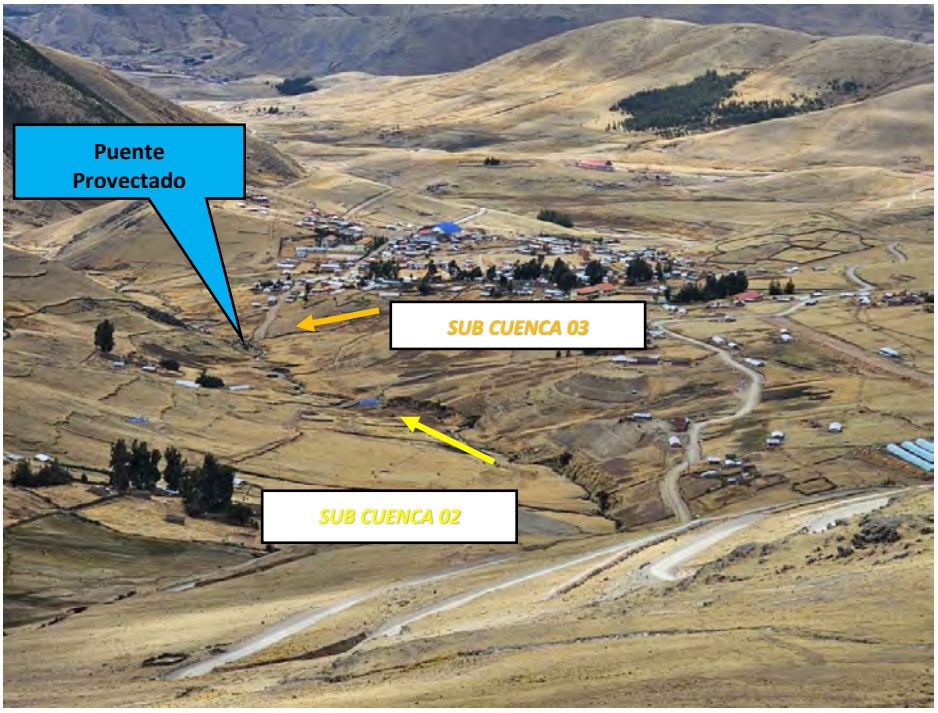
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
¿Como son los parámetros geológicos, geotécnicos e hidrológicas para tomar medidas que garanticen la sostenibilidad y estabilidad en la ubicación del puente Choccollo?	Determinar los parámetros geológicos geotécnicos e hidrológicos existentes para tomar medidas que garanticen la sostenibilidad y estabilidad en la ubicación del puente Choccollo	Las condiciones geológicas, geotécnicas e hidrológicas son favorables para la construcción del puente Choccollo	**Independientes** Características Geológicas, Geofísico, Geotecnia e Hidrogeología de la zona donde se ubicará el Puente.	**Independientes**	**Independientes**
				Características, Geológicas, Geomorfológicas Hidrológicas	Geología, Geomorfología y Hidrología
				Características, Geotécnicas, Estructural, Geofísica y Sismicidad de la zona	Clasificación del suelo Ensayos Geofísicos
¿Cuáles son las características geológicas, geomorfológicas y estructurales sobre el cual se ubicará el puente Choccollo? ¿Cuáles son los parámetros hidrológicos condicionantes en la construcción de la ubicación del puente Choccollo? ¿Cómo será la estratificación del subsuelo obtenidos mediante los ensayos geofísicos, sobre el cual se ubicarán los estribos del puente Chocollo?	Determinar las características geológicas, geomorfológicas y estructurales sobre el cual se ubicará el puente Choccollo. Determinar los parámetros hidrológicos condicionantes necesarias en la ubicación del puente Choccollo. Mediante la aplicación del Método Eléctrico, determinar niveles freáticos, presencia de acuíferos, estratigrafía e inferir fallas geológicas en la zona de estudio, con modelos en 2D y 3D.	Es posible determinar la característica geológica, geomorfológica y estructural sobre el cual se ubicará el puente Choccollo, en función a los datos de campo obtenidos. Es posible determinar los parámetros hidrológicos condicionantes en la ubicación del puente Choccollo,en función a registros y data hidrológica Es posible determinar la estratificación del subsuelo, a través de los ensayos geofísicos sobre el cual se ubicarán los estribos del puente Choccollo. Es posible determinar la capacidad portante a diferentes niveles, a través de la aplicación de teorías del análisis de suelos. Es posible determinar el asentamiento inmediato máximo que sufrirá el suelo que soportará las cargas del puente Choccollo y las cargas vivas.	**DEPENDIENTE** Factores de seguridad que Afecta al puente y capacidad de carga admisible	**DEPENDIENTE** Factor de seguridad del Puente Capacidad de Carga Admisible Tipo de puente	**DEPENDIENTE** Socavamiento Crecida máxima del rio Capacidad Portante Factor de Seguridad Disposición de Material

PANEL FOTOGRAFICO

Fotografía 1. Vista general de la comunidad Choccoyo



Fotografía 2. Vista panorámica y cobertura vegetal de la Sub Cuenca 02 y 03.



Fotografía 3. Vista panorámica de emplazamiento de puente y el eje de la vía.



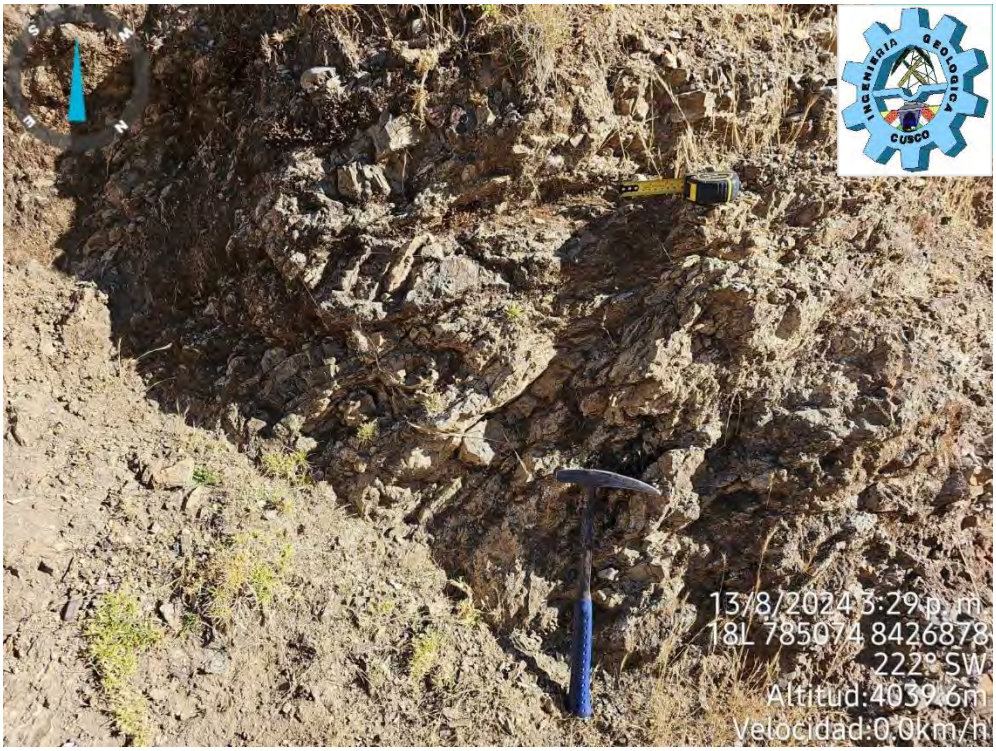
Fotografía 4. Valores de Manning asumidos para el modelamiento hidráulico



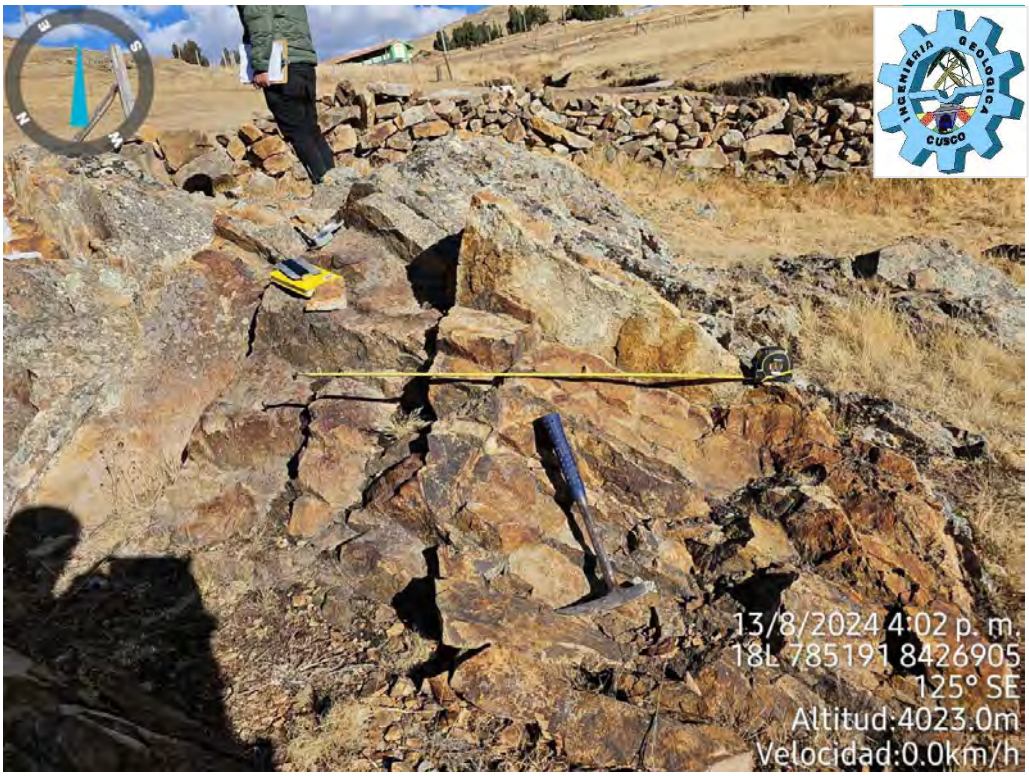
Fotografía 5. Mapeo geomecánico con brújula Brunton y Peine de Barton



Fotografía 6. Afloramientos fracturados de Areniscas



Fotografía 7. Estación geomecánica 03 toma de datos



Fotografía 8. Afloramientos de Cuarzoarenitas del estribo derecho del puente propuesto



Fotografía 9. Toma de muestras de mano



Fotografía 10. Perfil de las superficies geomecánicas para determinar JRC



Fotografía 11. Ensayo geofísico – Tomografía Eléctrica



Fotografía 12. Ensayo de Refracción Sísmica



Fotografía 13. Calibración de toma de datos de campo



Fotografía 14. Golpes para generar ondas acusticas



DESCRIPCIONES MACROSCÓPICAS DE MUESTRAS DE MANO

MUESTRA LITOARENITA

Fotografía 15. Muestra de mano de Litoarenita



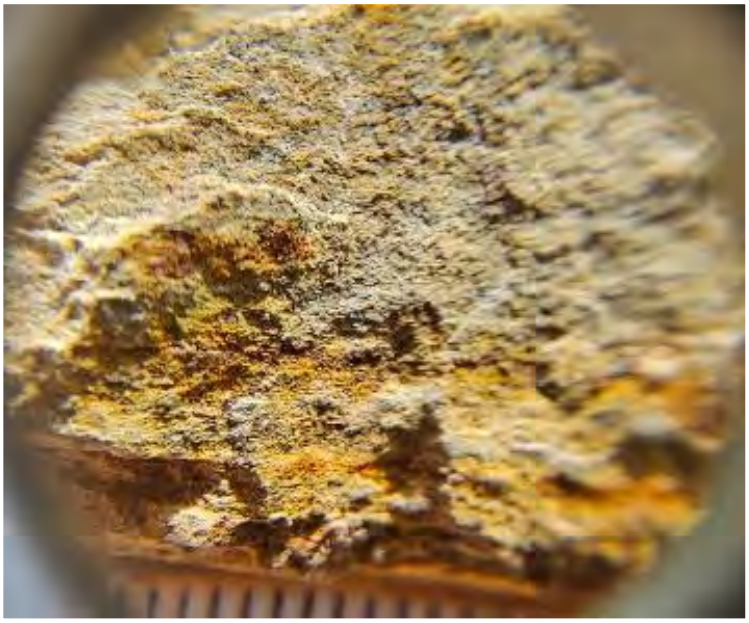
Fuente: Propia.

Tabla 1 *Muestra de mano de Litoarenita*

Descripciones macroscópicas de muestras de mano de una Arenisca	
Tamaño de grano	0.50 mm – 1 mm Grano medio a muy fino
Forma	Esferoidal – Equidimensional
Redondez y esfericidad	Baja esfericidad – Sub redondeado
Empaque	Completo
Tipos de Contactos	Contactos cóncavos convexos
Selección	Bien clasificado
Madurez Textural	Madura
%Matriz	<15%
Color	Gris Amarillento (5GY 8/1 Munsell)
Clasificación según Folk (1972)	Q:5% FR:90% F':5%
Otras características	Estratificación paralela y composición de óxidos en fractura principal.
Tipo de roca	LITOARENITA

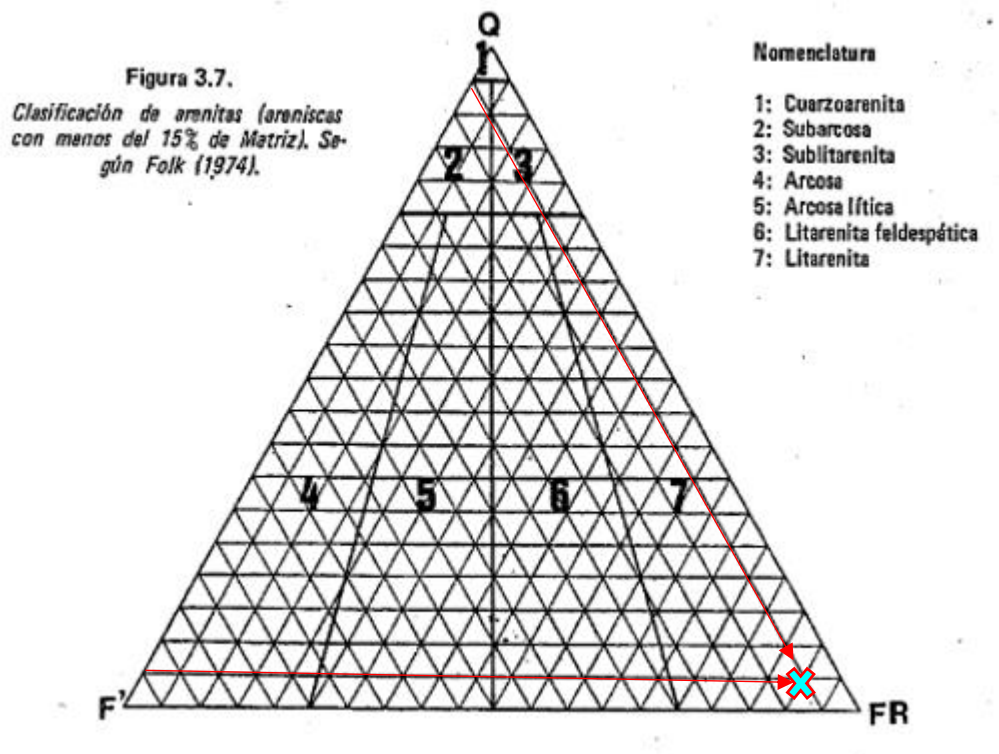
Fuente: *Elaboración propia.*

Fotografía 16 *Muestra de mano de Litoarenita 20X*



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 1 *Clasificación de Arenitas (LITOARENITA)*



Fuente: *Castro A., (1989). Petrología Básica. Paraninfo Madrid.*

MUESTRA ARENISCAS (ARCOSA)

Fotografía 17 *Muestra de mano de arenisca(arcosa)*



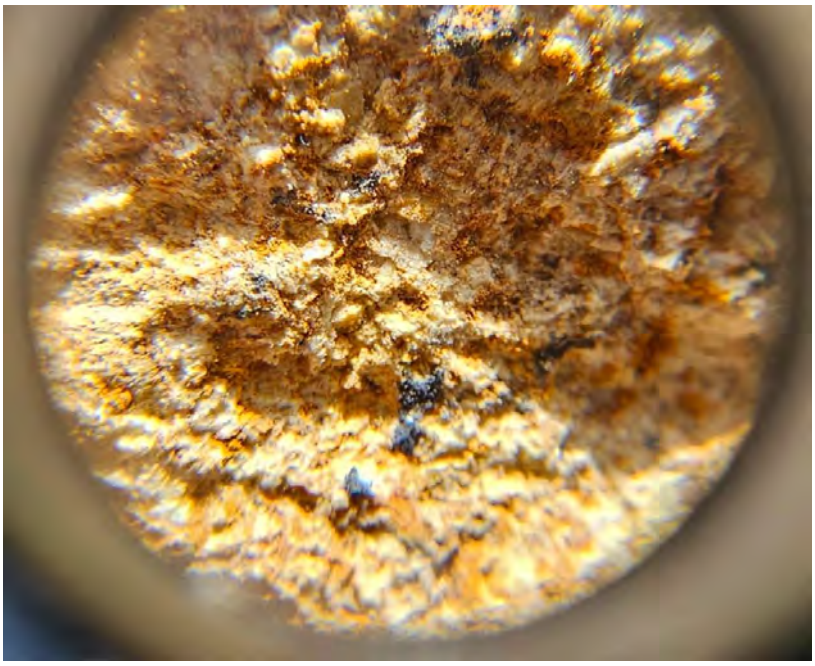
Fuente: *Propia.*

Tabla 2 *Muestra de Arcosa*

Descripciones macroscópicas de muestras de mano de una Arenisca (Arcosa)	
Tamaño de grano	0.50 mm – 1.00 mm Grano grueso a muy grueso
Forma	Discoidal
Redondez y esfericidad	Baja esfericidad – Sub redondeado
Empaque	Completo
Tipos de Contactos	Contactos suturados
Selección	Bien clasificado
Madurez Textural	Madura
%Matriz	<15%
Color	Naranja amarillento palido (10YR 8/6 Munsell)
Clasificación según Folk (1972)	Q:25% FR:15% F':60%
Otras características	Estratificación horizontal paralela, y óxidos en fractura principal
Tipo de roca	ARCOSA LITICA

Fuente: *Elaboración propia.*

Fotografía 18 *Muestra de mano de Arcosa 20X*



Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 2 *Clasificación de Arenitas (ARCOSA)*

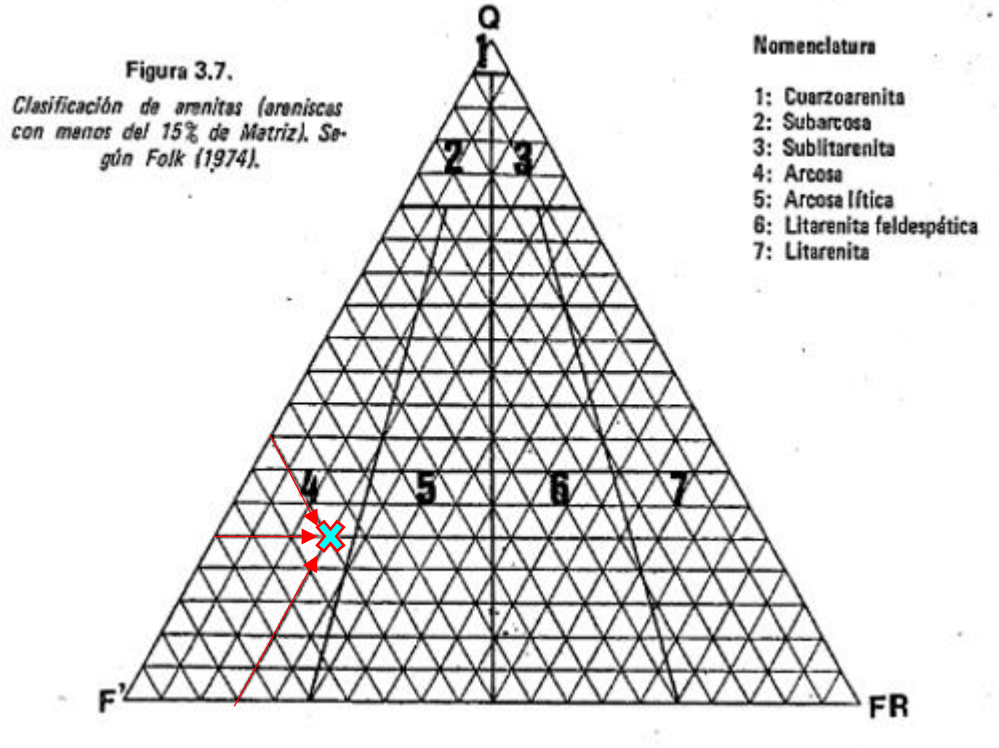


Figura 3.7.
Clasificación de arenitas (areniscas con menos del 15% de Matriz). Según Folk (1974).

Fuente: *Castro A., (1989). Petrología Básica. Paraninfo Madrid.*

MUESTRA GRAUVACA LITICA

Fotografía 19 *Muestra de mano de Grauvaca Lítica*



Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 3 *Muestra de Grauvaca Lítica*

Descripciones macroscópicas de muestras de mano de una Grauvaca Lítica	
Tamaño de grano	0.125-0.25 mm Grano fino
Forma	Tubular Discoidal Laminado
Redondez y esfericidad	Baja esfericidad – Anguloso
Empaque	Suturado
Tipos de Contactos	Contactos puntuales suturados
Selección	Pobremente clasificado
Madurez Textural	SubMadura
%Matriz	>15%
Color	Gris oscuro (N 3 Munsell)
Clasificación según Folk (1972)	Q:25% FR:45% F':30%
Otras características	Estratificación horizontal paralela.
Tipo de roca	GRAUVACA LITICA

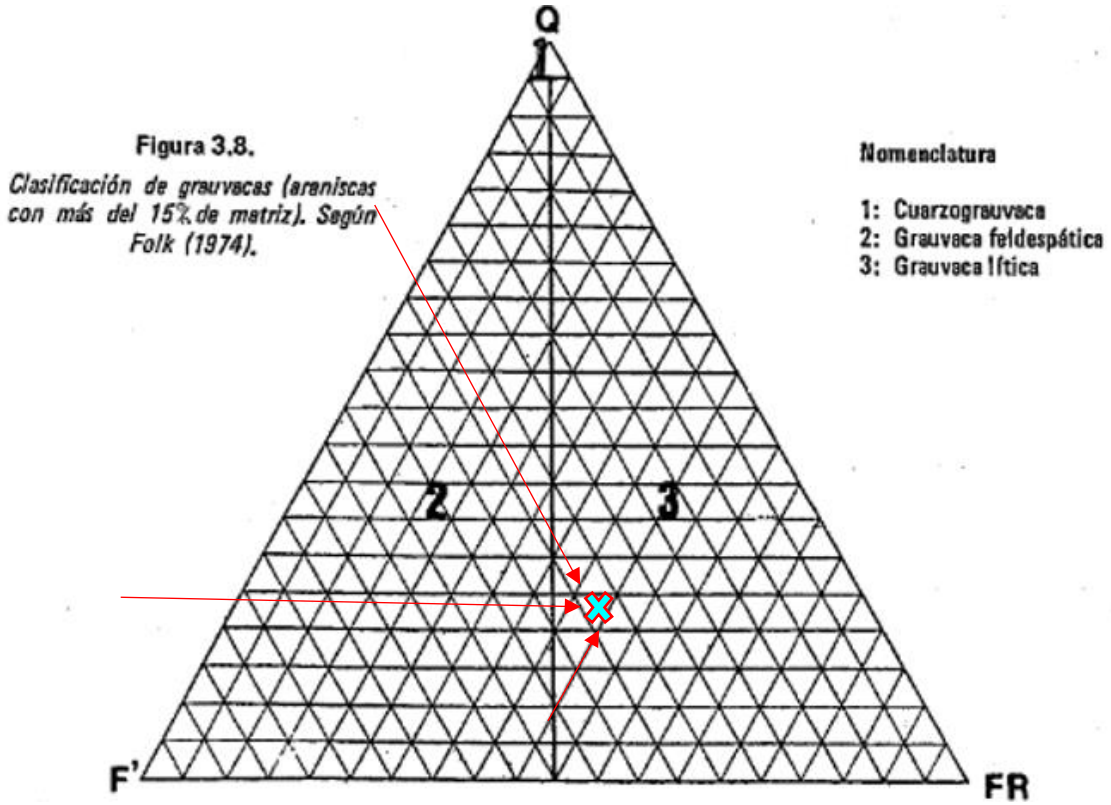
Fuente: *Elaboración propia.*

Fotografía 20 *Muestra de mano de Grauvaca Lítica 20X*



Fuente: *Elaboración propia*.

Figura 3 *Clasificación de Grauvacas*



Fuente: *Castro A., (1989). Petrología Básica. Paraninfo Madrid.*

MUESTRA CUARZOARENITA

Fotografía 21 *Muestra de mano de Cuarzoarenitas*



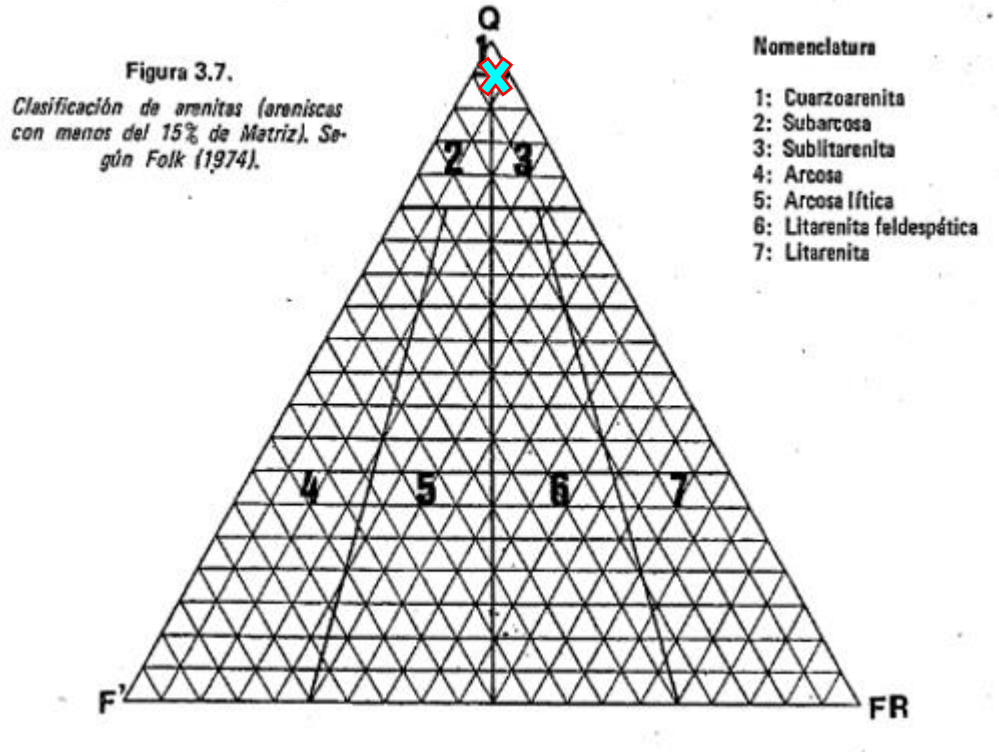
Fuente: *Propia.*

Tabla 4 *Muestra de Cuarzoarenitas*

Descripciones macroscópicas de muestras de mano de una Arenisca (Arcosa)	
Tamaño de grano	0.50 mm – 1.00 mm Grano medio a muy grueso
Forma	Discoidal a esferoidal
Redondez y esfericidad	Baja esfericidad – Sub redondeado
Empaque	Completo
Tipos de Contactos	Contactos suturados
Selección	Bien clasificado
Madurez Textural	Madura
%Matriz	<15%
Color	Blanco (N9 Munsell)
Clasificación según Folk (1972)	Q:95% FR:2.5% F':2.5%
Otras características	Estratificación horizontal paralela, y óxidos en fractura principal
Tipo de roca	CUARZOARENITA

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 4 *Clasificación de Arenitas (Cuarzoarenitas)*



Fuente: *Castro A., (1989). Petrología Básica. Paraninfo Madrid.*

MUESTRA TUFF DE CENIZA Y LAPILLI

Fotografía 22 *Tuff de Ceniza y Lapilli*



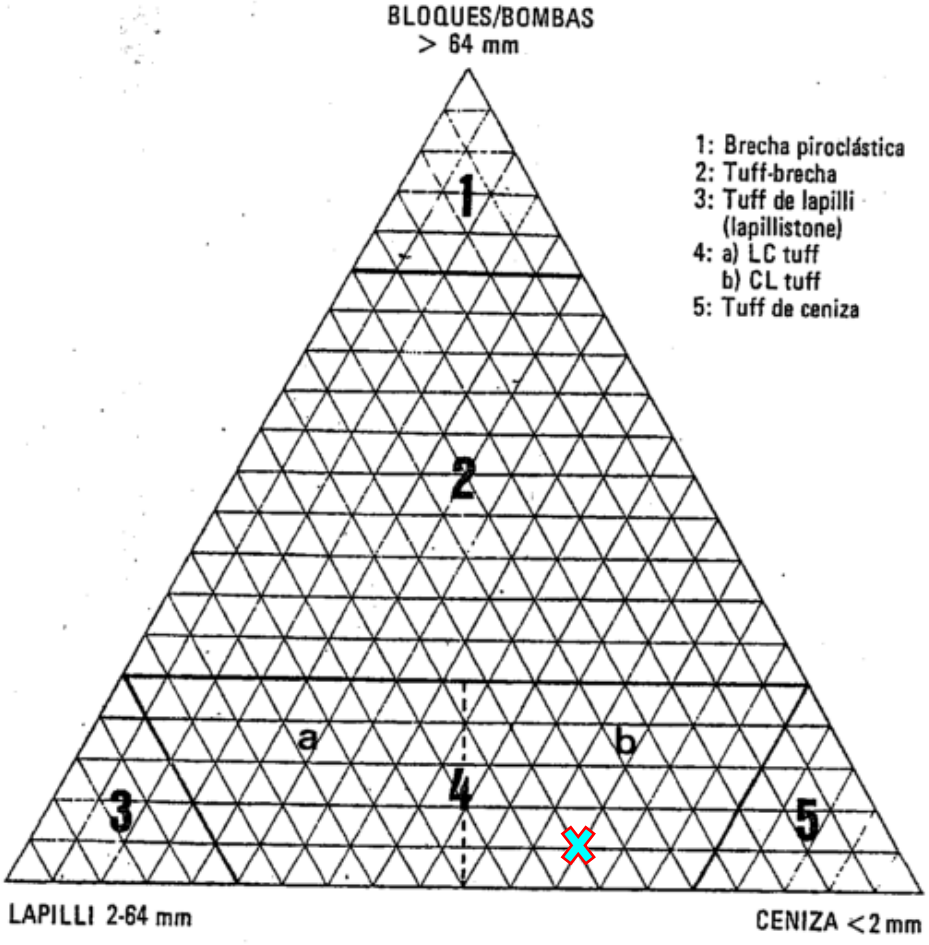
Fuente: *Propia.*

Tabla 5 *Muestra de Tuff de Ceniza y Lapilli*

Depósitos y rocas piroclásticos con mala grano clasificación	
Textura	Vitreo
Color	Blanco (N9 Munsell)
Según Fisher & Schmincke (1984)	BLOQUES/BOMBAS: > 64mm – 5 % LAPILLI: 2-64mm – 35 % CENIZA: < 2mm – 60 %
Otras características	Estratificación horizontal paralela, y óxidos en fractura principal
Tipo de roca	Tuff de Ceniza y Lapilli (CL TUFF)

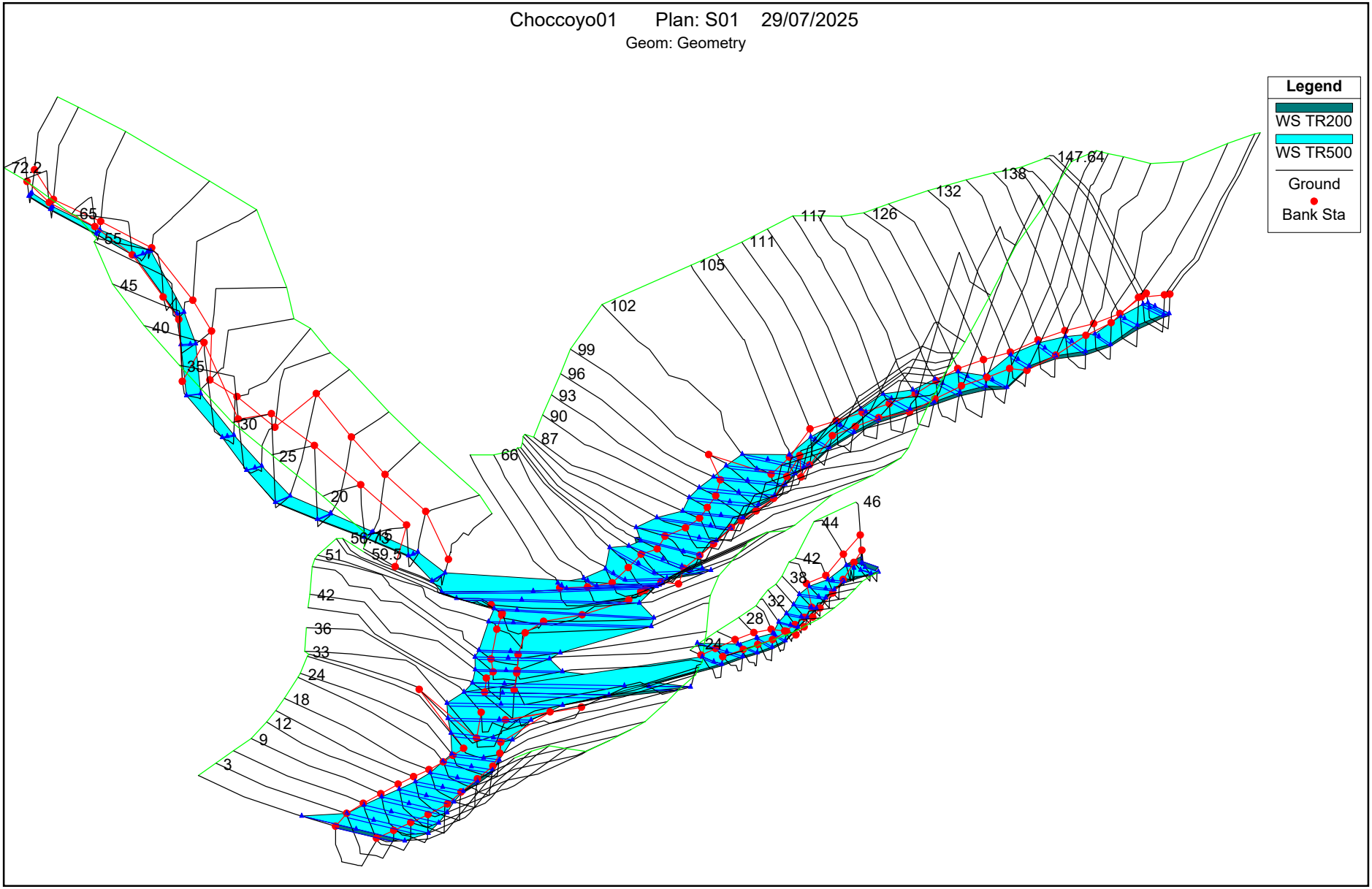
Fuente: *Elaboración propia.*

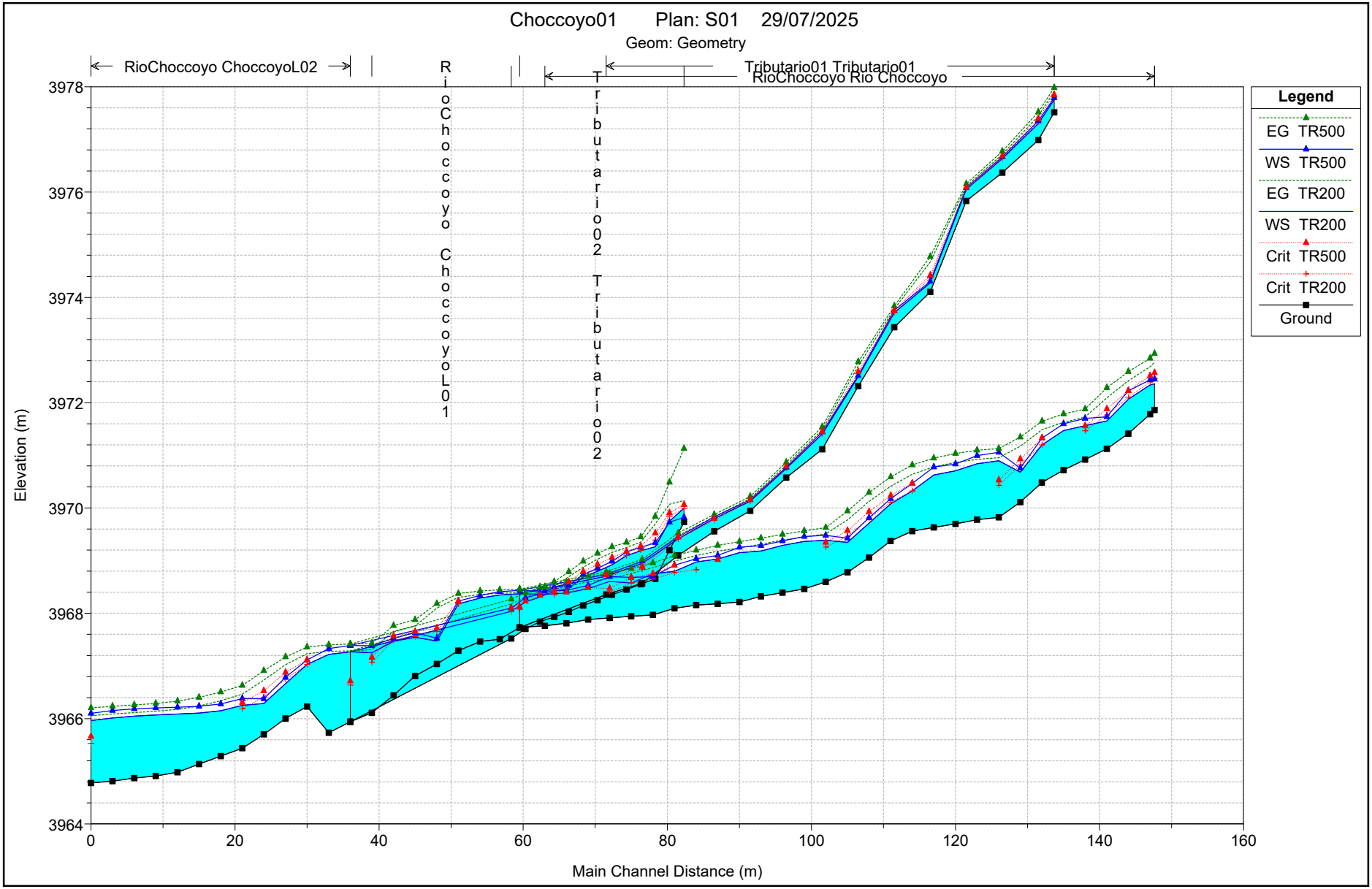
Figura 5 *Términos para depósitos y rocas piroclásticos con mala clasificación. Según Fisher & Schmincke (1984) (modificado)*

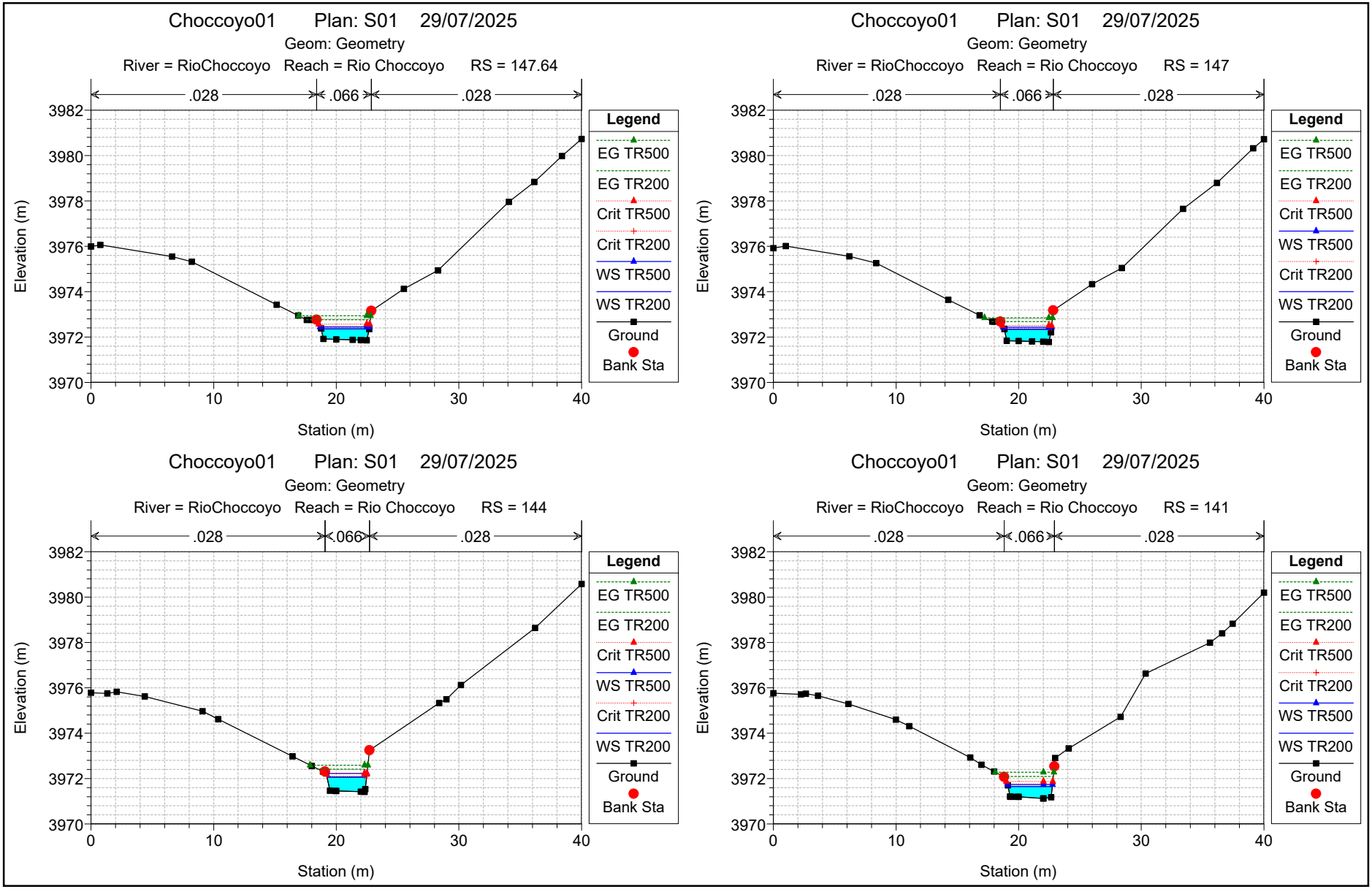


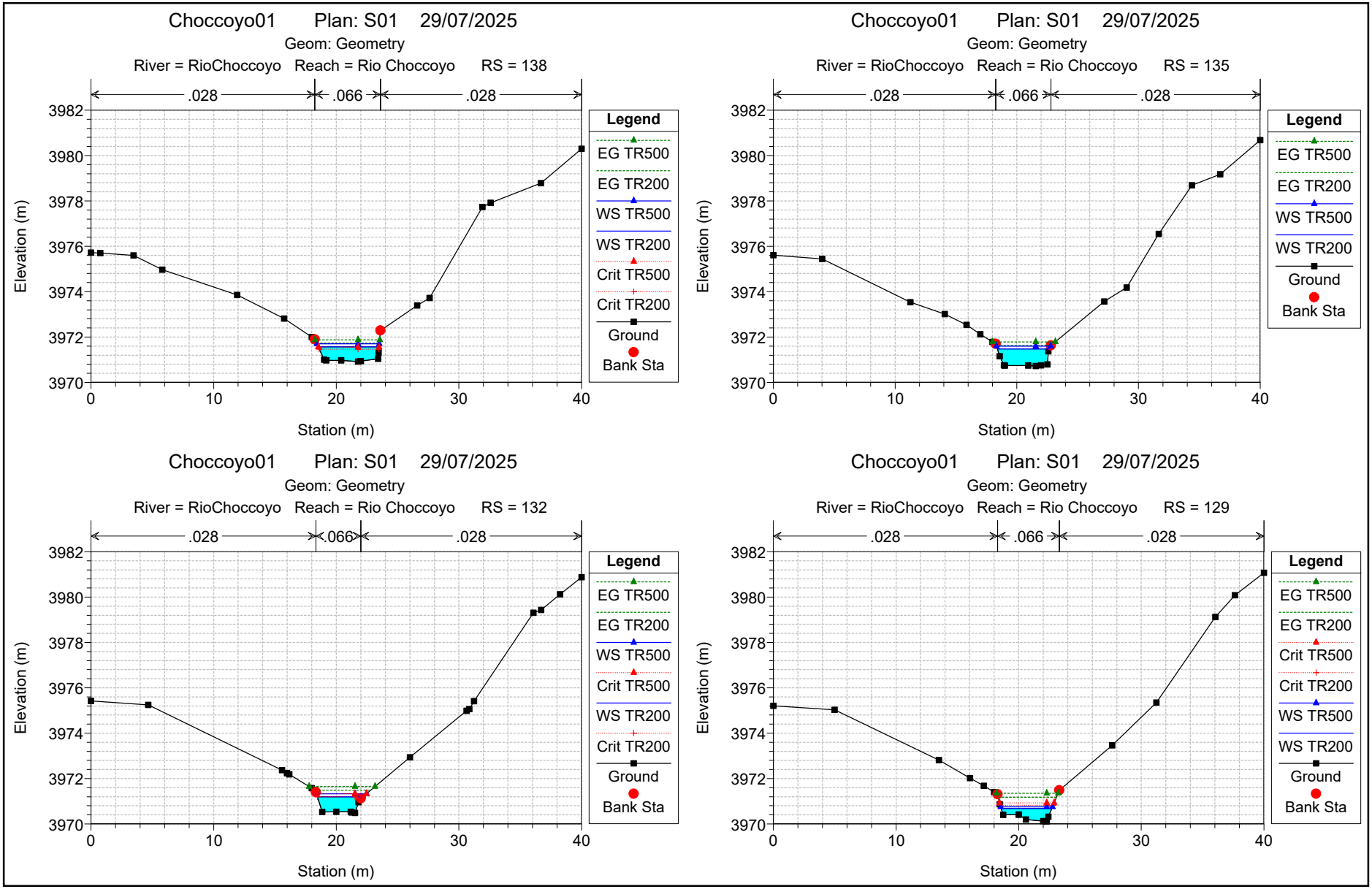
Fuente: *Castro A., (1989). Petrología Básica. Paraninfo Madrid.*

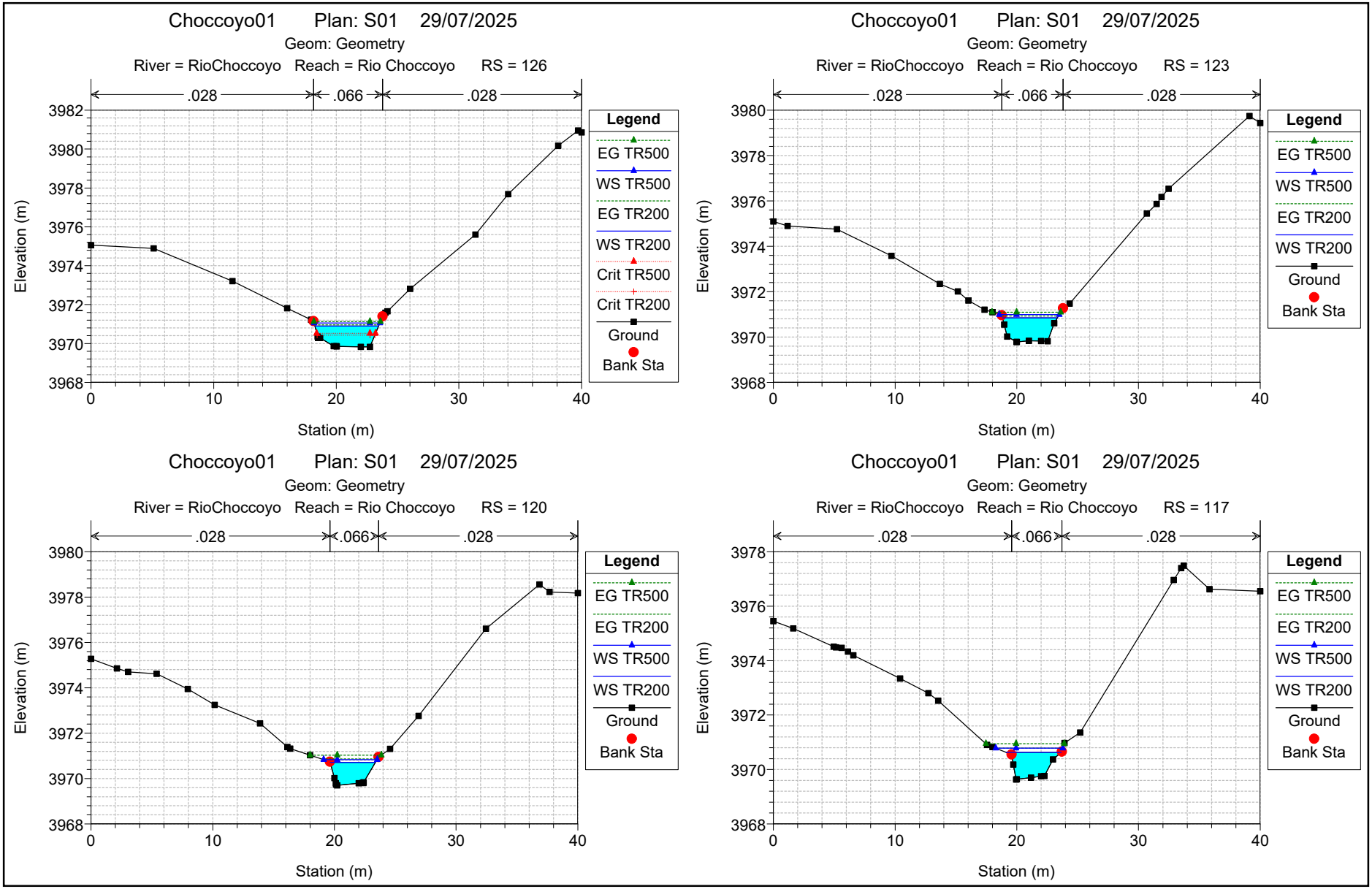
DIAGRAMAS HIDRAULICOS

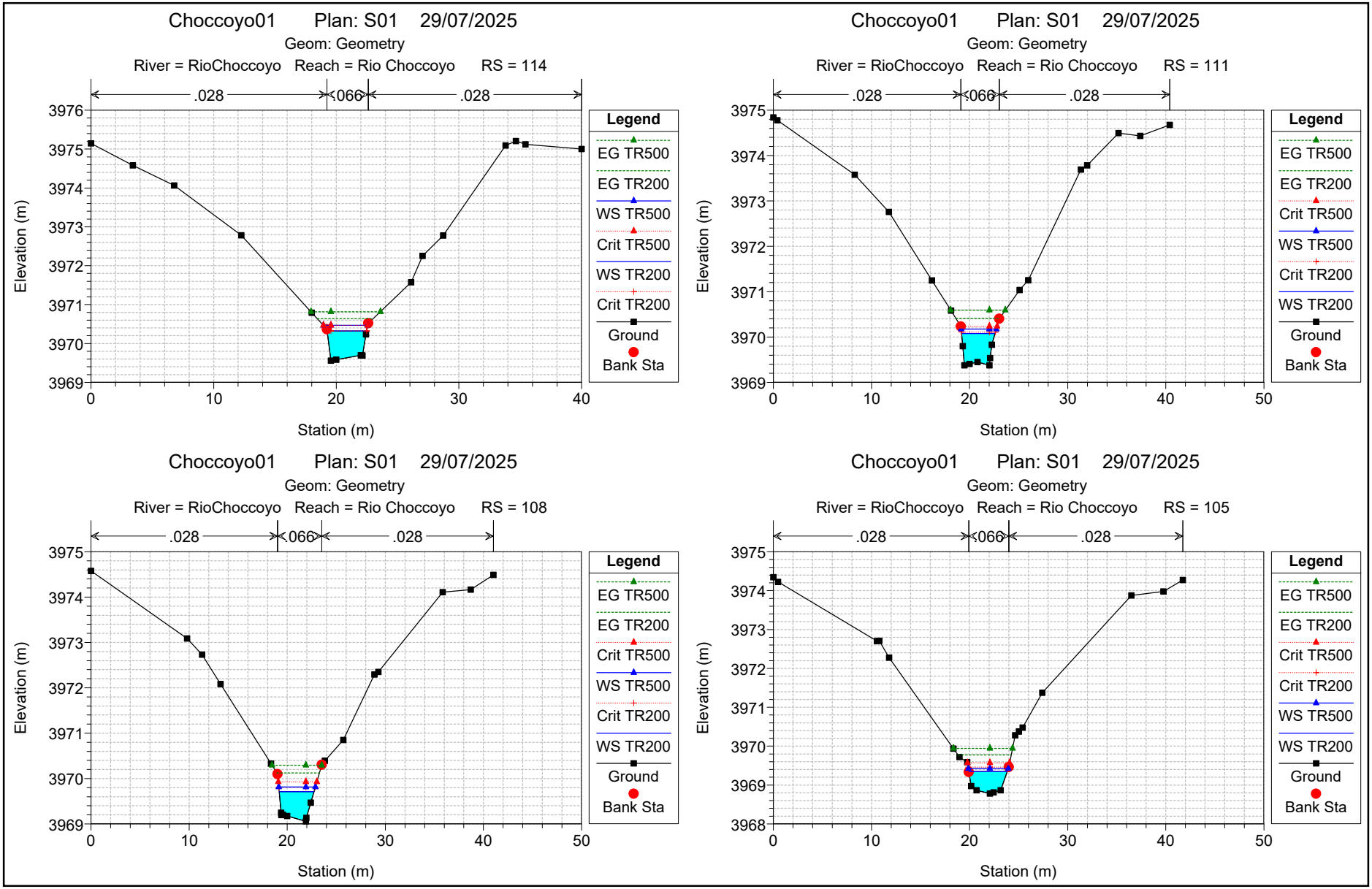

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
Legend
WS TR200
WS TR500
Ground
Bank Sta
72.2
65
55
45
40
35
30
25
20
59.5
51
42
36
33
24
18
12
9
3
66
87
90
93
96
99
102
105
111
117
126
132
138
147.64
46
44
42
38
32
28
24

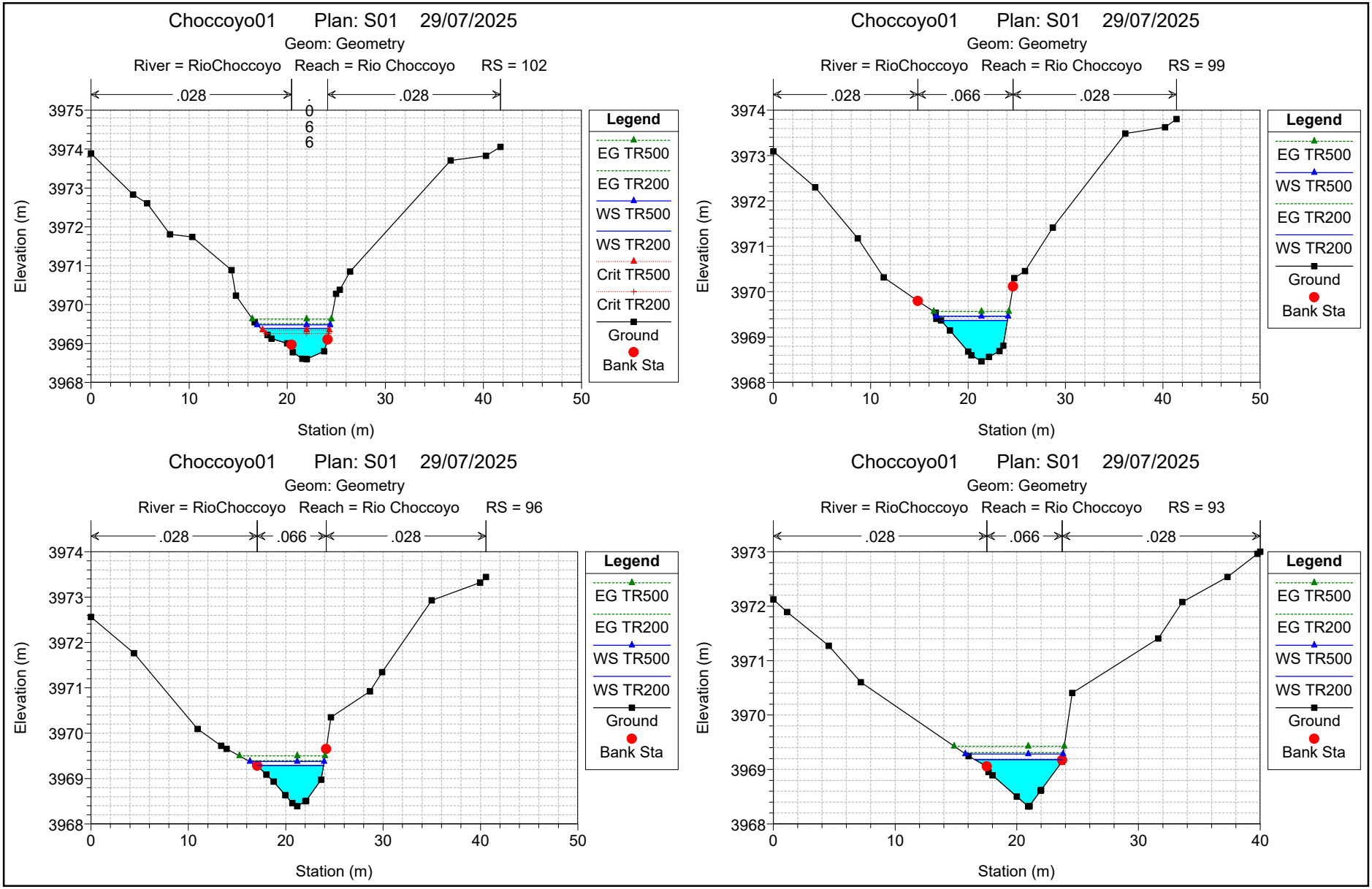

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
RioChoccoyo ChoccoyoL02
RioChoccoyo ChoccoyoL01
Tributario02 Tributario02
Tributario01 Tributario01
RioChoccoyo Rio Choccoyo
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Elevation (m)
3978
3976
3974
3972
3970
3968
3966
3964
0
20
40
60
80
100
120
140
160
Main Channel Distance (m)

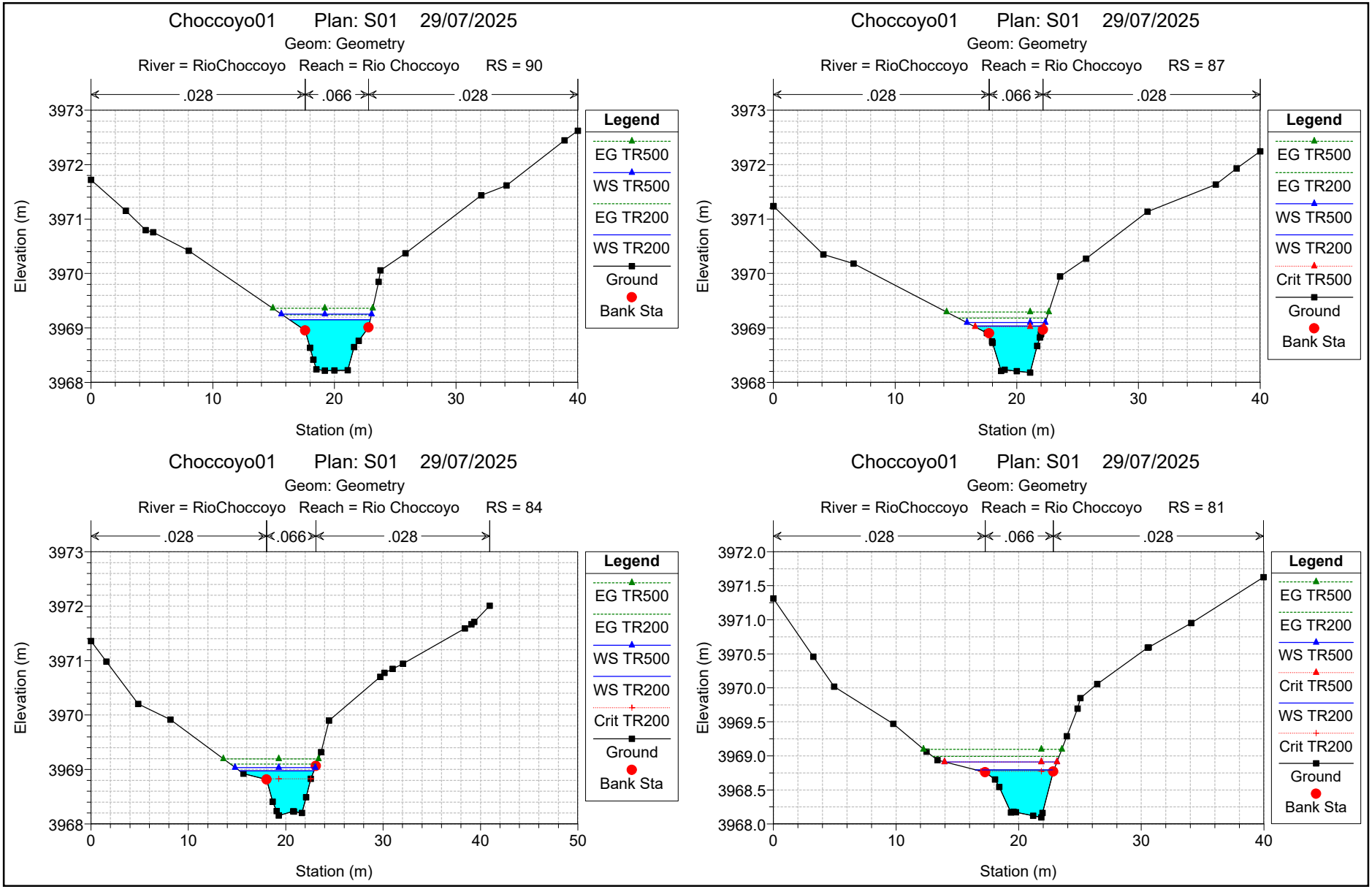

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 147.64
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 147
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 144
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 141

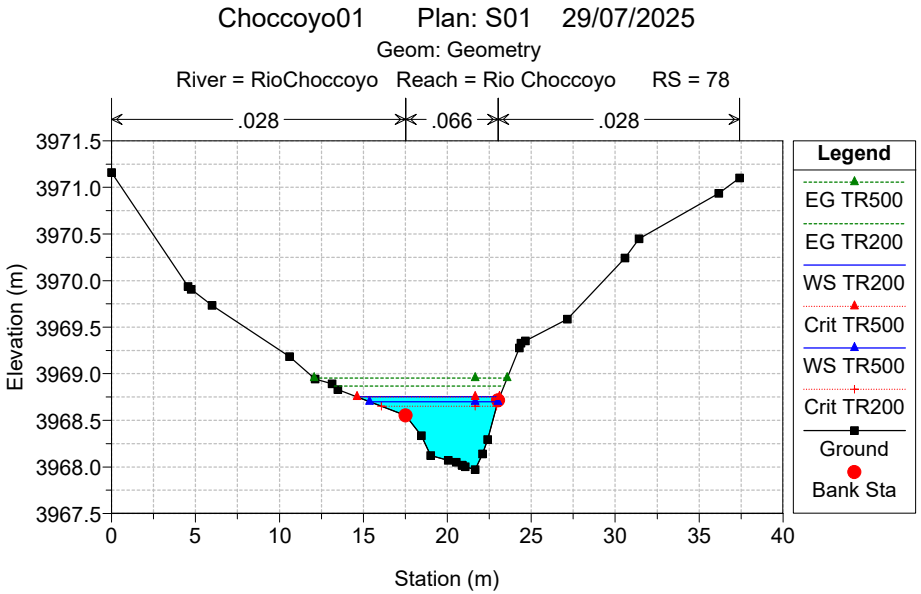

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 138
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 135
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 132
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 129

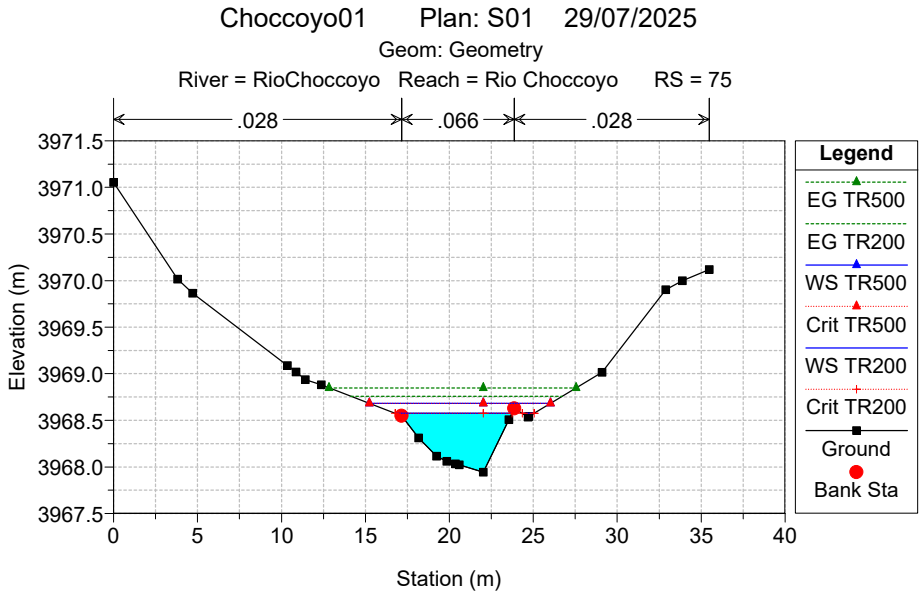

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 126
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 123
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 120
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 117
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

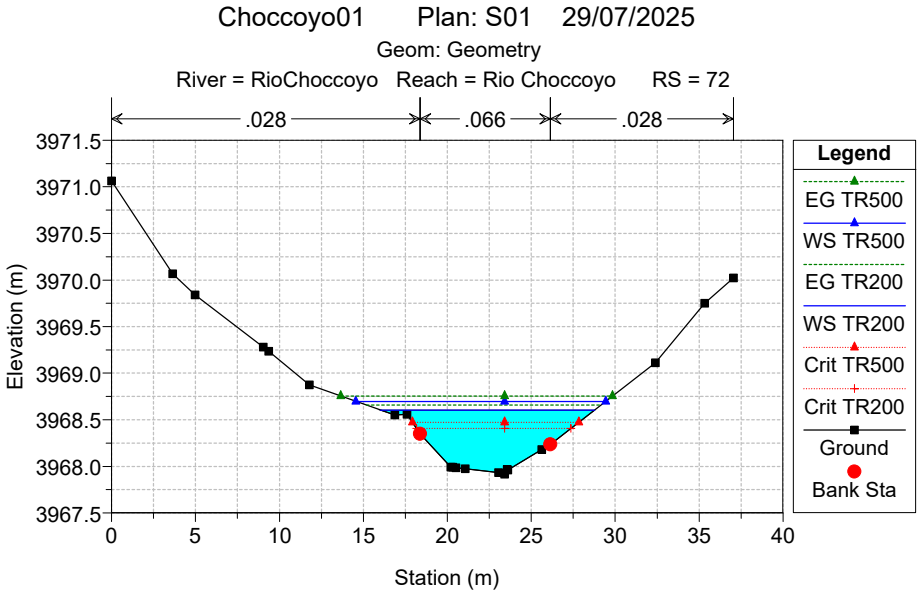

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 114
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 111
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 108
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 105
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

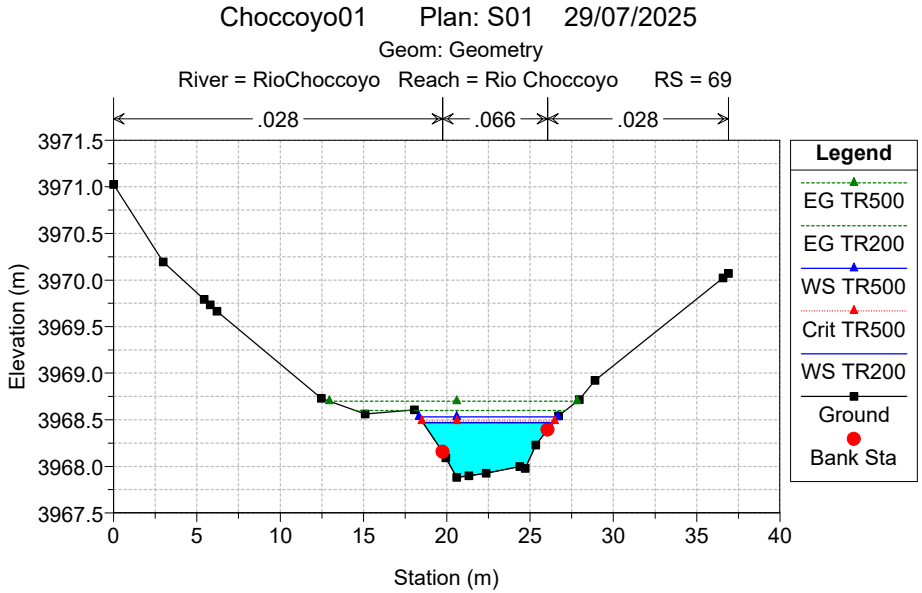

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 102
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 99
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 96
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 93
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

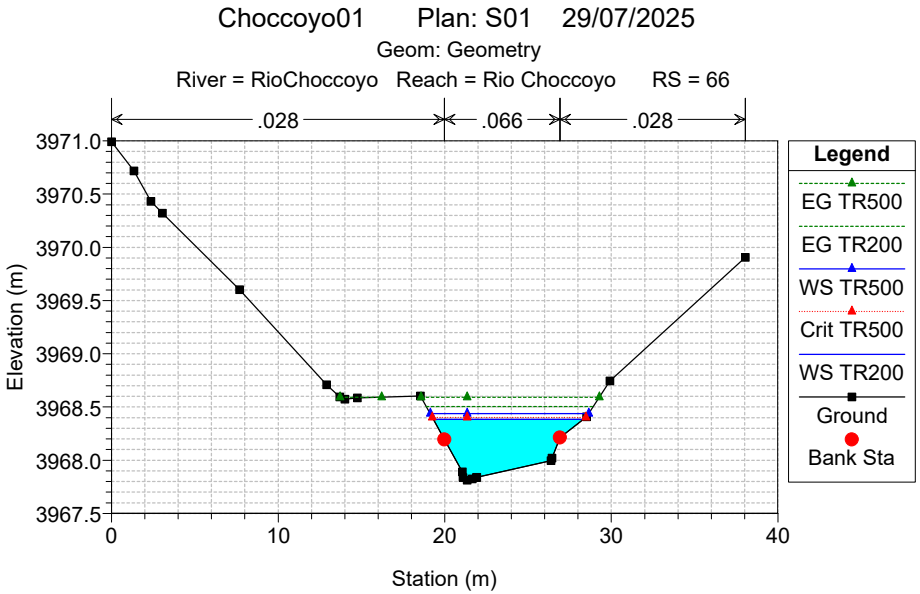

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 90
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 87
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR500
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 84
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 81
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta

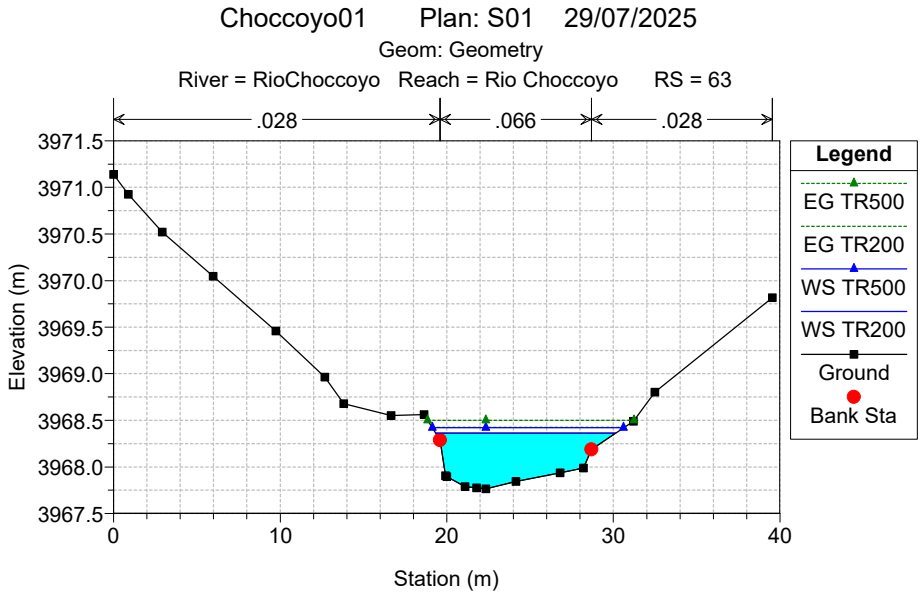

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 78
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta

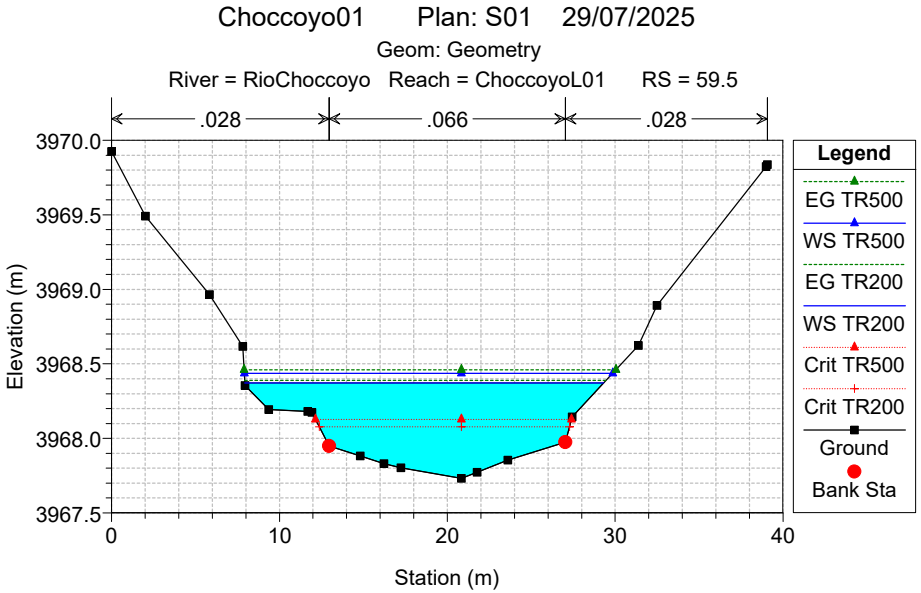

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 75
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta

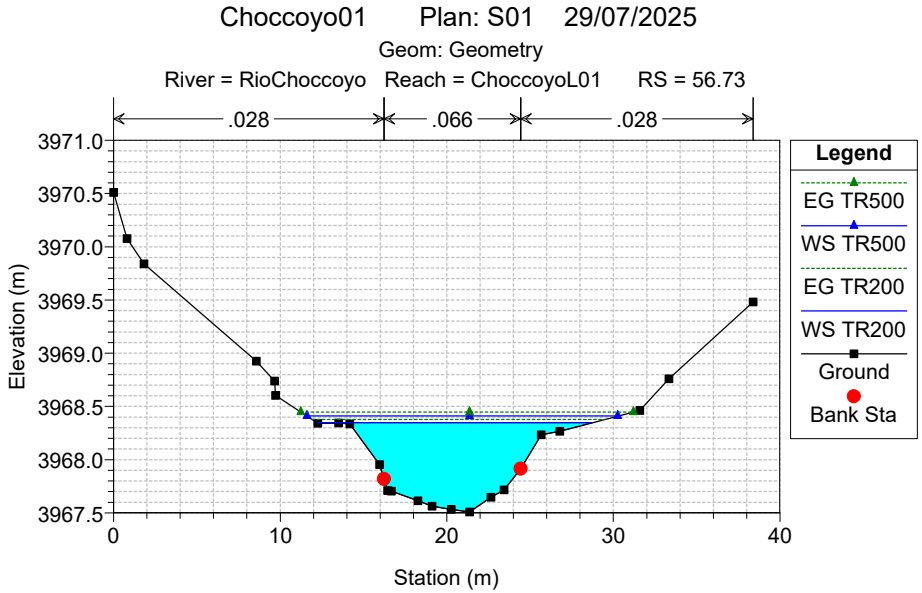

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 72
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta

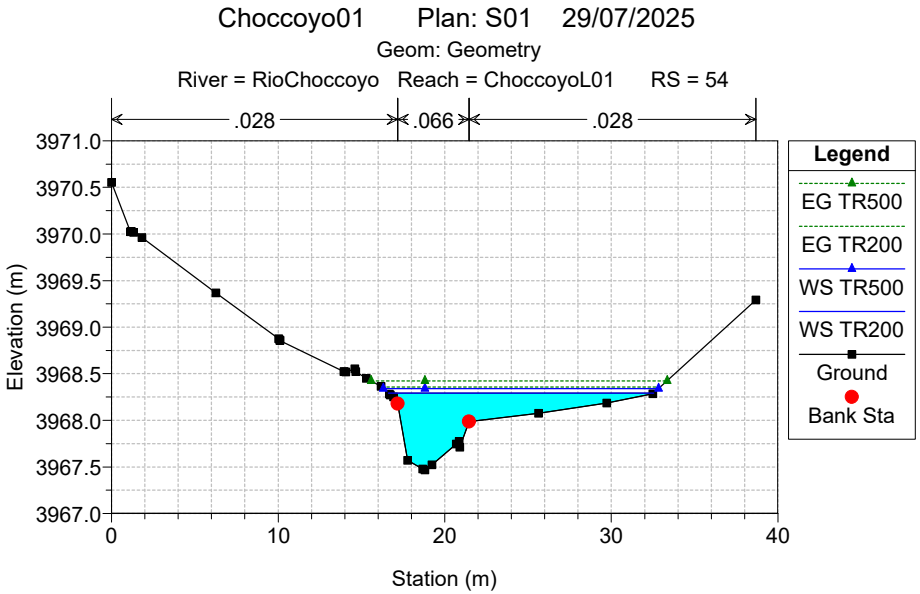

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 69
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

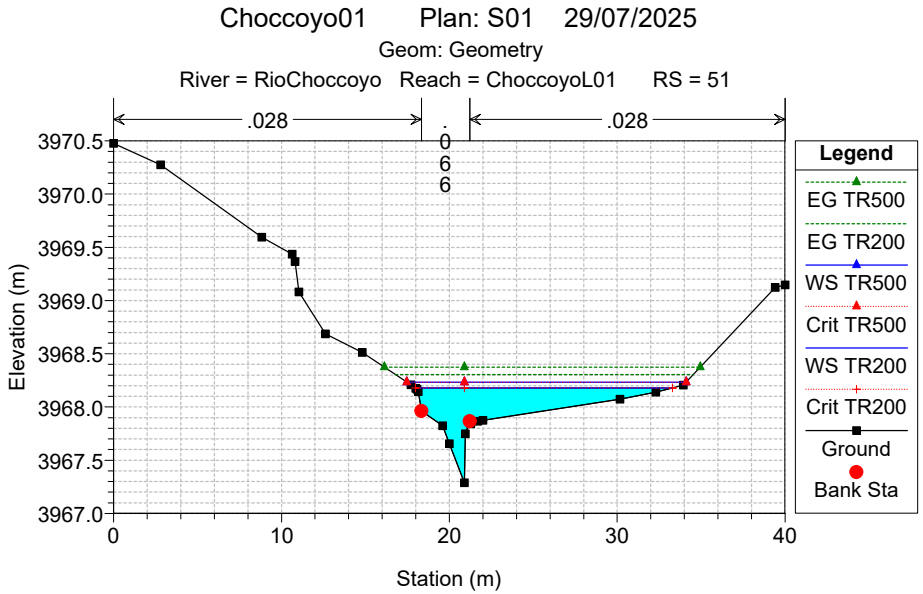

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 66
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

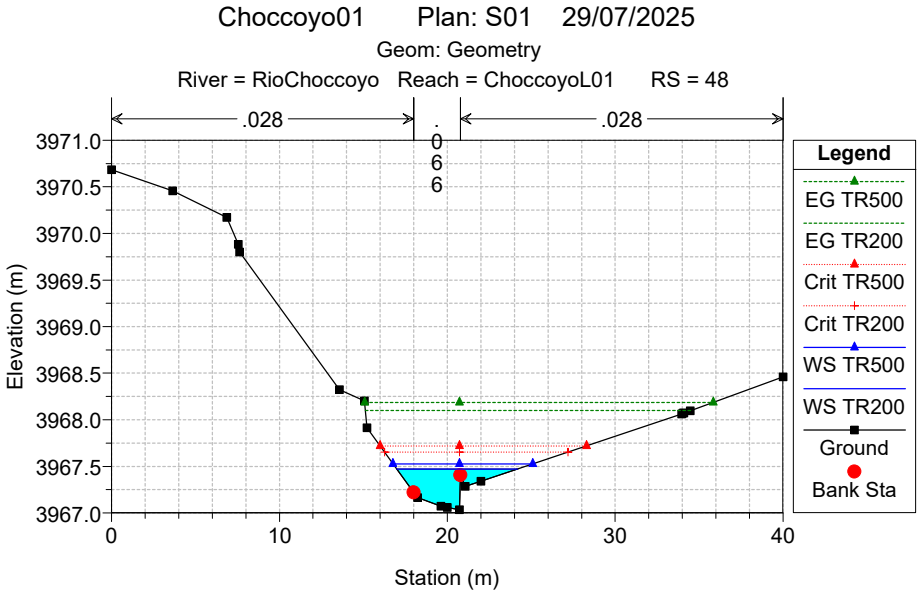

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 63
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

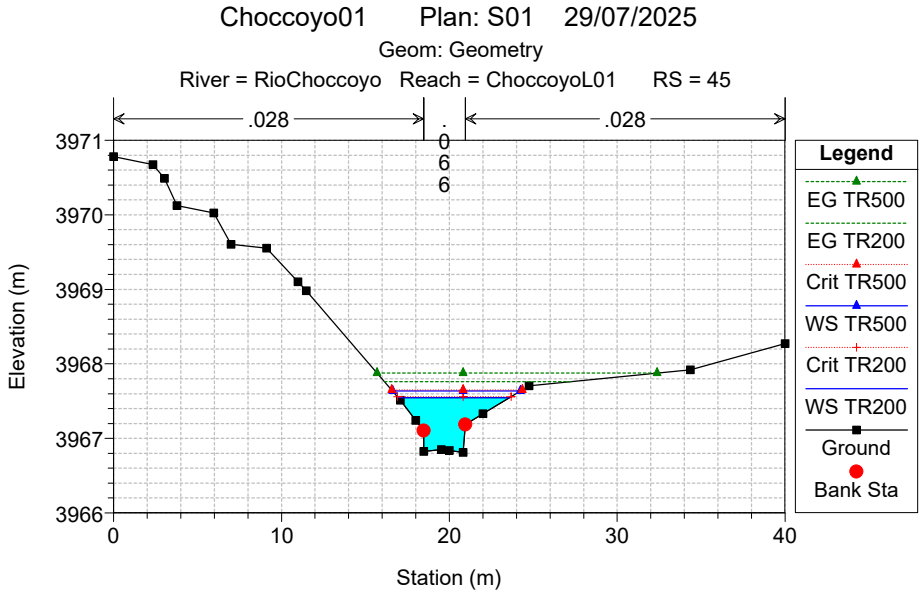

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 59.5
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta

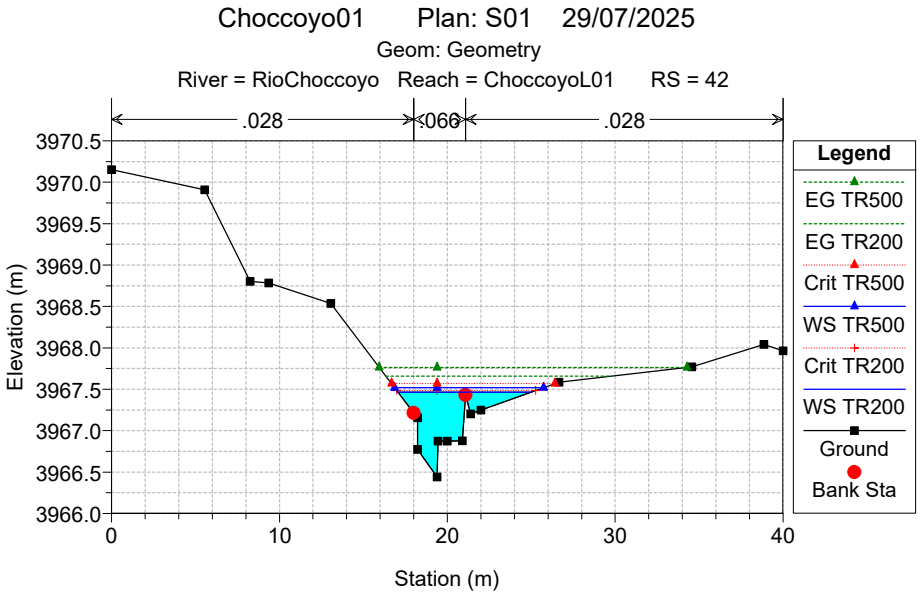

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 56.73
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

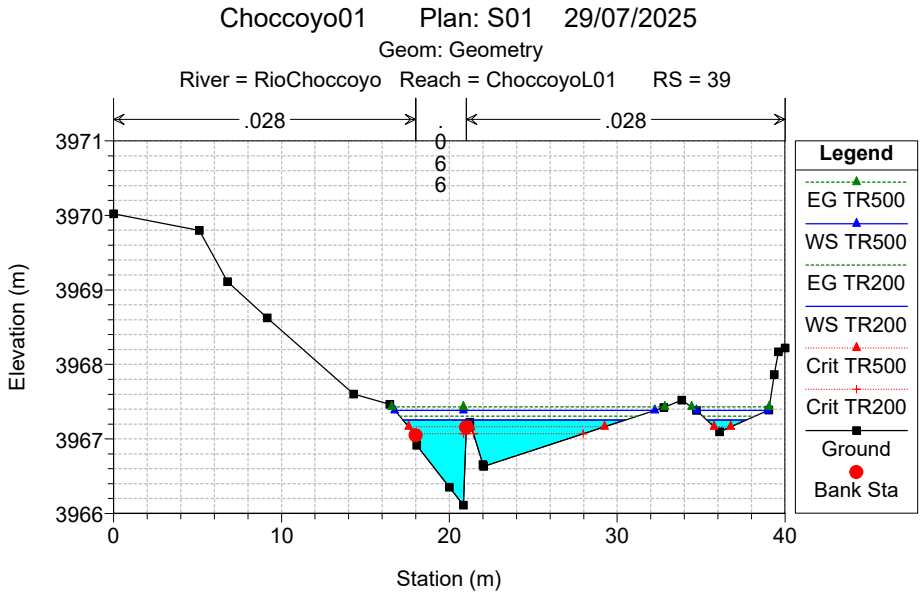

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 54
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

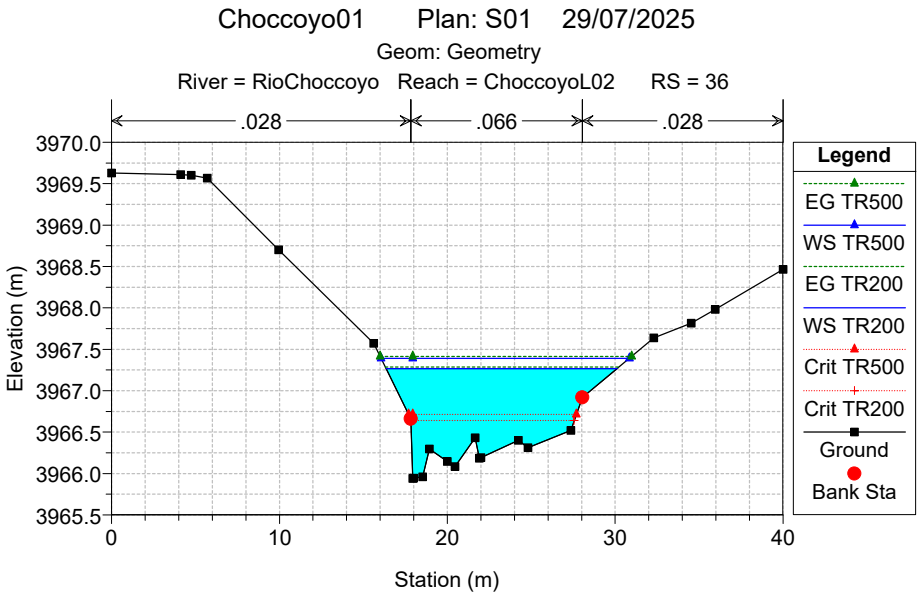

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 51
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta

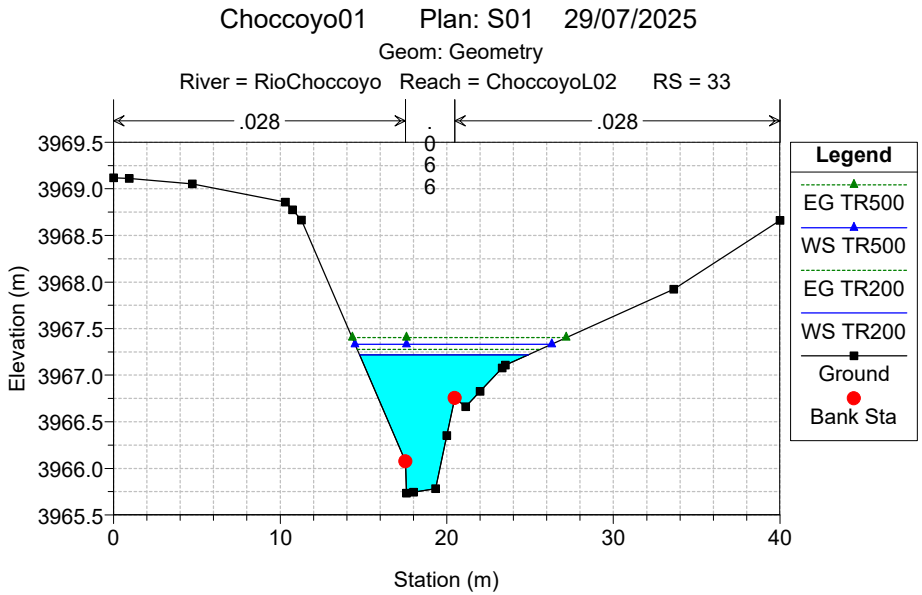

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 48
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

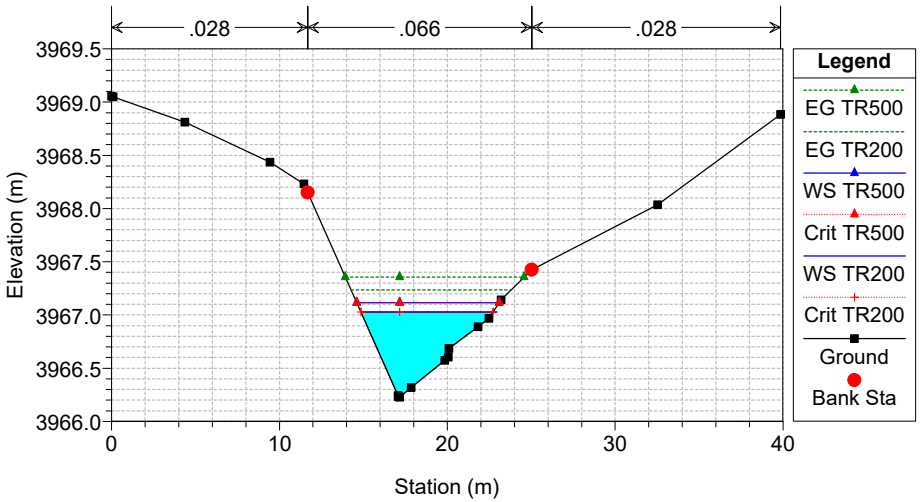

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 45
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

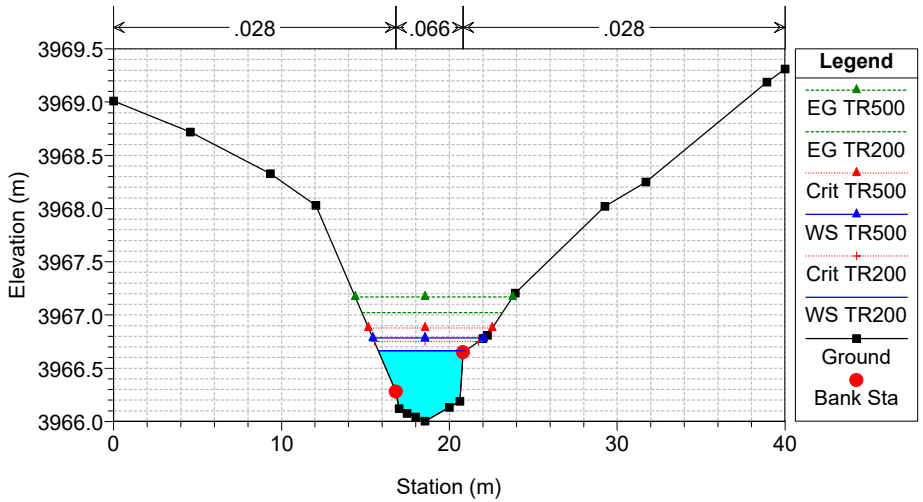

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 42
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

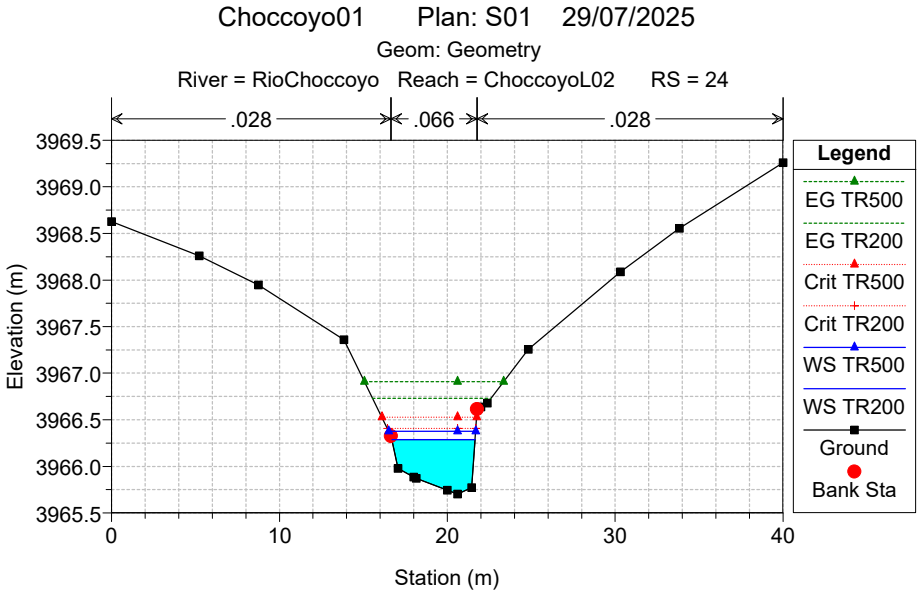

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 39
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta

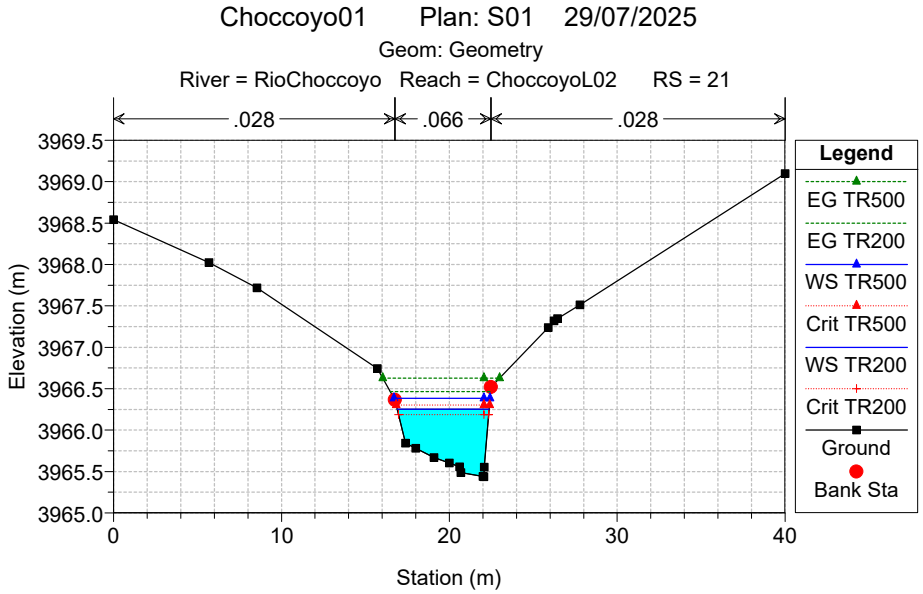

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 36
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta

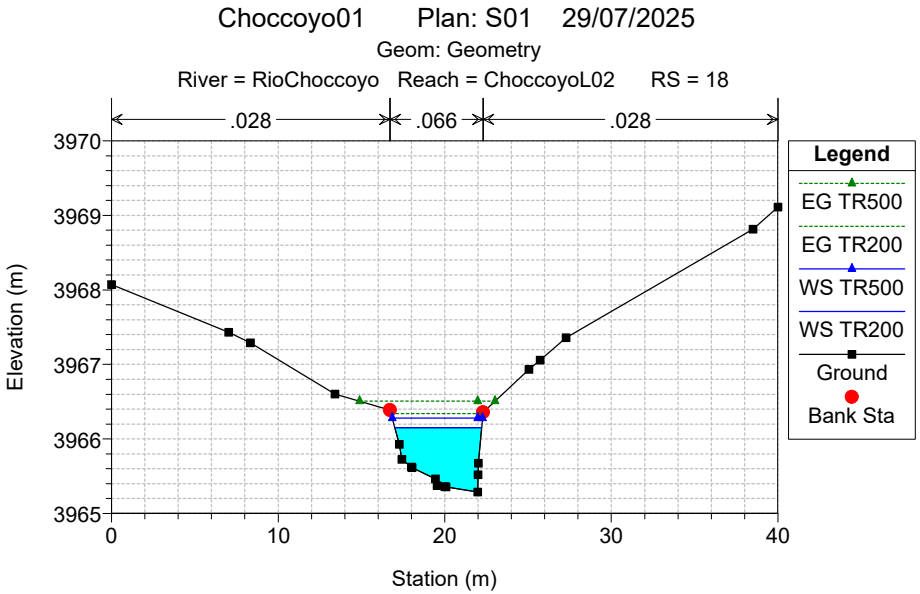

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 33
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

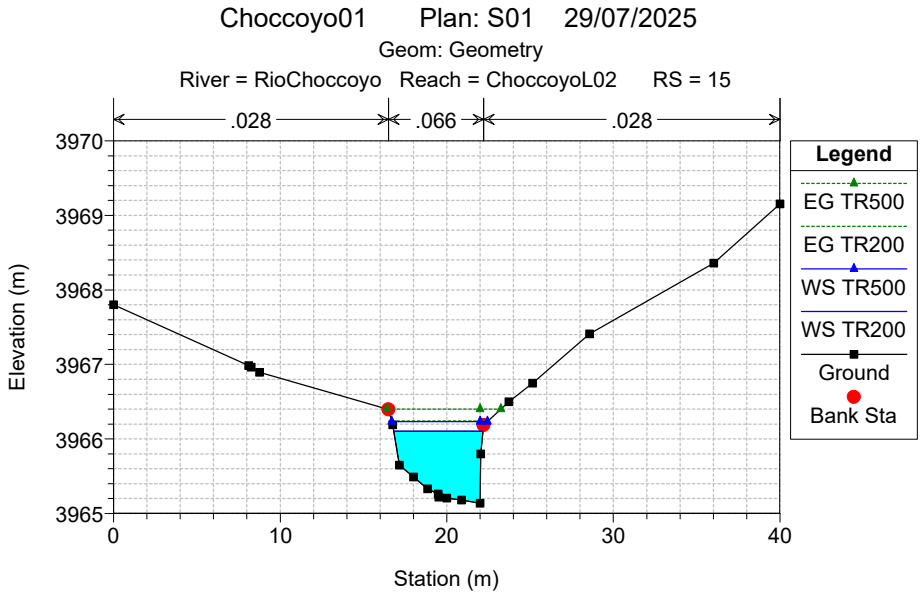

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 30
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta

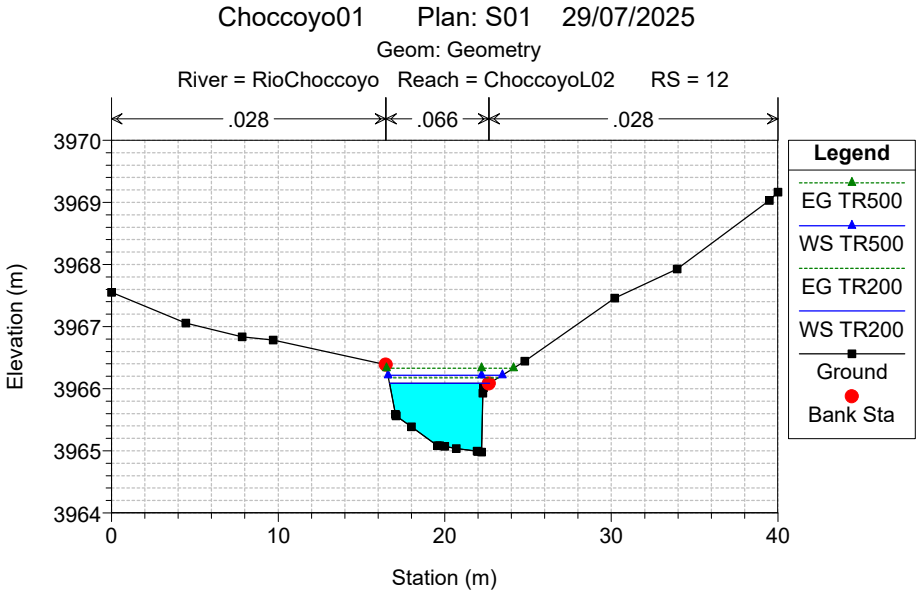

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 27
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

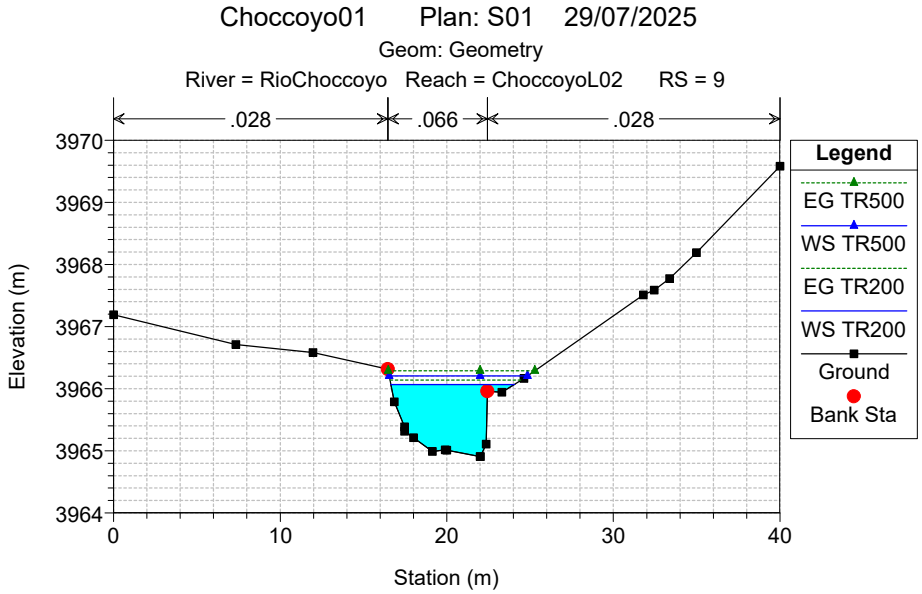

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 24
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

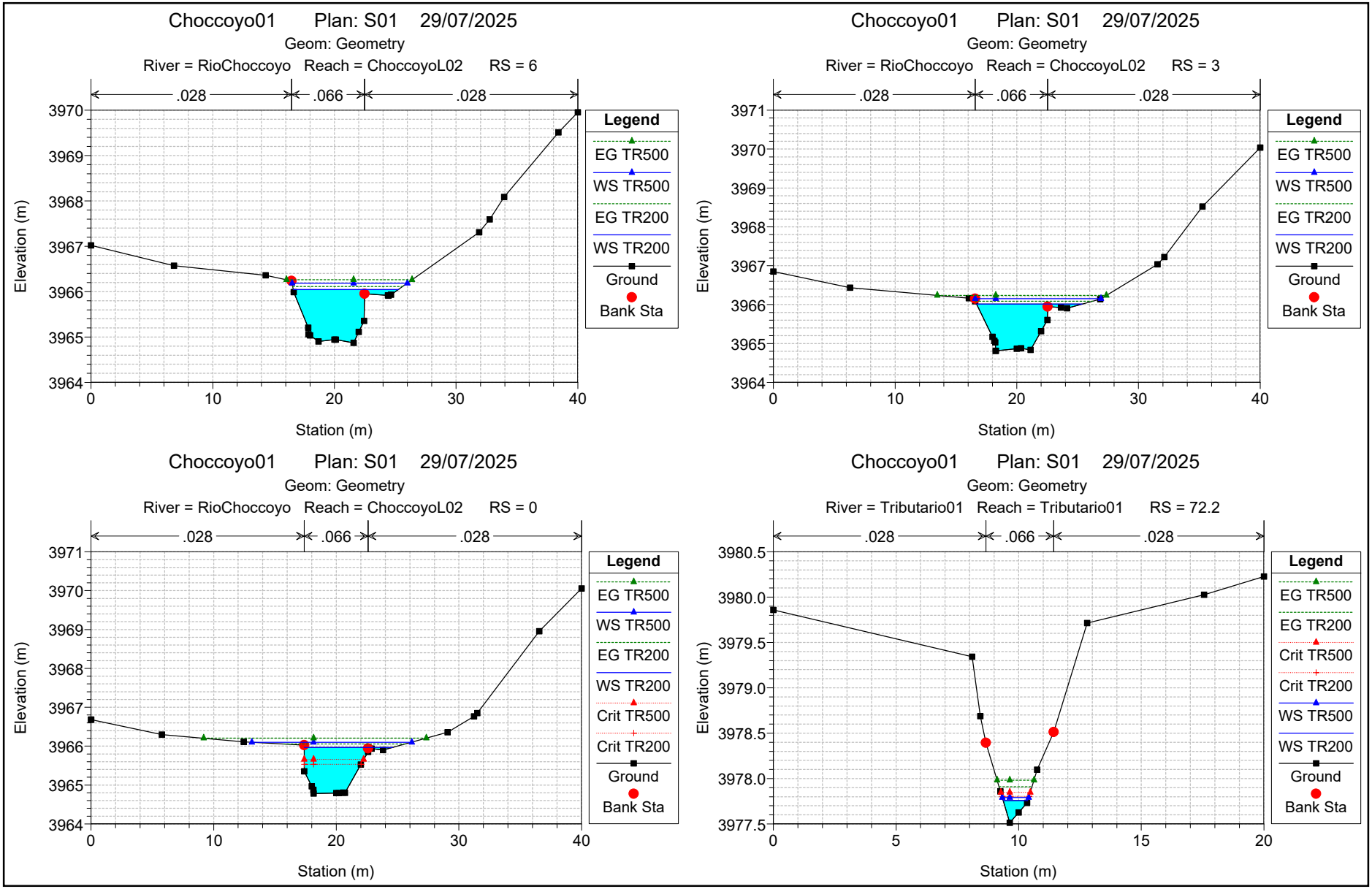

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 21
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta

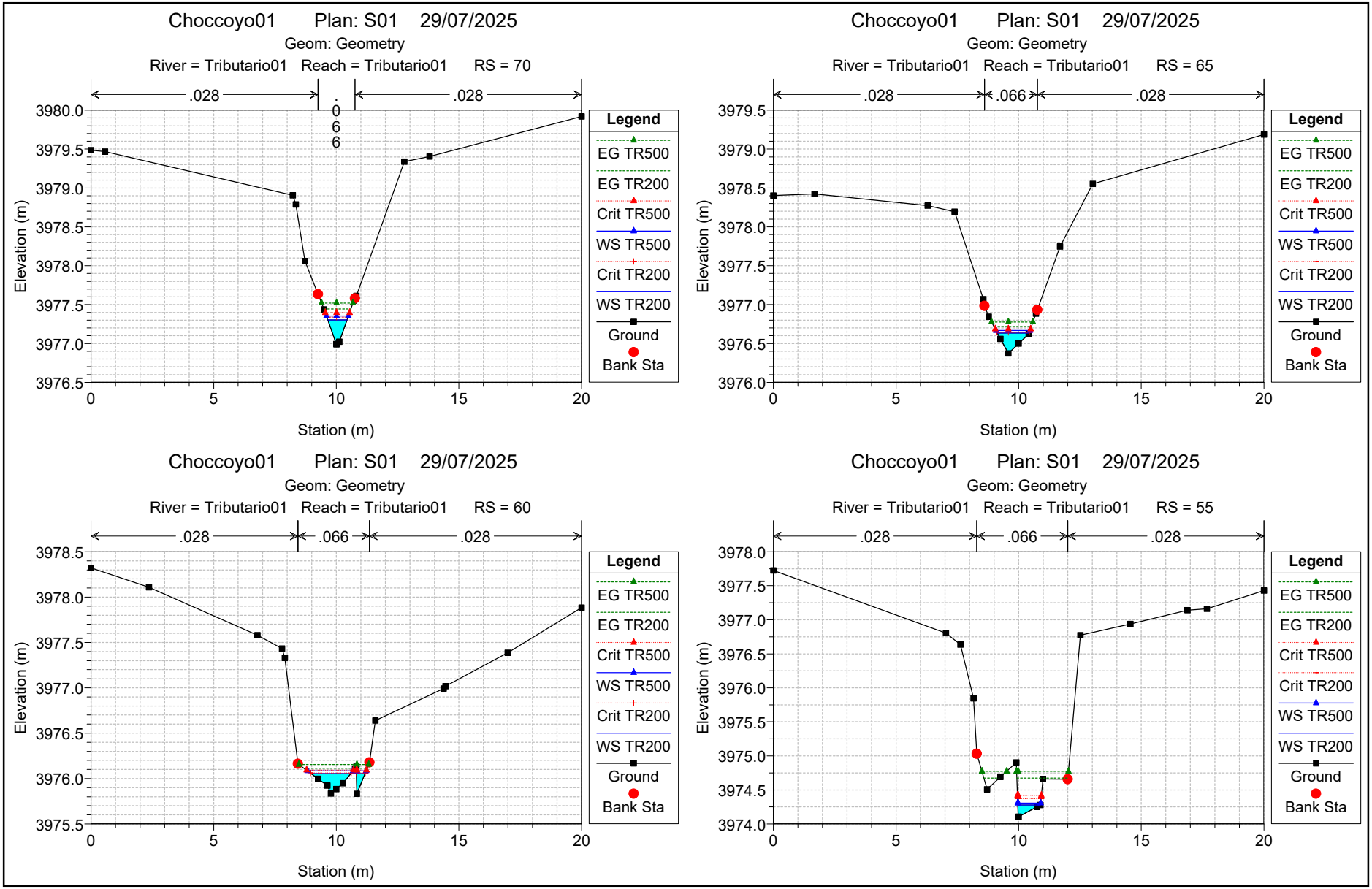

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 18
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

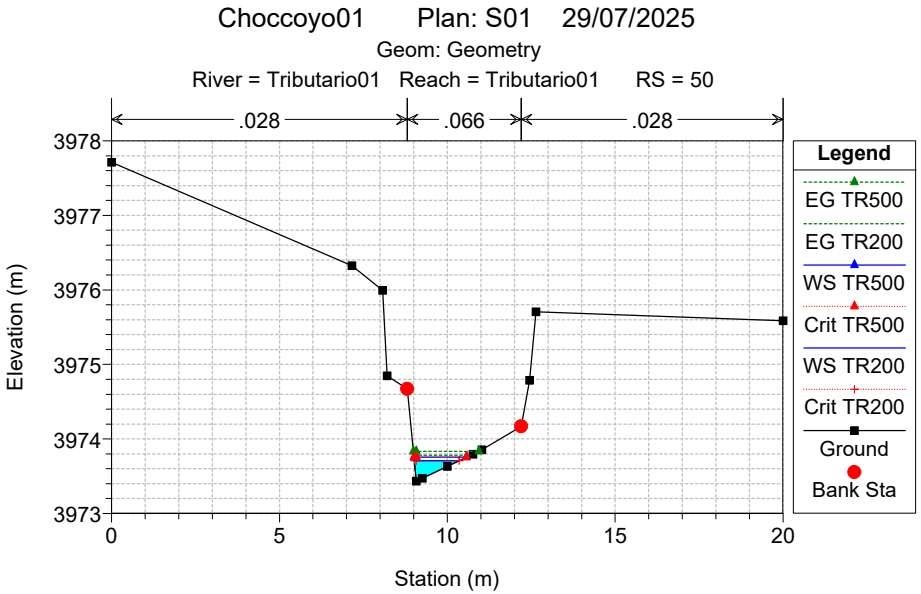

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 15
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

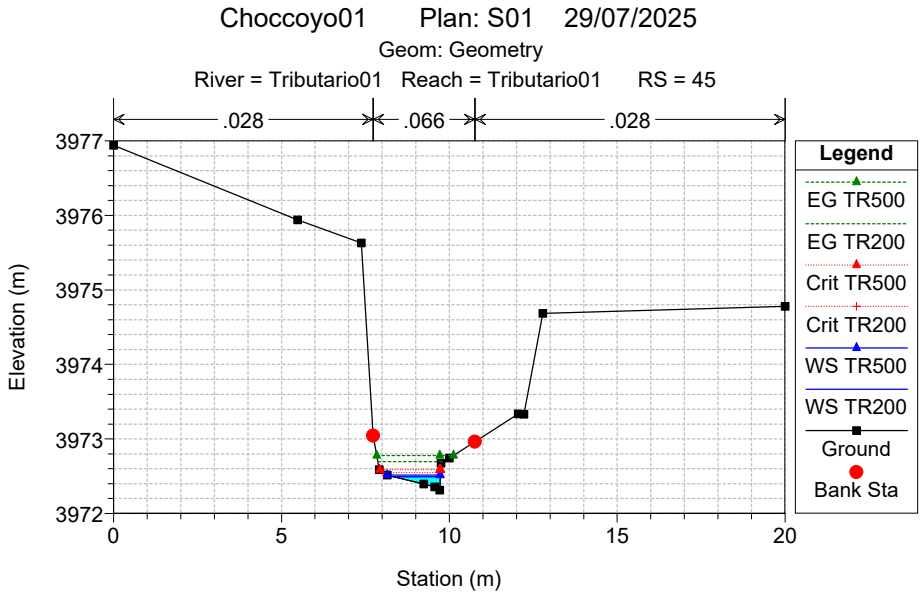

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 12
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

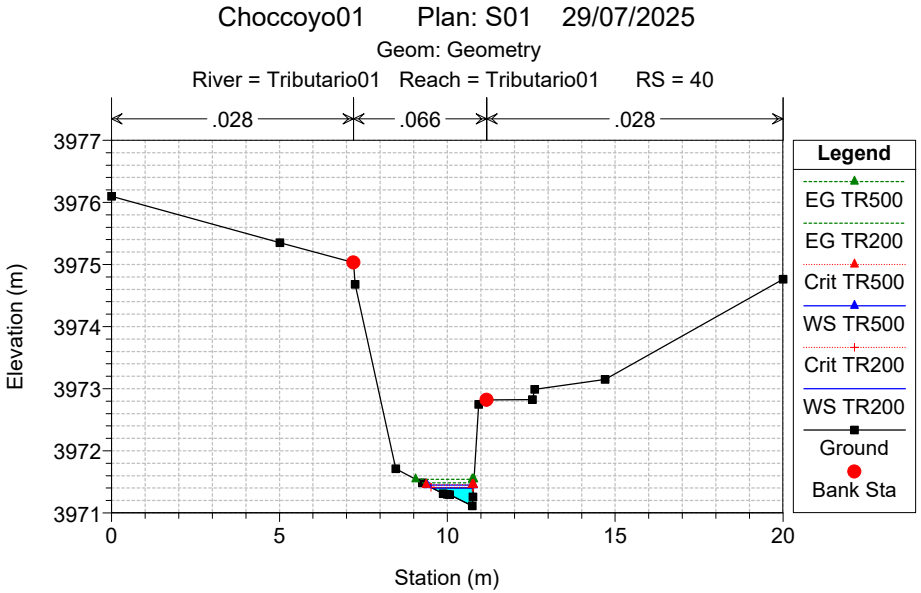

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 9
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

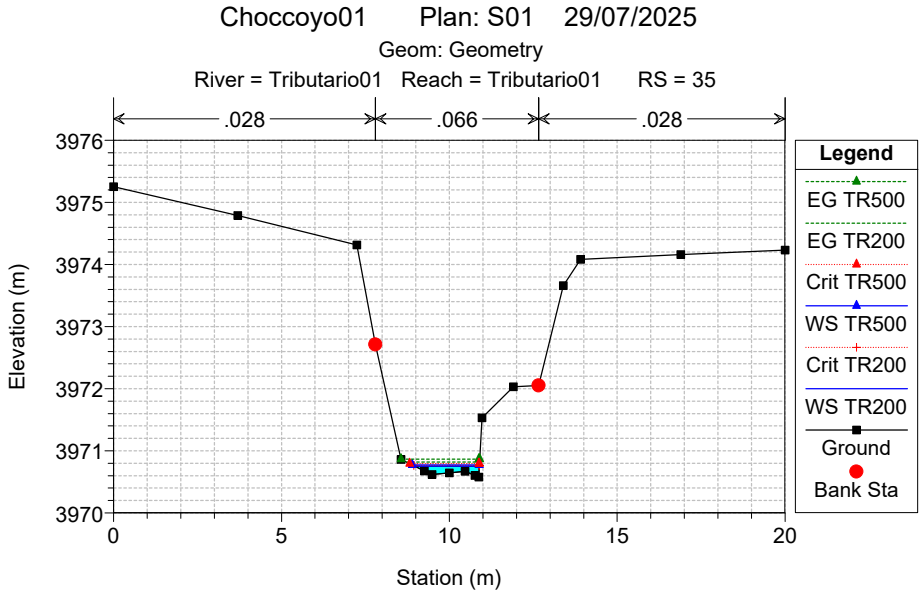

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 6
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 3
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 0
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 72.2
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

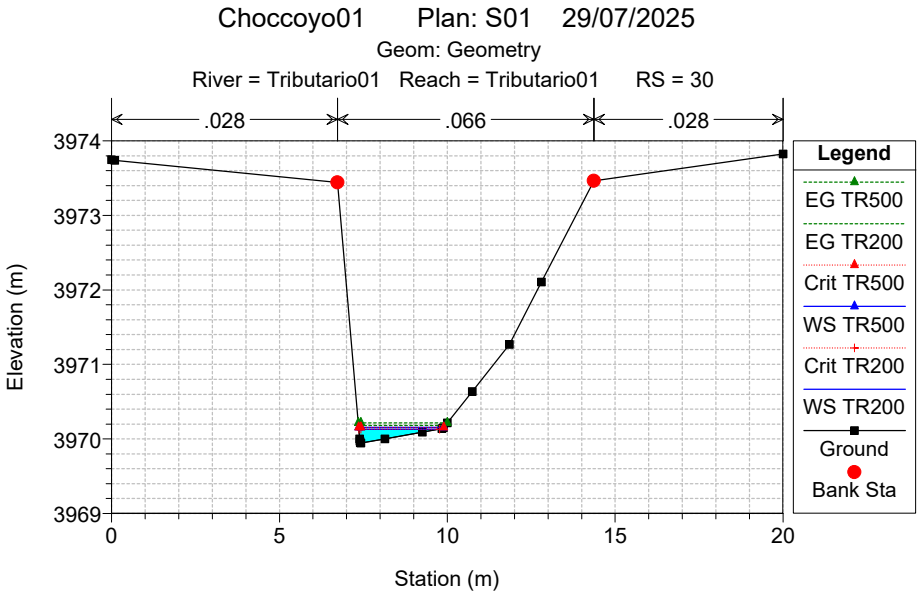

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 70
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 65
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 60
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 55
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

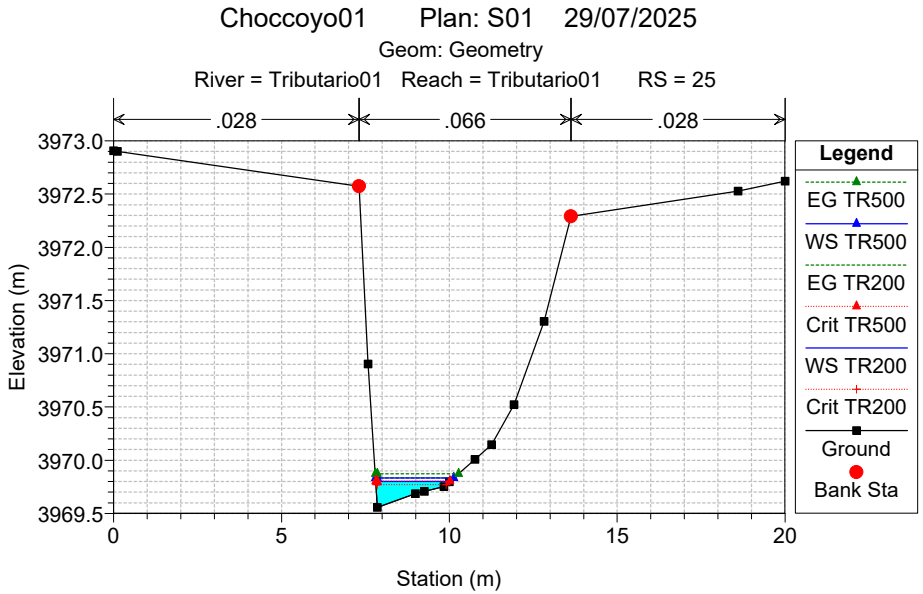

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 50
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta

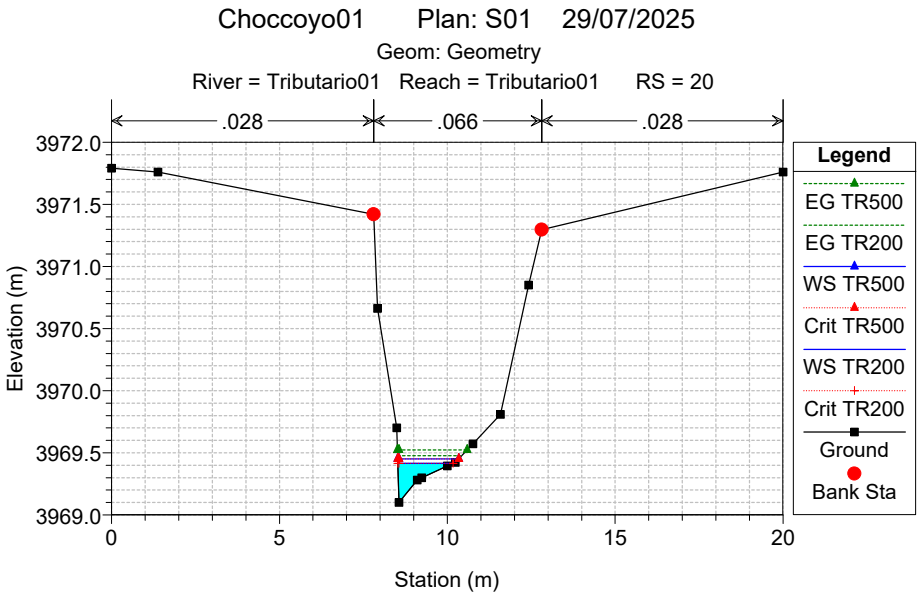

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 45
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

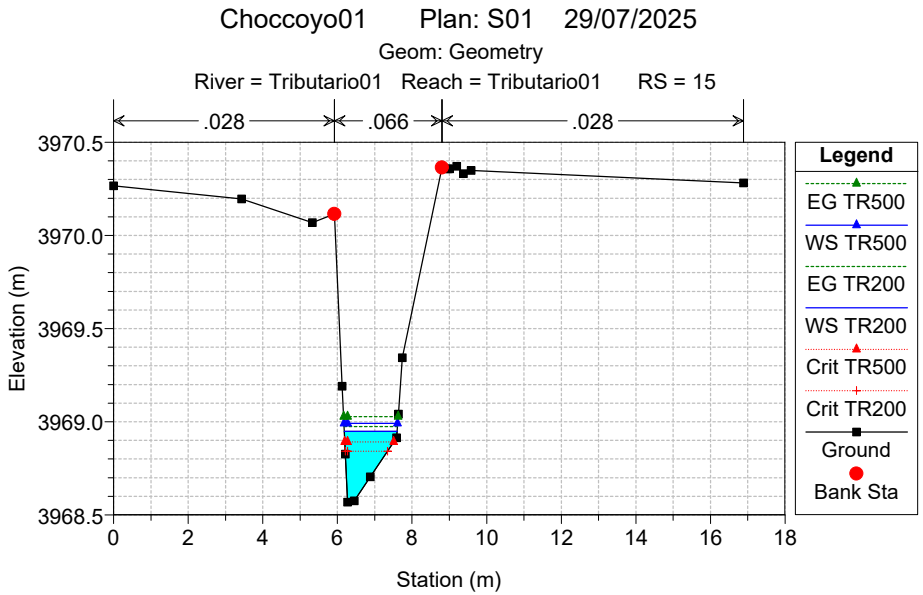

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 40
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

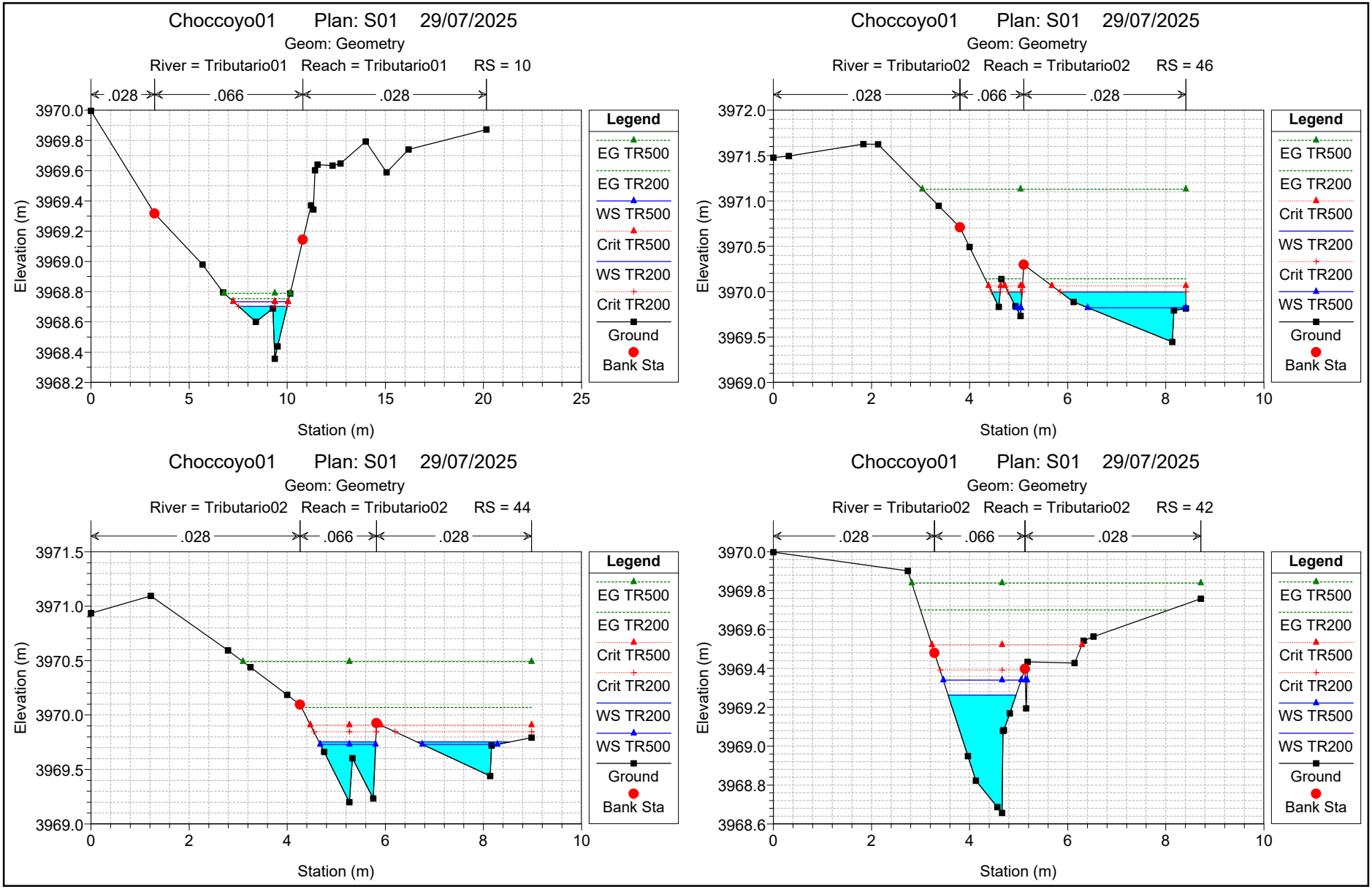

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 35
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

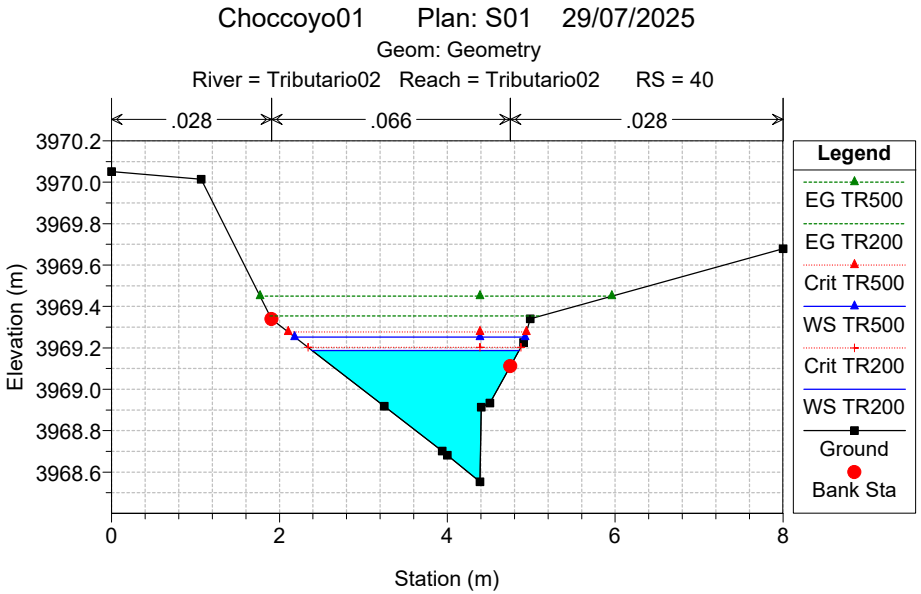

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 30
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

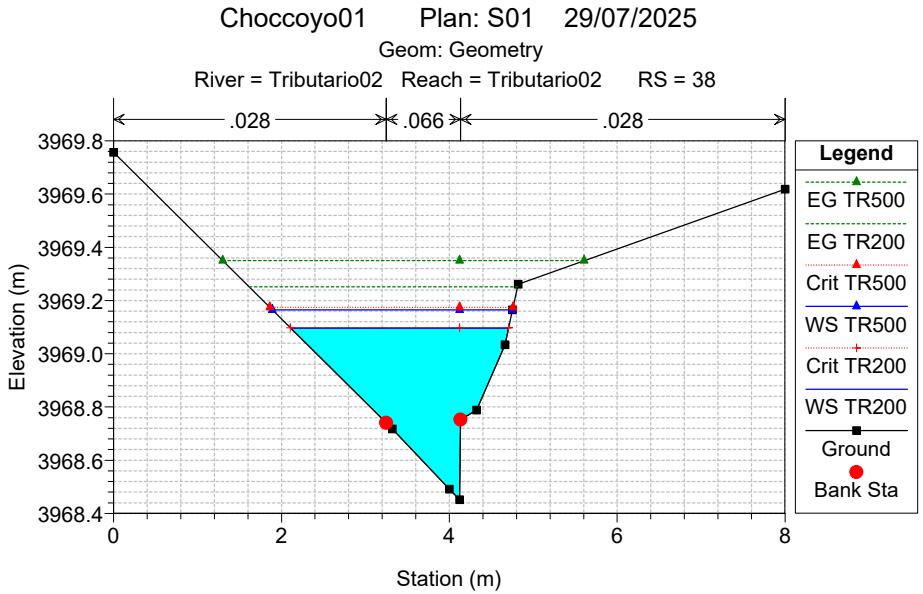

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 25
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta

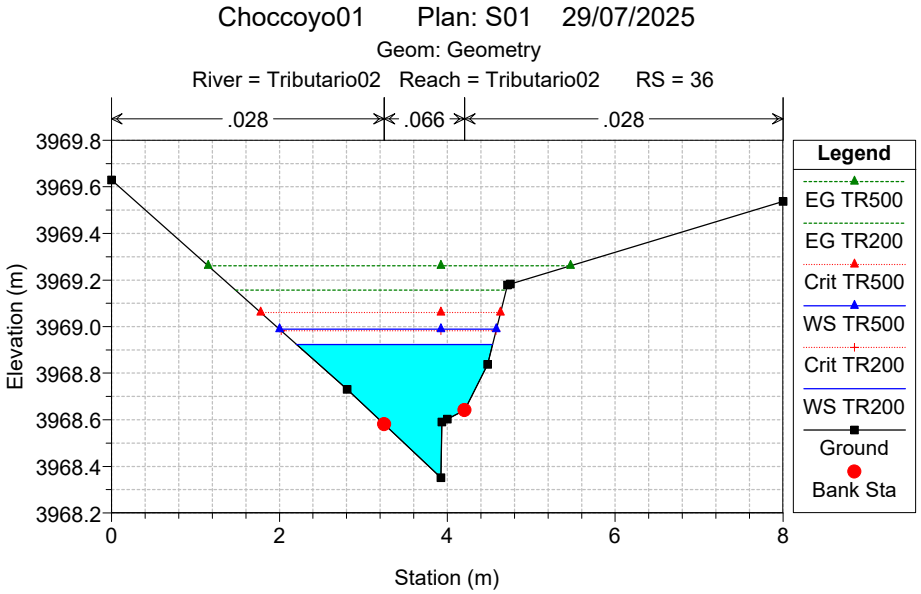

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 20
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta

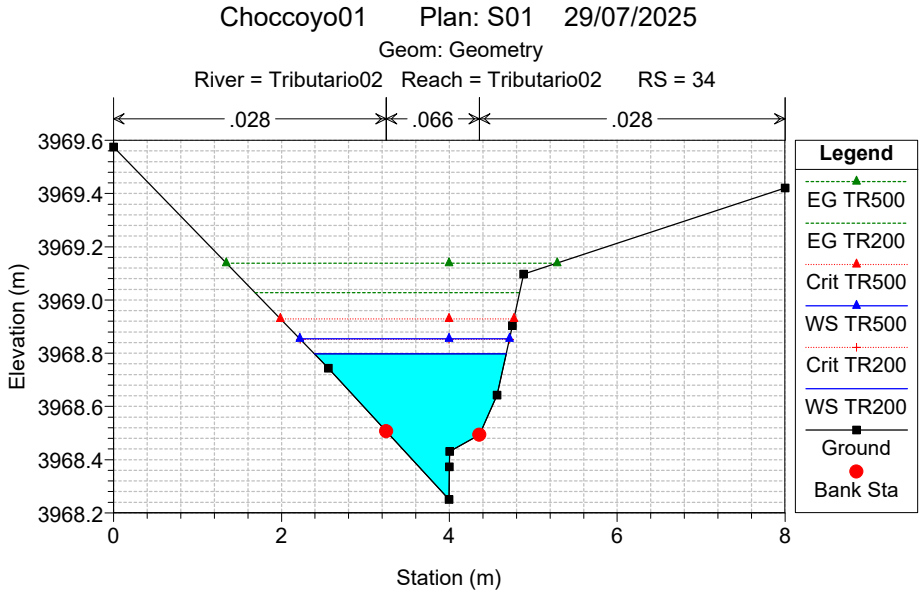

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 15
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta

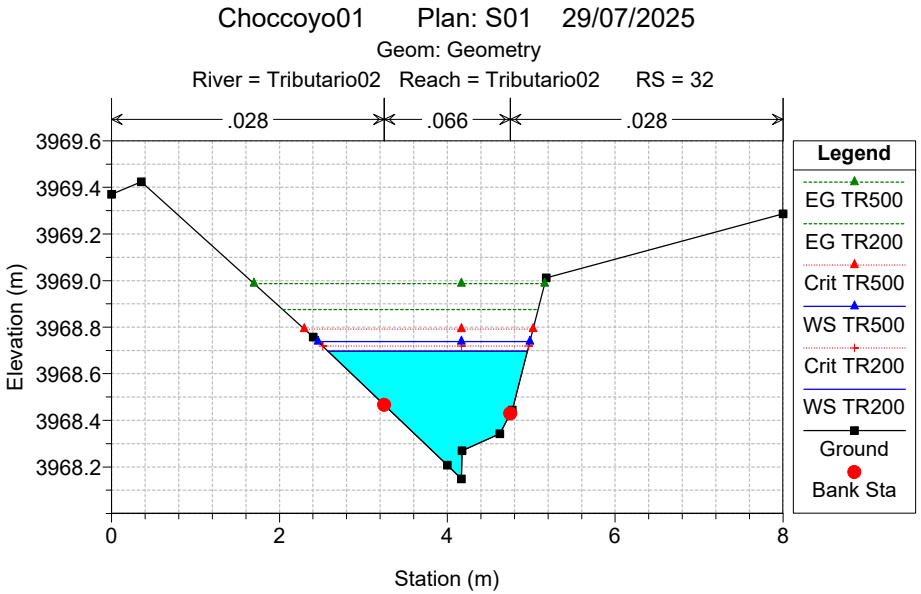

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 10
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 46
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
WS TR500
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 44
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR200
WS TR500
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 42
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

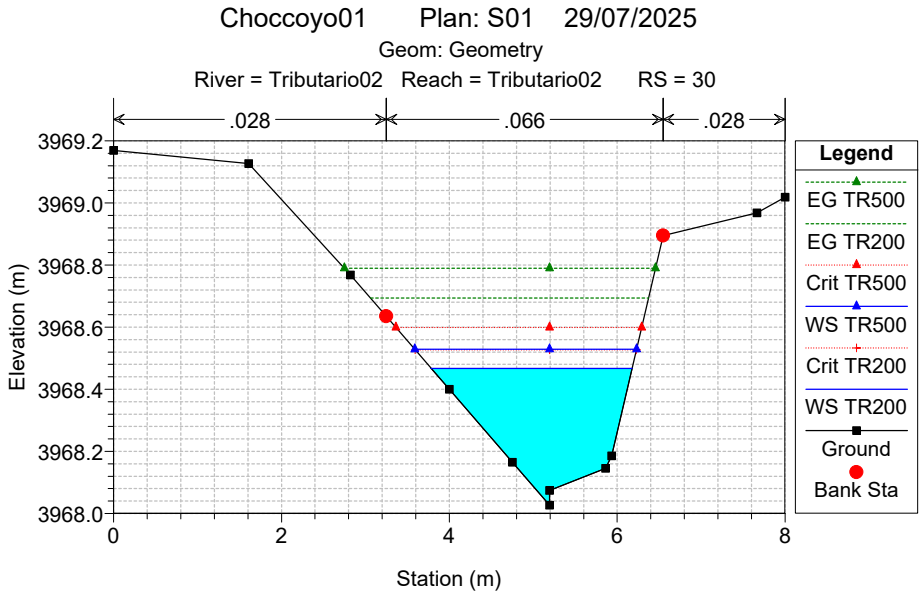

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 40
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

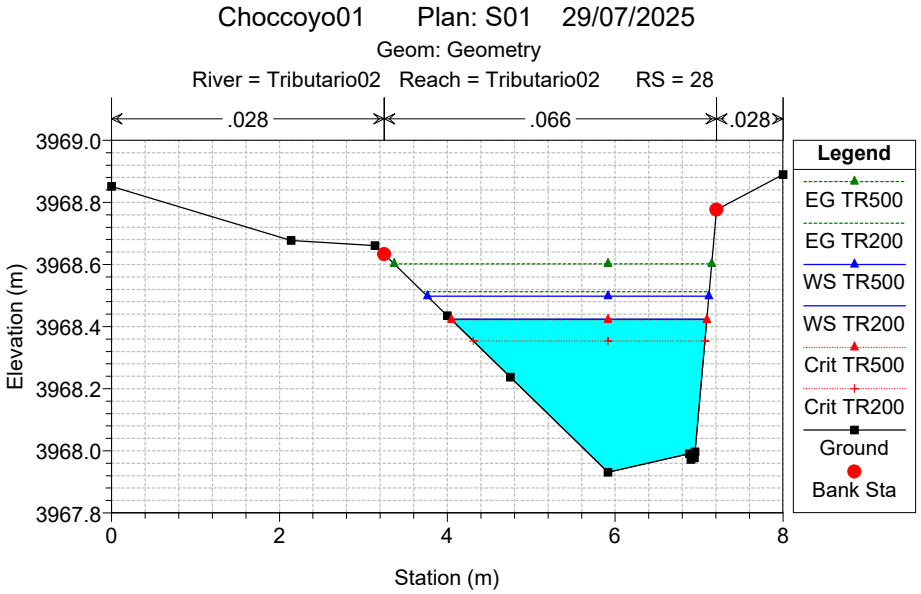

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 38
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

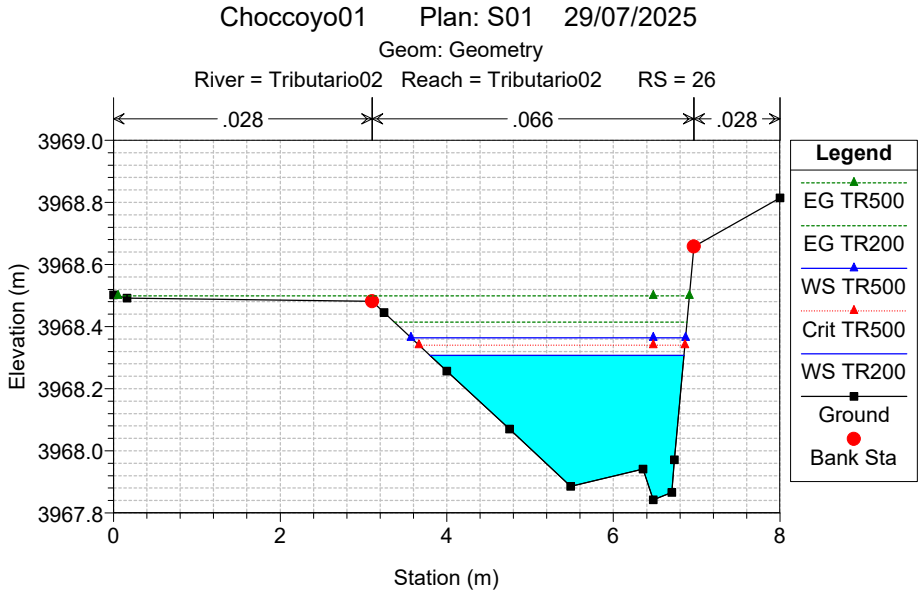

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 36
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

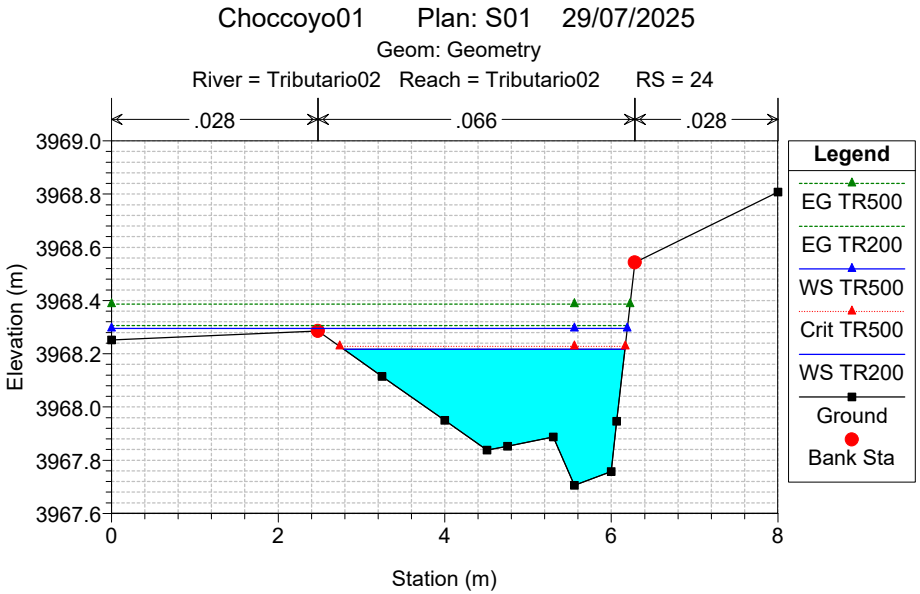

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 34
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

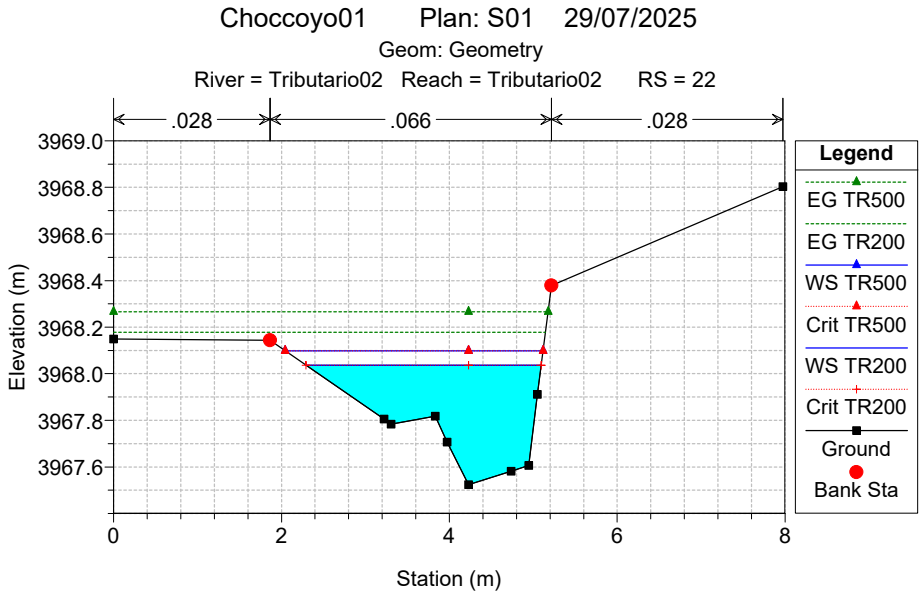

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 32
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

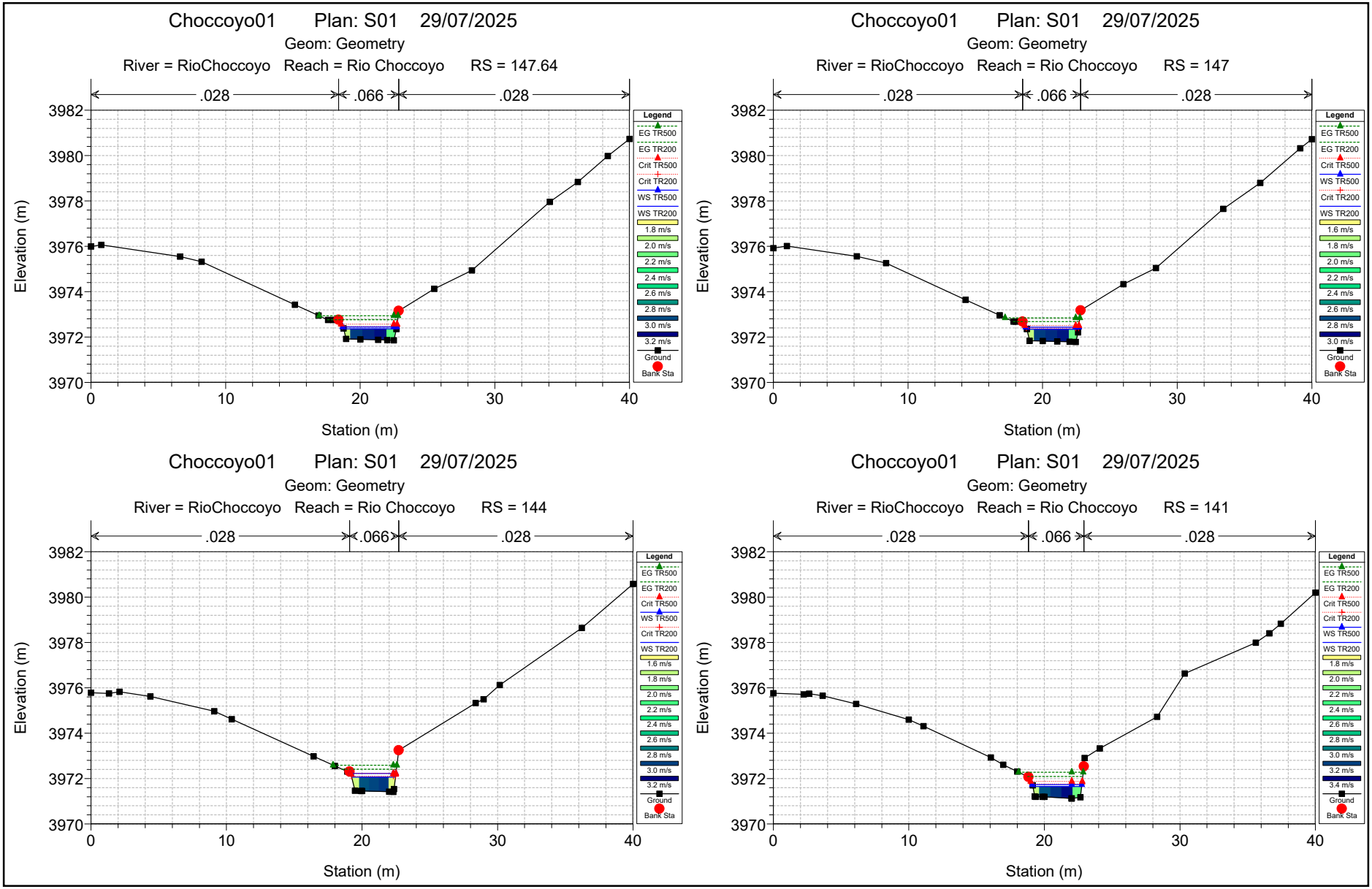

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 30
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
Ground
Bank Sta

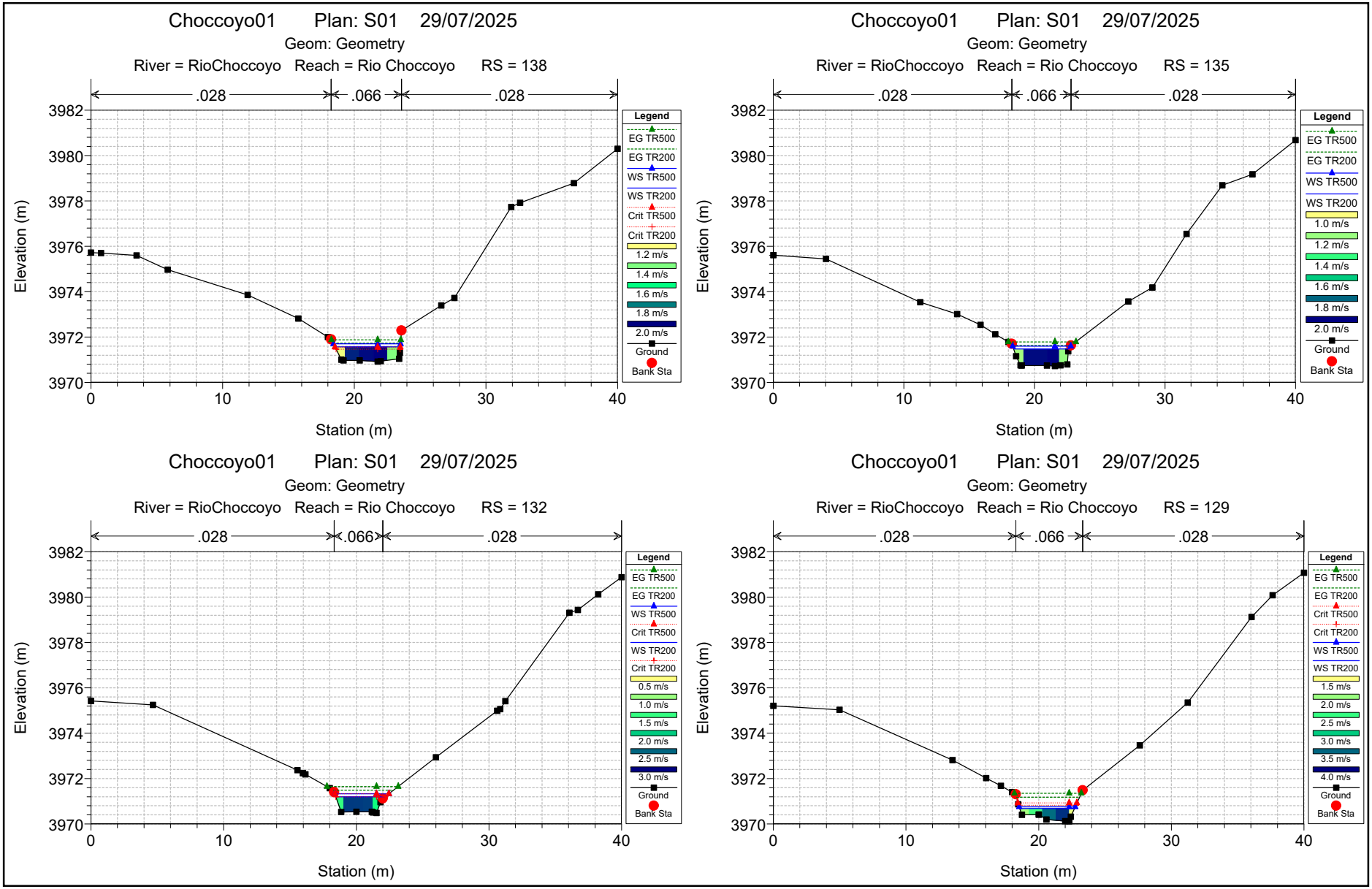

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 28
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
Ground
Bank Sta

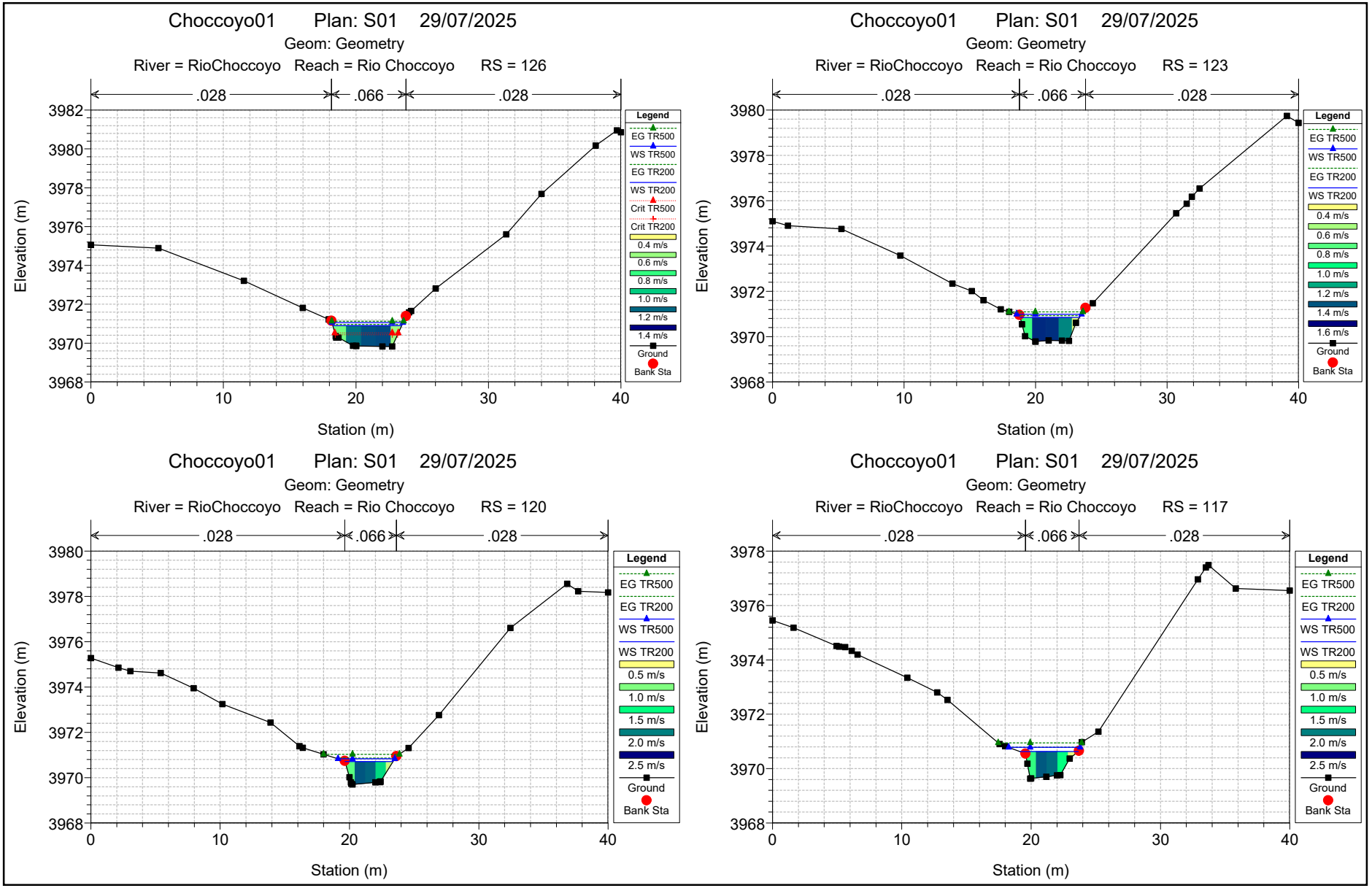

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 26
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

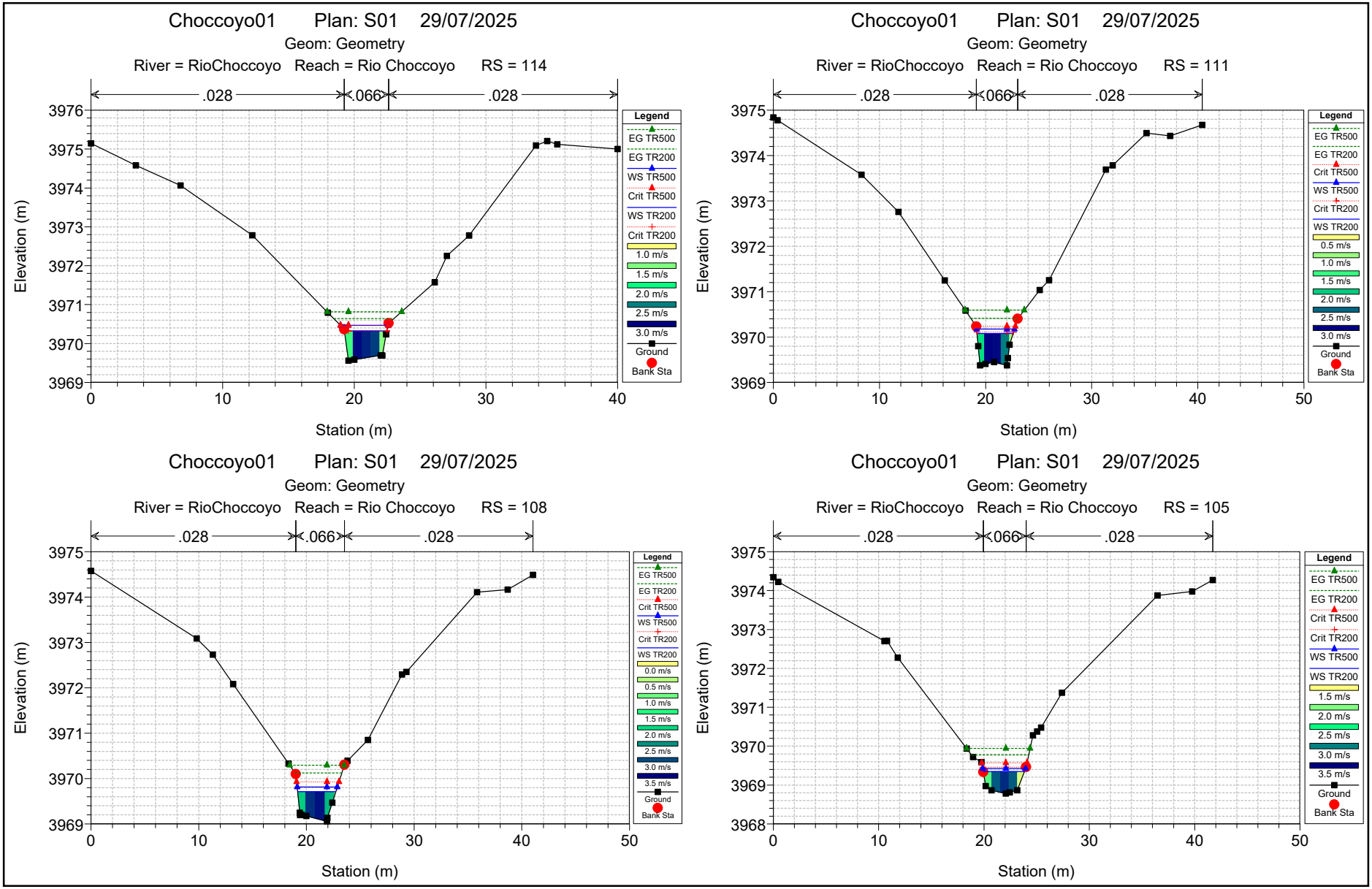

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 24
.028
.066
.028
3969.0
3968.8
3968.6
3968.4
3968.2
3968.0
3967.8
3967.6
Elevation (m)
0
2
4
6
8
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Ground
Bank Sta

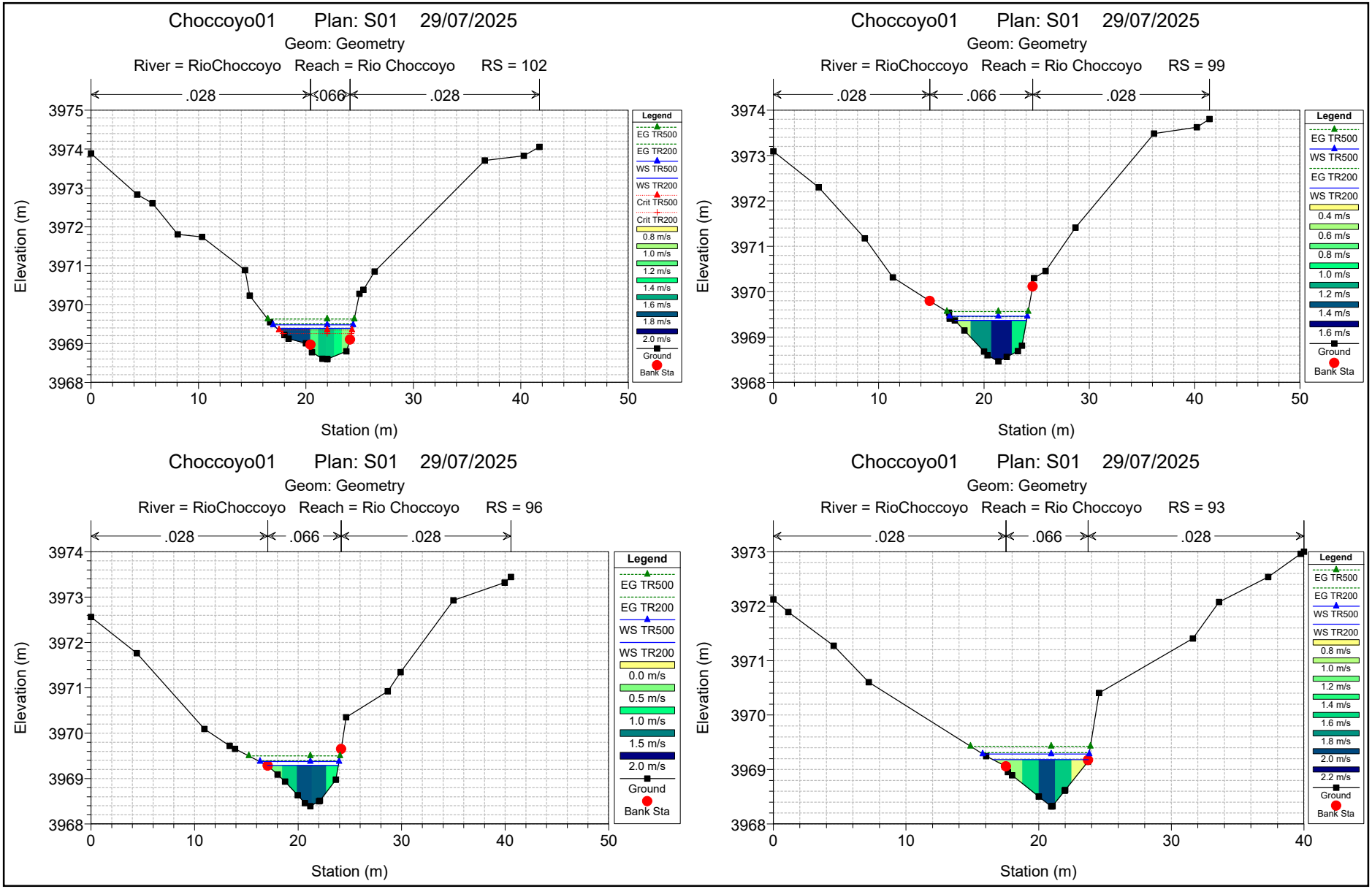

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 22
.028
.066
.028
3969.0
3968.8
3968.6
3968.4
3968.2
3968.0
3967.8
3967.6
Elevation (m)
0
2
4
6
8
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
Ground
Bank Sta

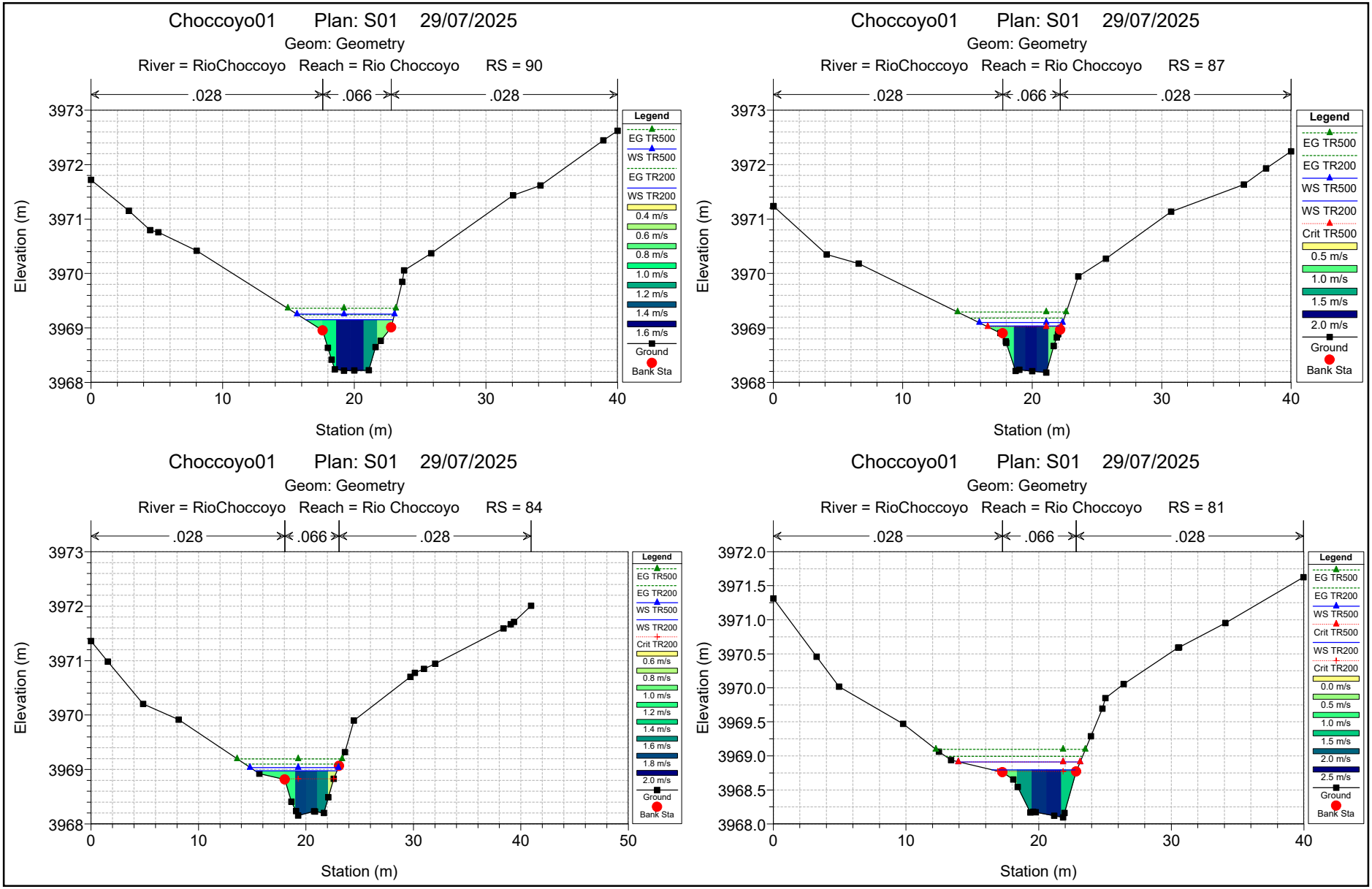

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 147.64
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
1.8 m/s
2.0 m/s
2.2 m/s
2.4 m/s
2.6 m/s
2.8 m/s
3.0 m/s
3.2 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 147
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 144
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 141
3.4 m/s

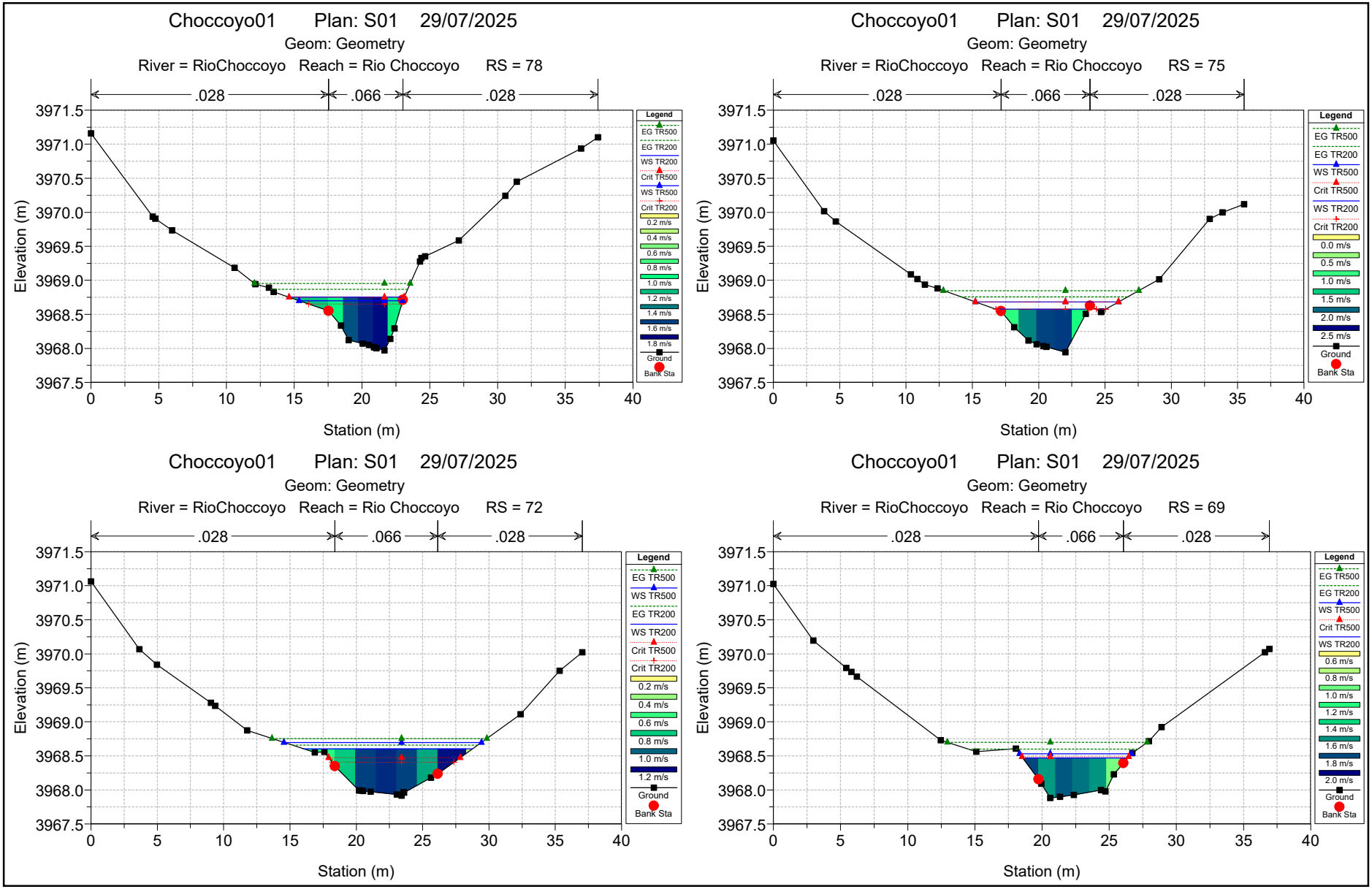

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 138
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 135
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 132
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 129
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
3.5 m/s
4.0 m/s
Ground
Bank Sta

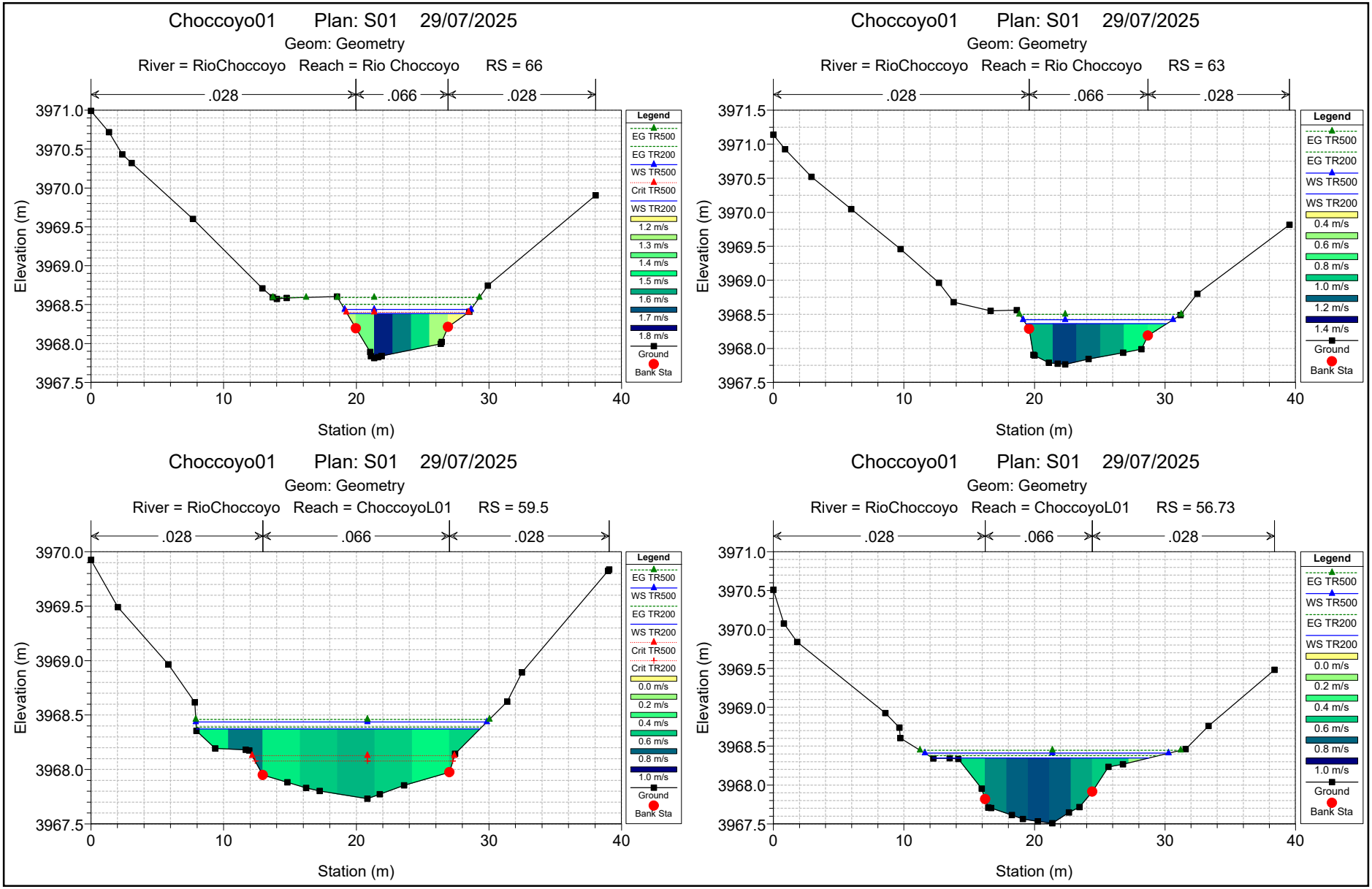

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 126
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 123
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 120
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 117

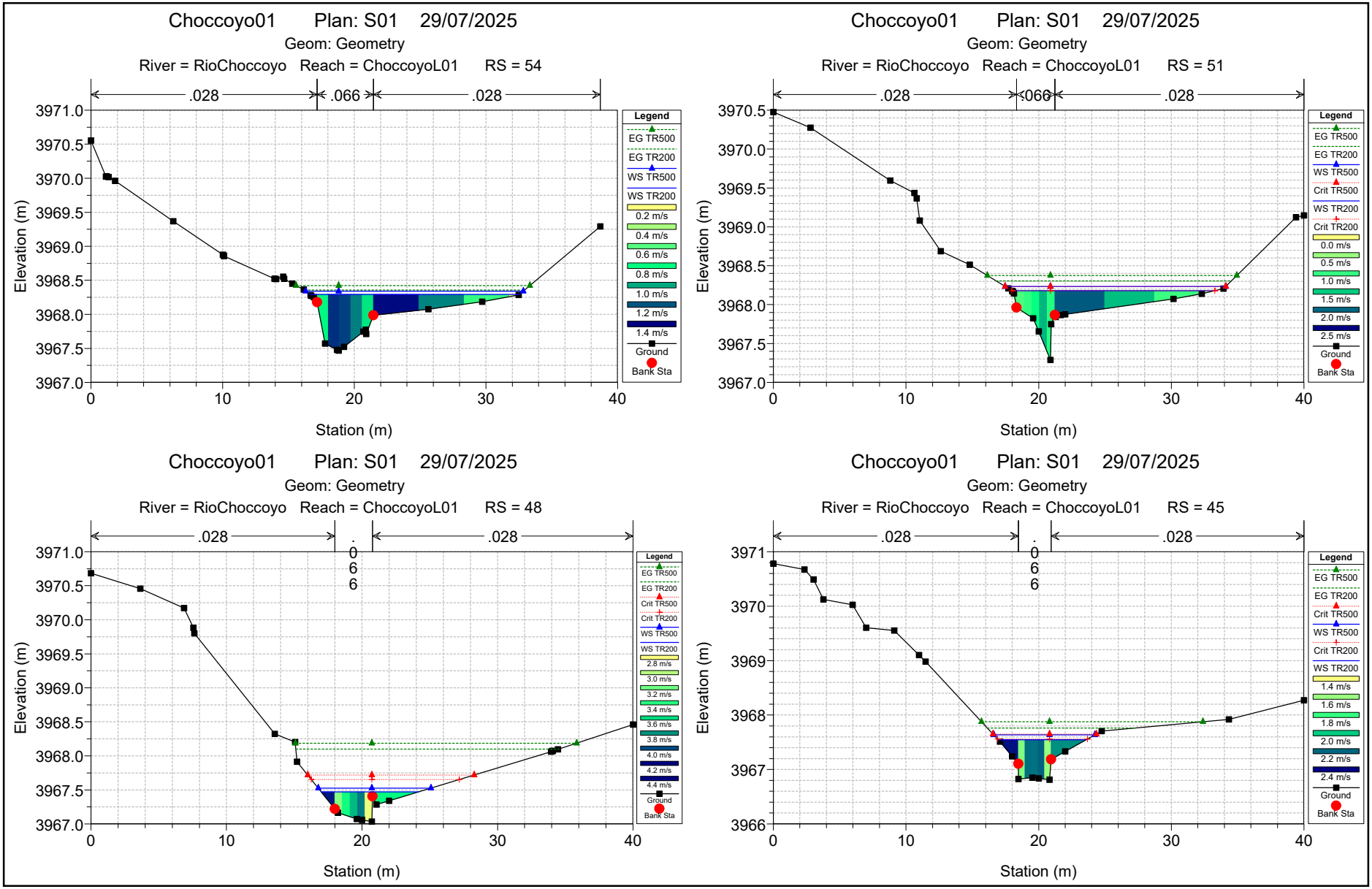

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 114
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 111
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 108
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
3.5 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 105
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
3.5 m/s
Ground
Bank Sta

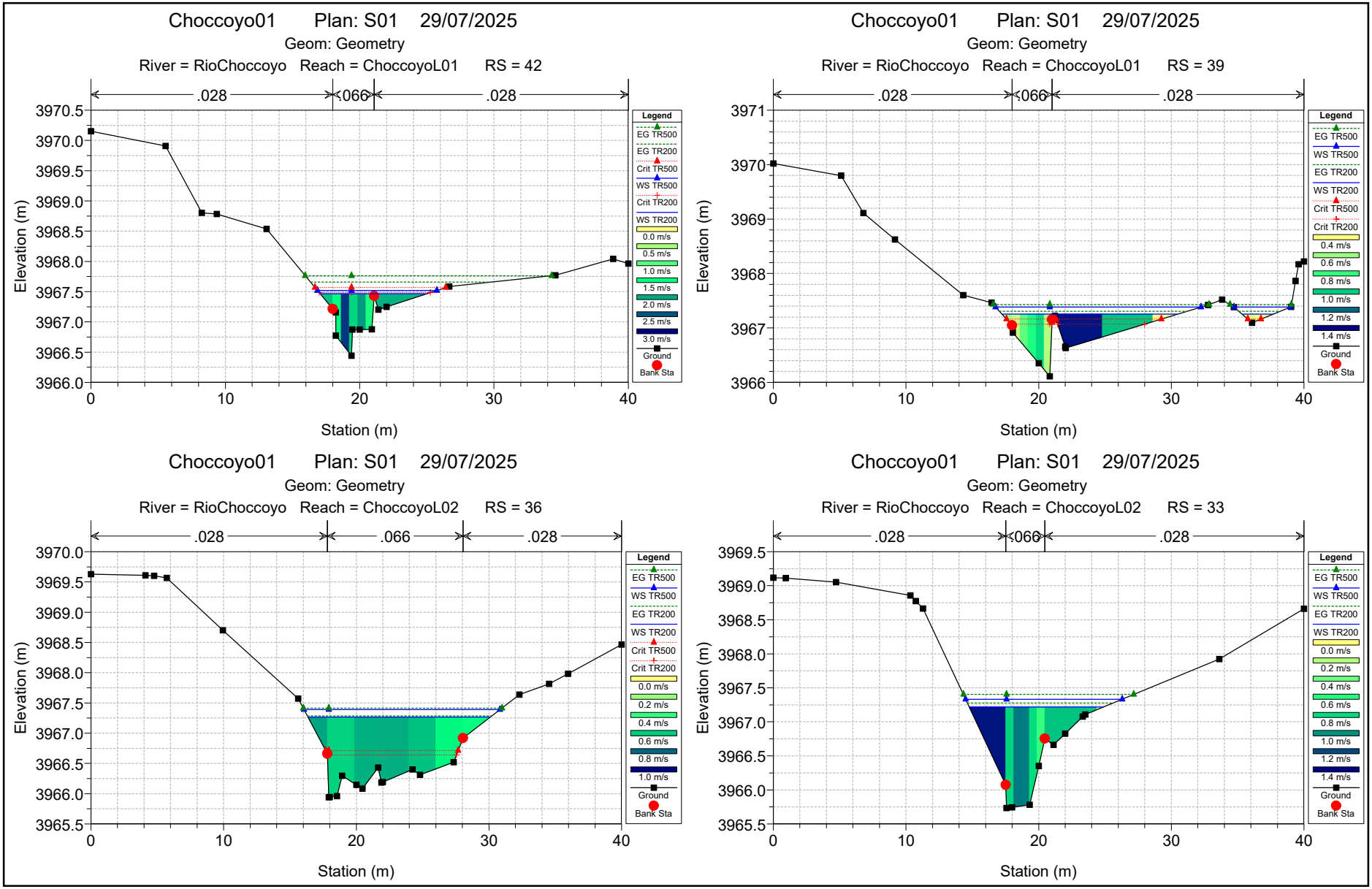

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 102
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 99
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 96
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 93
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
2.2 m/s
Ground
Bank Sta

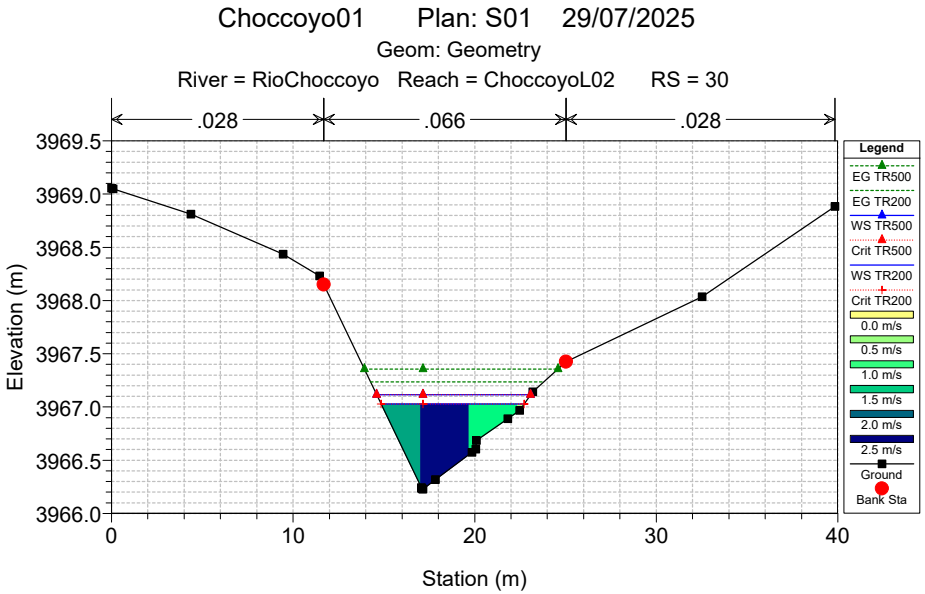

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 90
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 87
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR500
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 84
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR200
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 81
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
Ground
Bank Sta

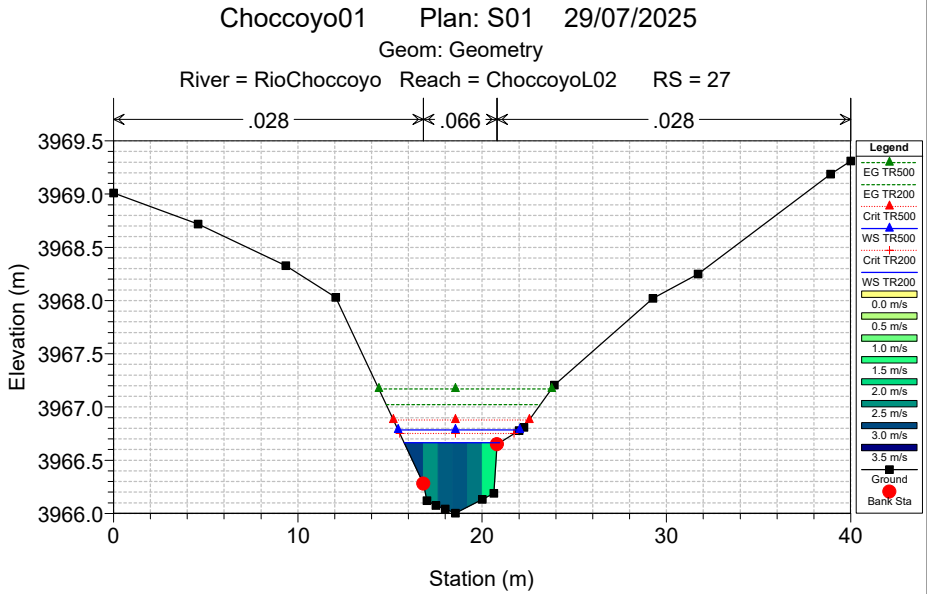

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 78
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 75
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 72
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 69
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta

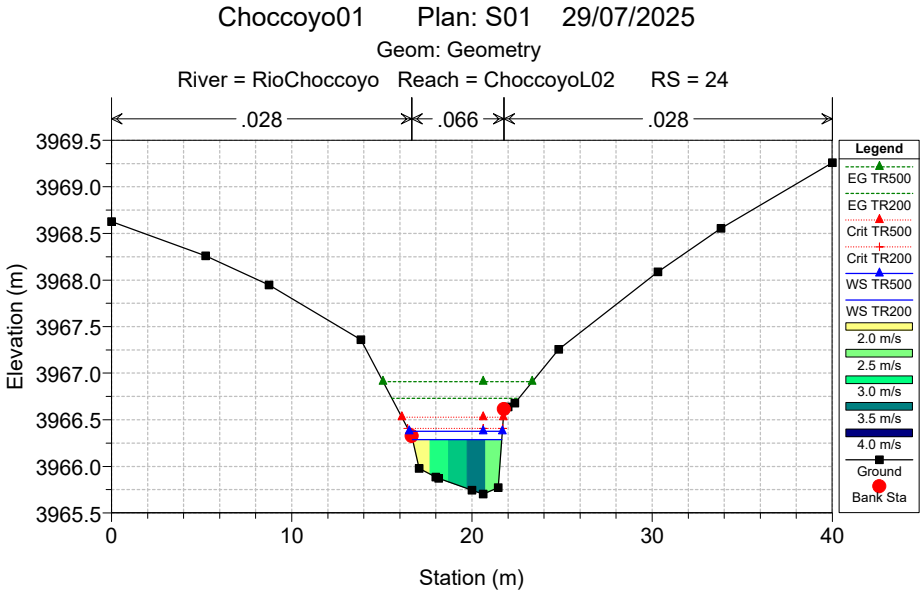

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 66
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
1.2 m/s
1.3 m/s
1.4 m/s
1.5 m/s
1.6 m/s
1.7 m/s
1.8 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = Rio Choccoyo RS = 63
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 59.5
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
0.0 m/s
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 56.73
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
0.0 m/s
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
Ground
Bank Sta

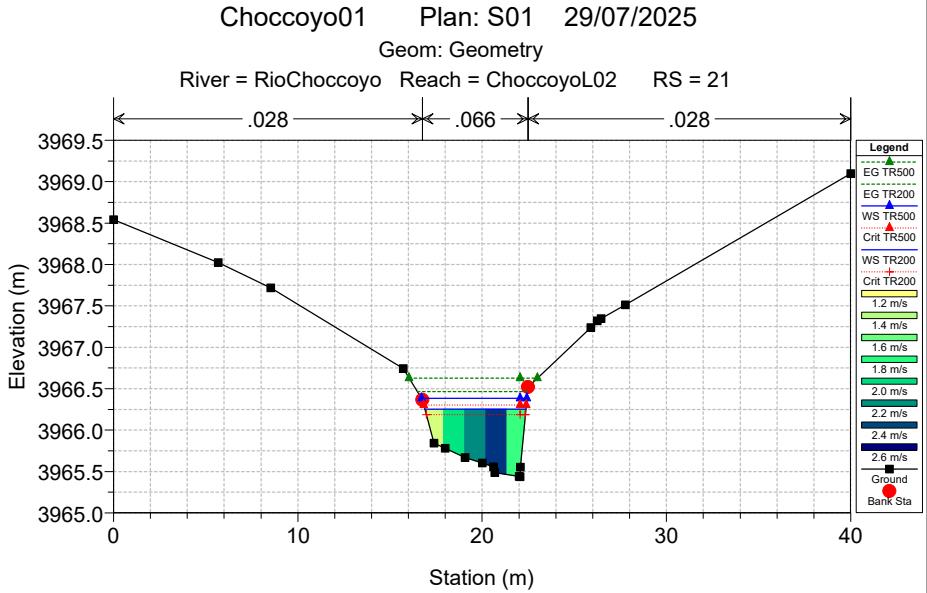

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 54
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 51
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 48
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
2.8 m/s
3.0 m/s
3.2 m/s
3.4 m/s
3.6 m/s
3.8 m/s
4.0 m/s
4.2 m/s
4.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 45
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
2.2 m/s
2.4 m/s
Ground
Bank Sta

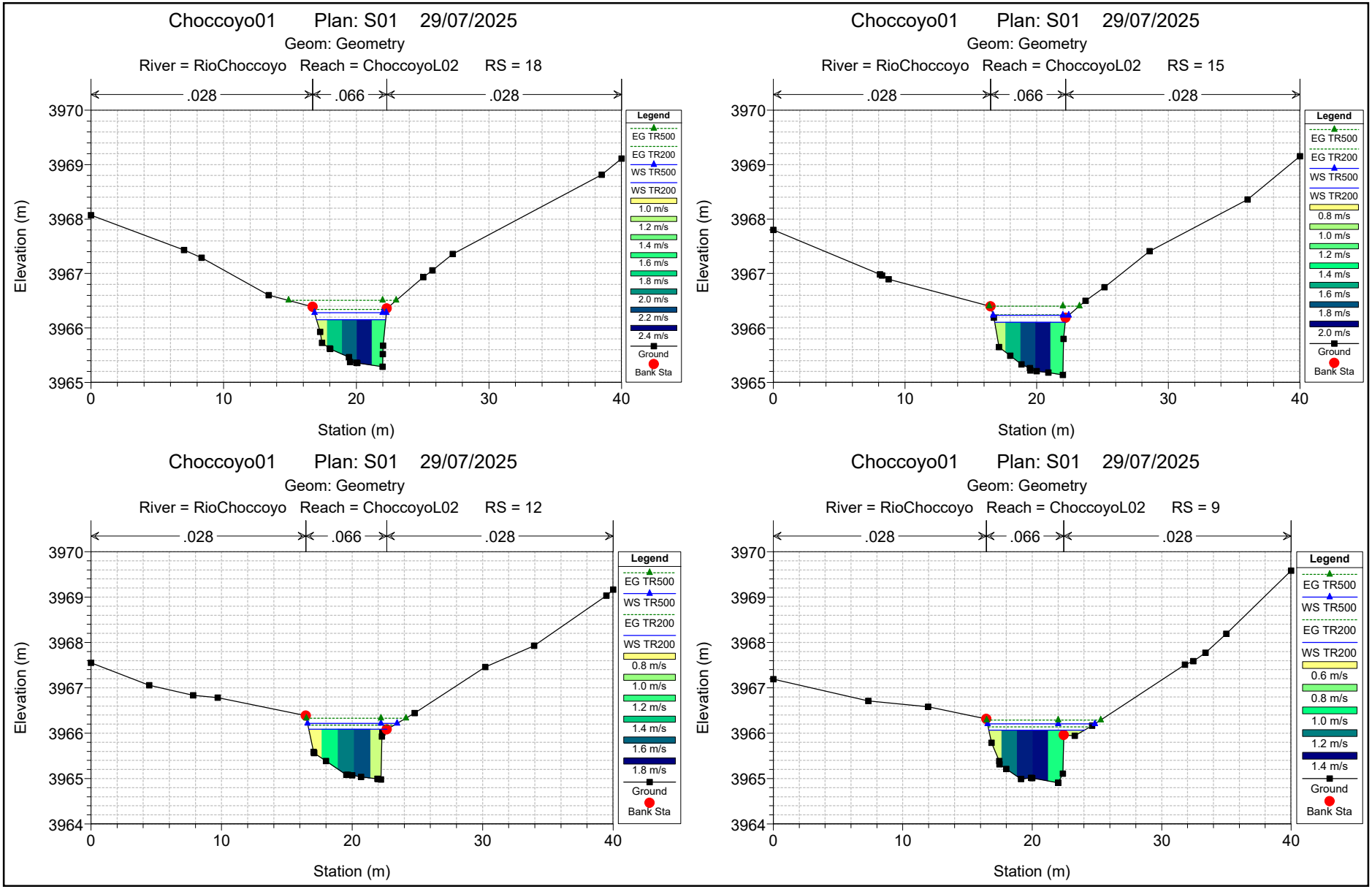

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 42
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL01 RS = 39
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 36
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
0.0 m/s
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 33
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
0.0 m/s
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
Ground
Bank Sta

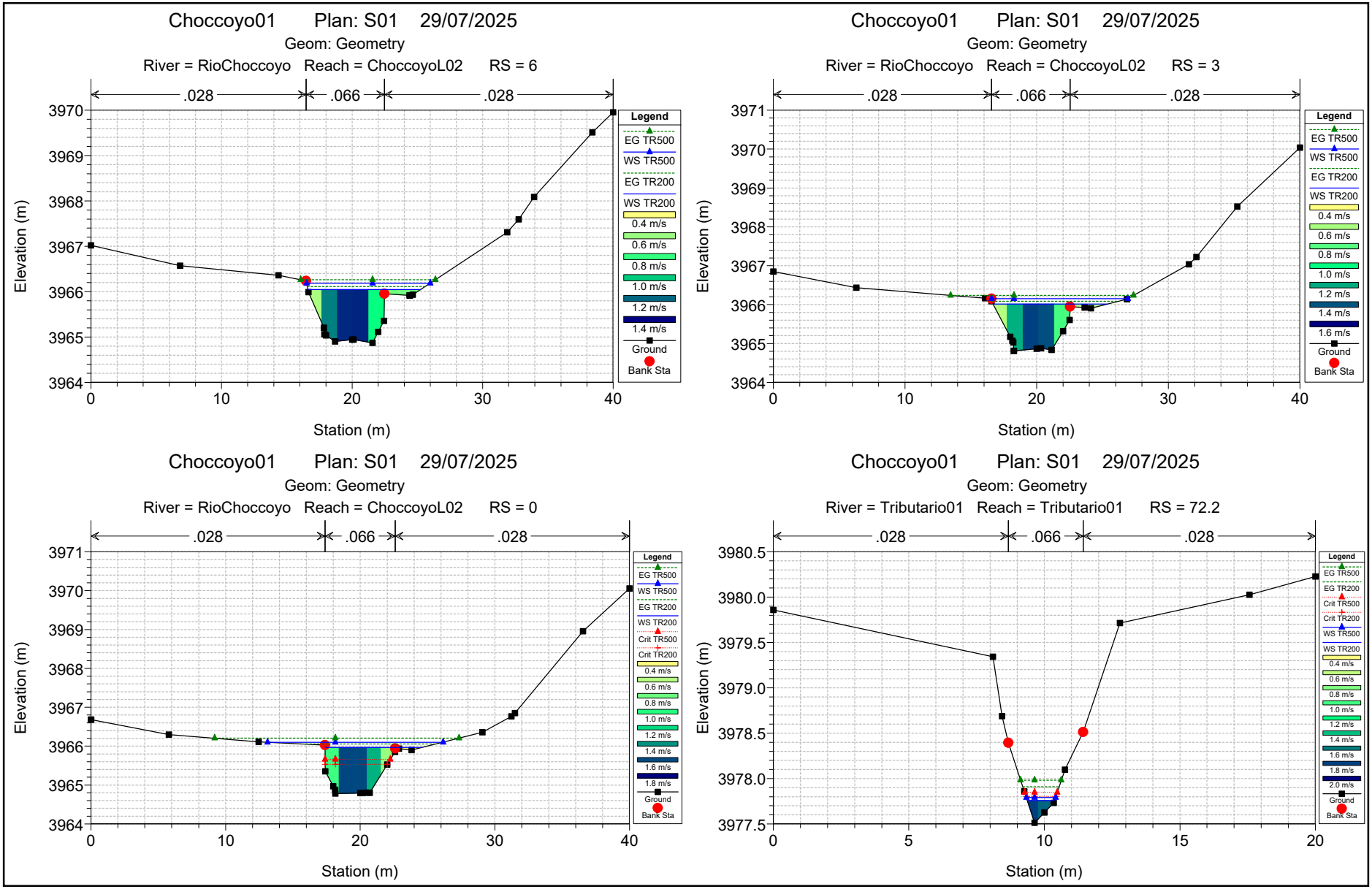

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 30
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
Ground
Bank Sta

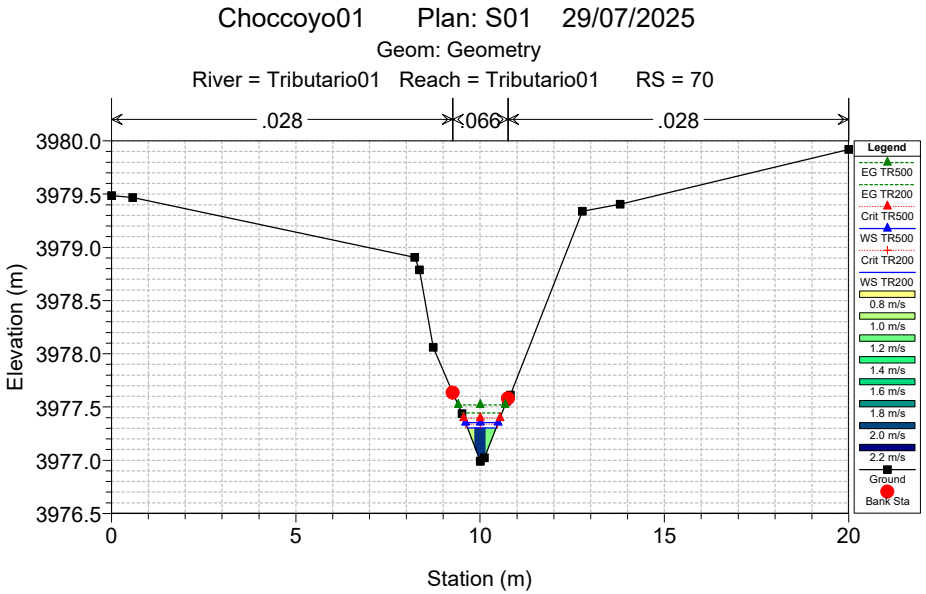

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 27
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
3.5 m/s
Ground
Bank Sta

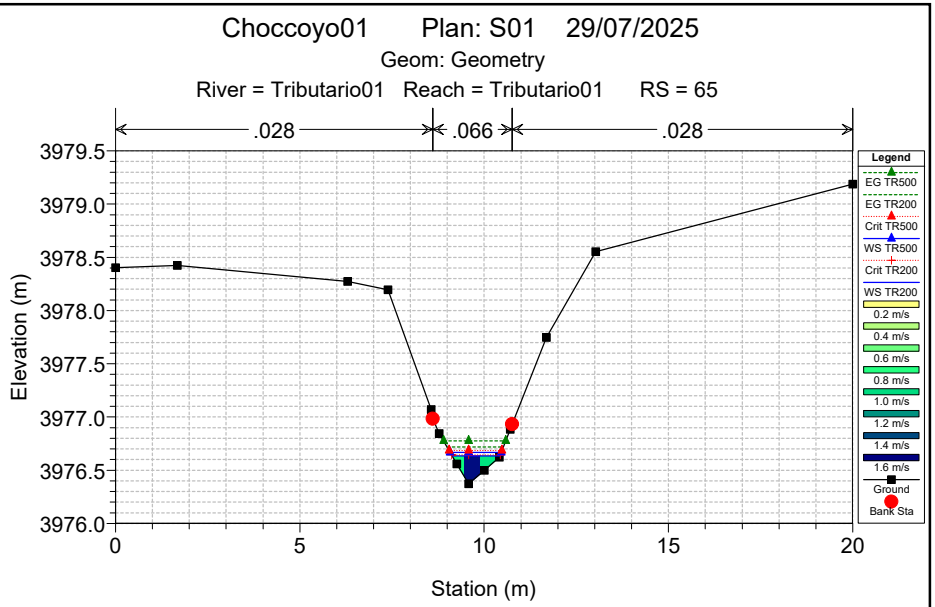

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 24
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
3.5 m/s
4.0 m/s
Ground
Bank Sta

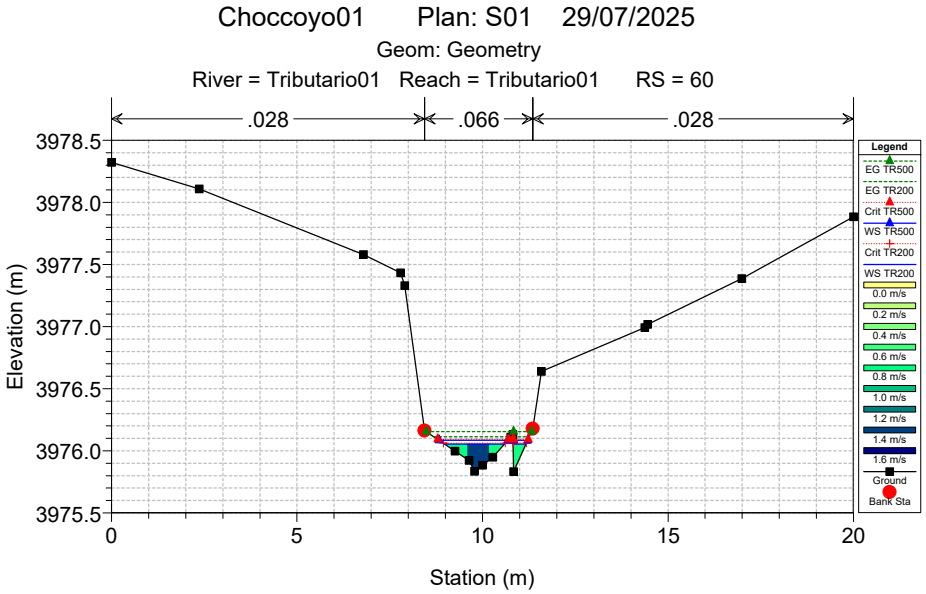

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 21
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
2.2 m/s
2.4 m/s
2.6 m/s
Ground
Bank Sta

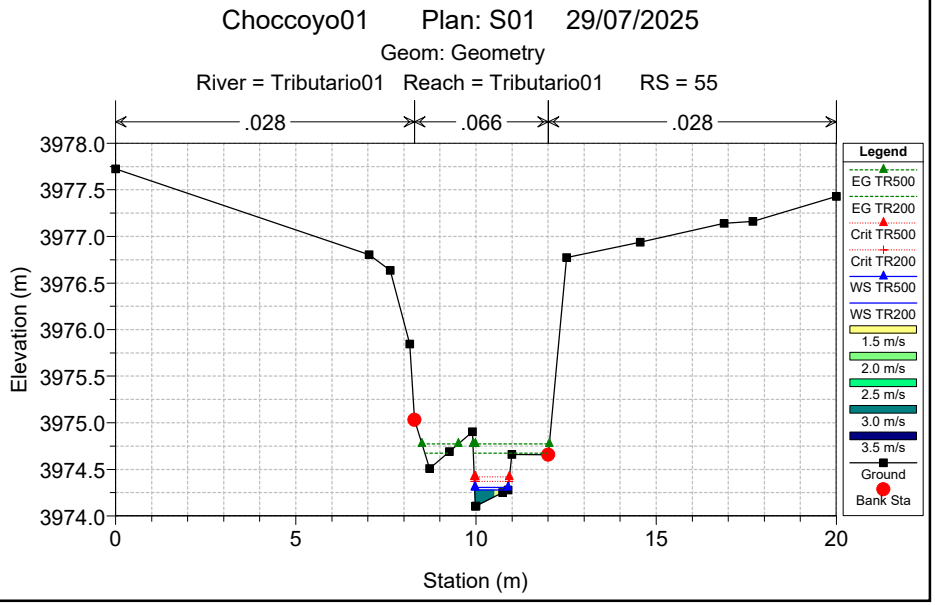

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 18
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
2.2 m/s
2.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 15
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 12
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 9
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
Ground
Bank Sta

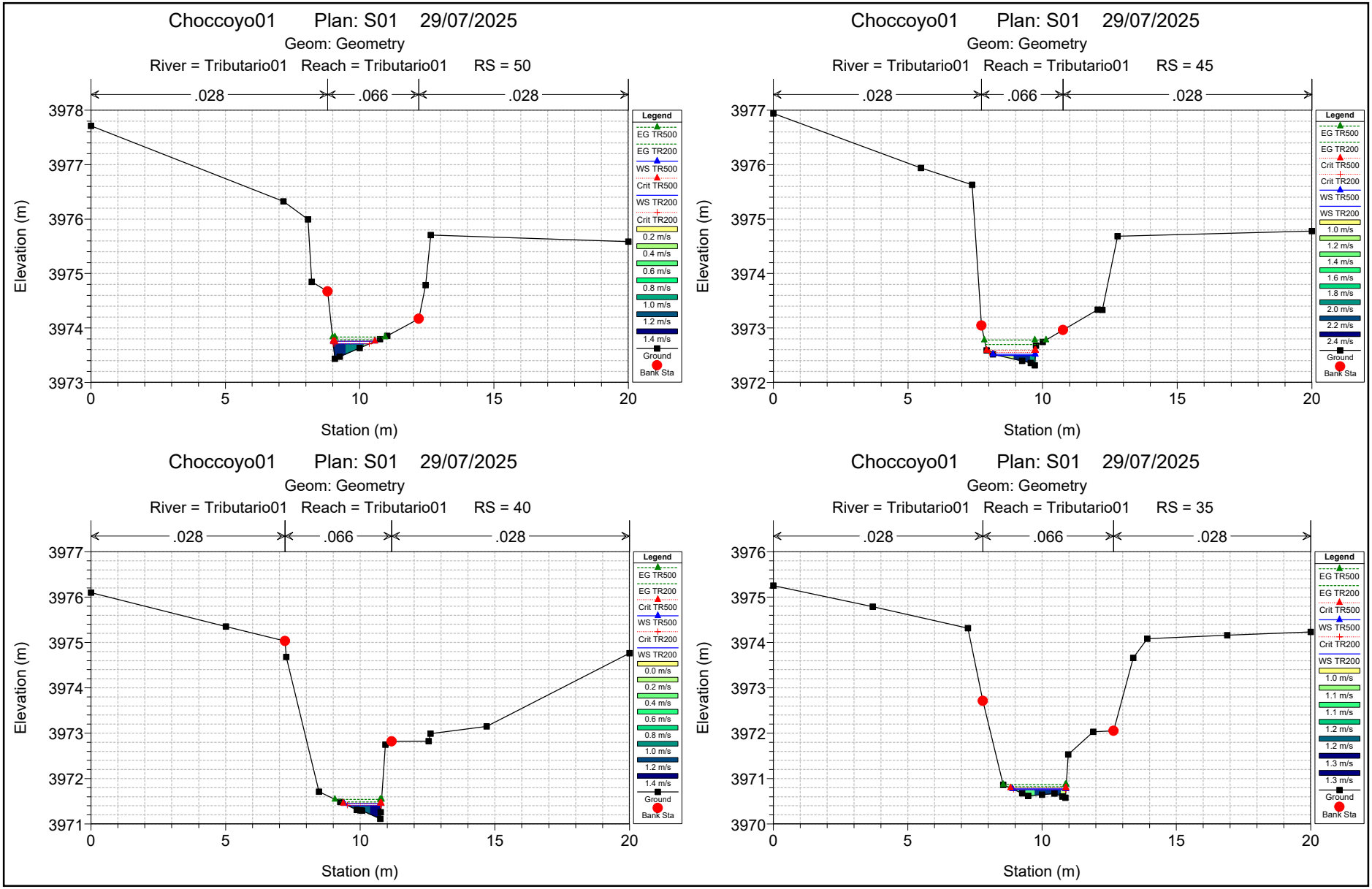

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 6
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 3
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = RioChoccoyo Reach = ChoccoyoL02 RS = 0
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 72.2
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta

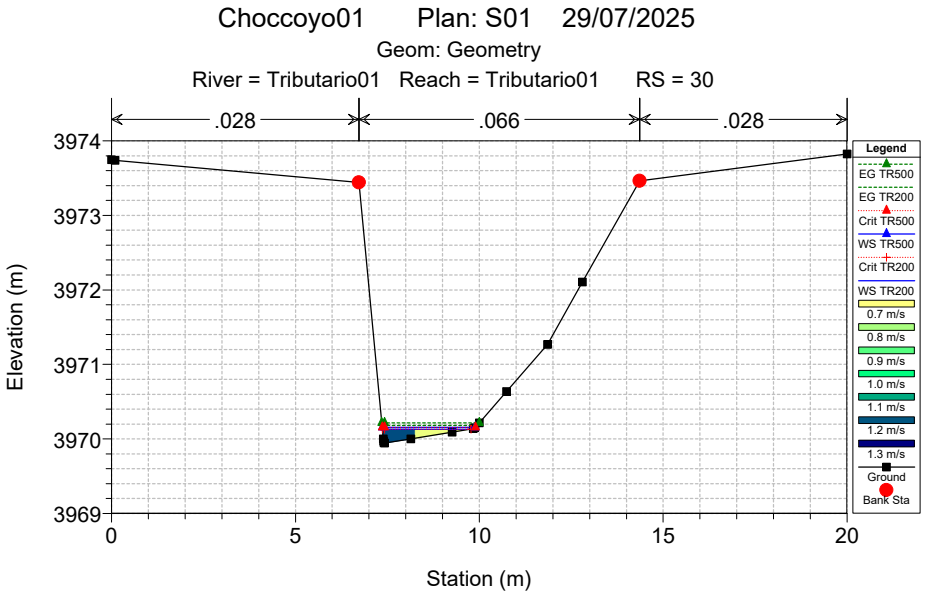

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 70
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
2.2 m/s
Ground
Bank Sta

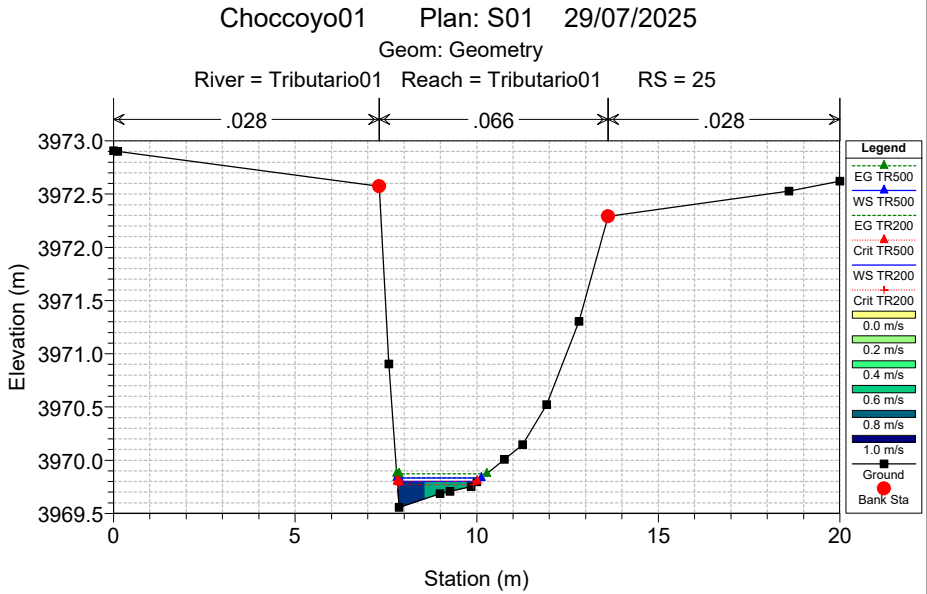

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 65
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
Ground
Bank Sta

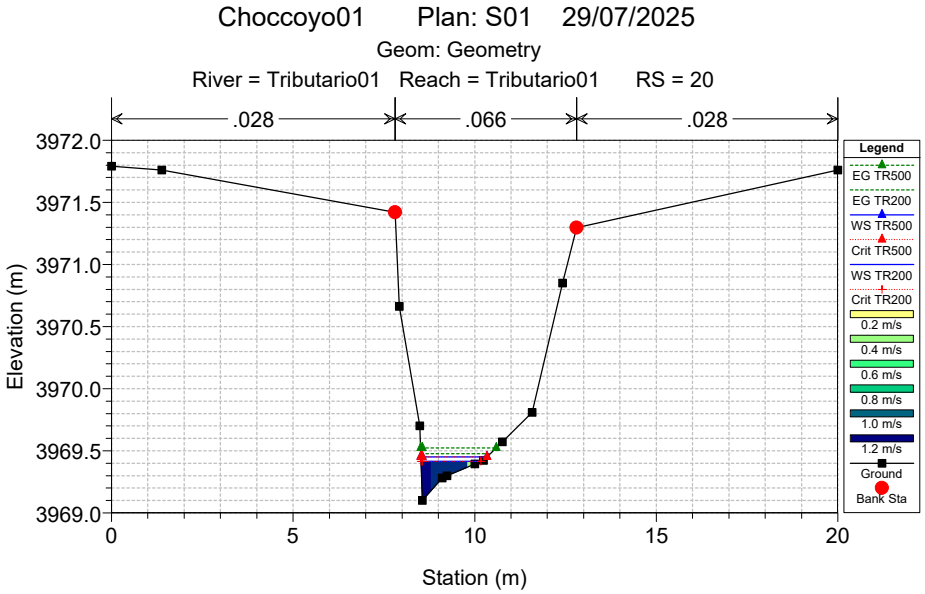

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 60
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.0 m/s
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
Ground
Bank Sta

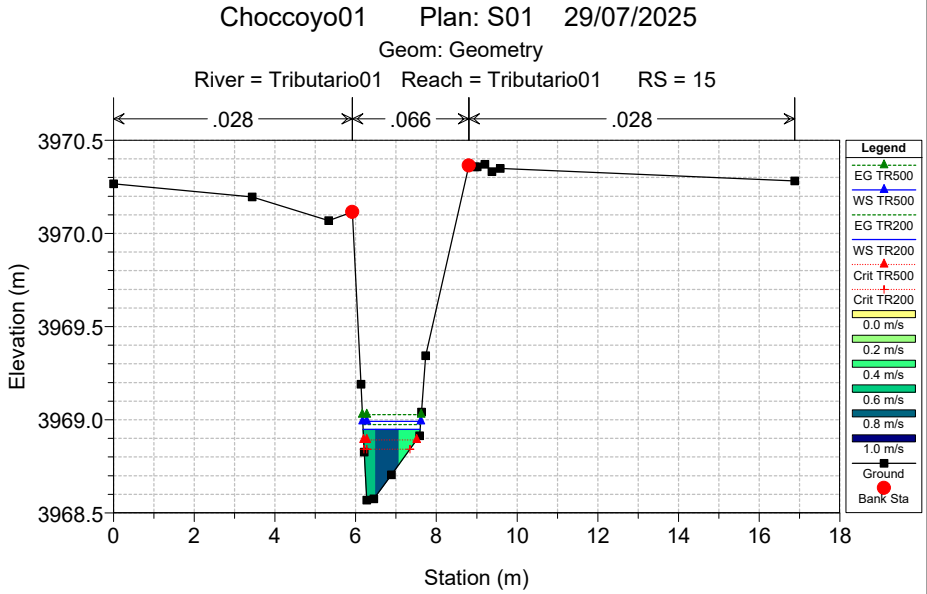

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 55
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
3.5 m/s
Ground
Bank Sta

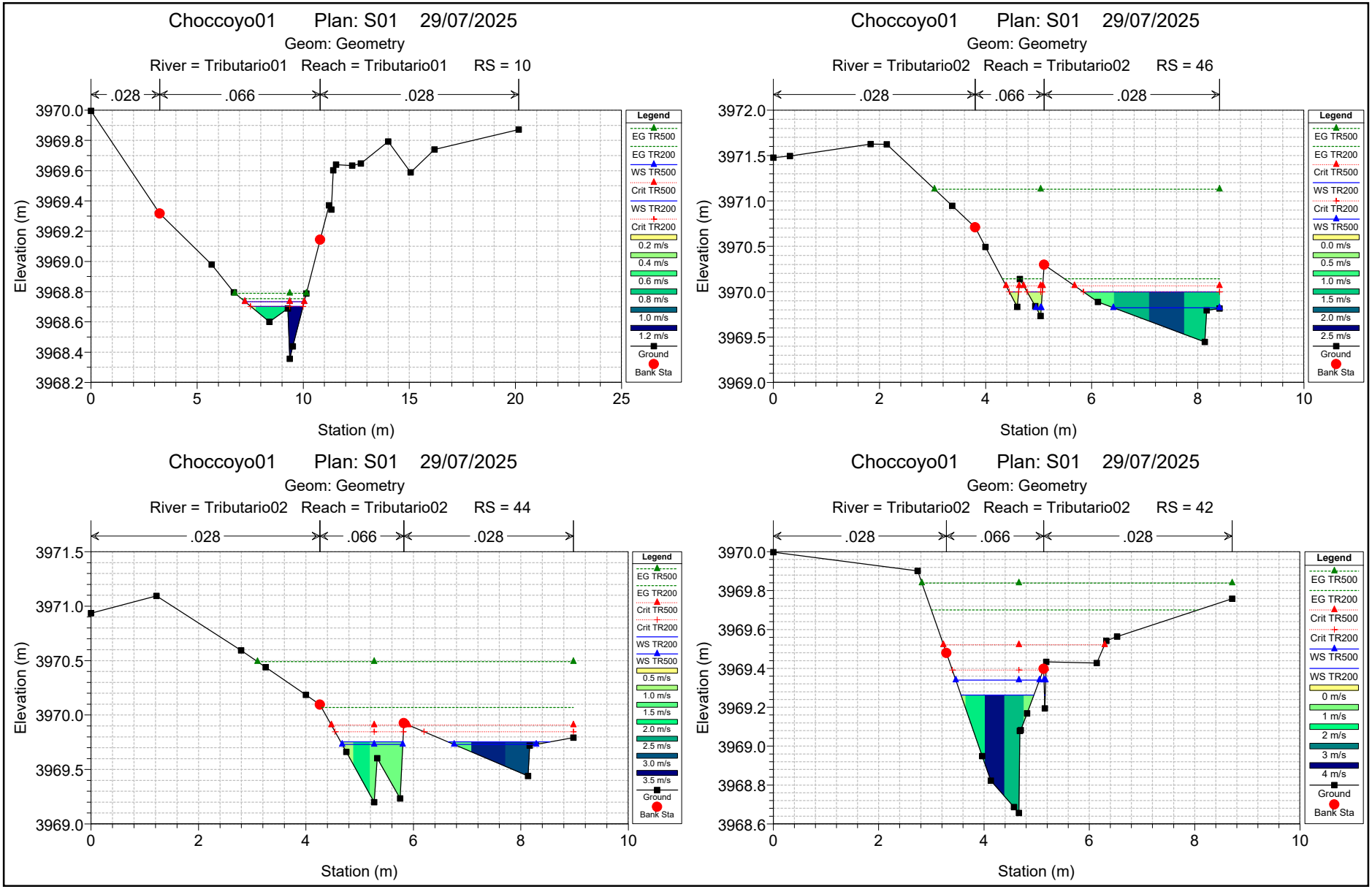

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 50
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 45
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
2.2 m/s
2.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 40
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.0 m/s
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 35
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
1.0 m/s
1.1 m/s
1.1 m/s
1.2 m/s
1.2 m/s
1.3 m/s
1.3 m/s
Ground
Bank Sta

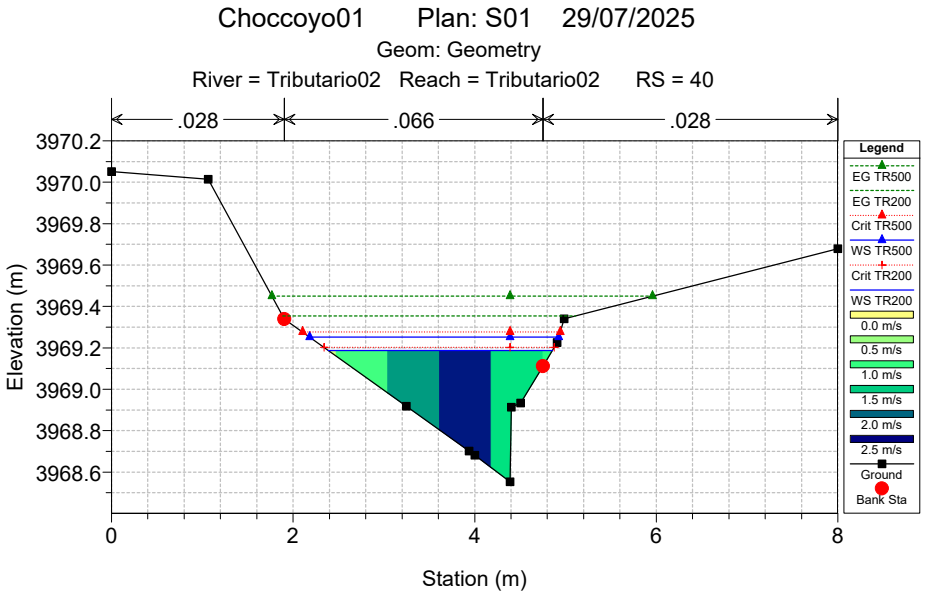

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 30
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.7 m/s
0.8 m/s
0.9 m/s
1.0 m/s
1.1 m/s
1.2 m/s
1.3 m/s
Ground
Bank Sta

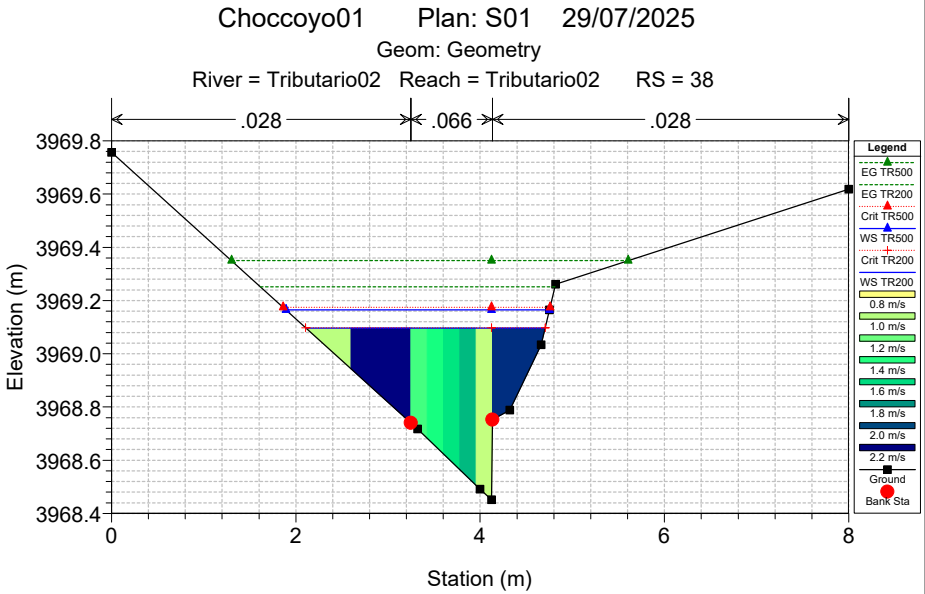

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 25
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.0 m/s
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
Ground
Bank Sta

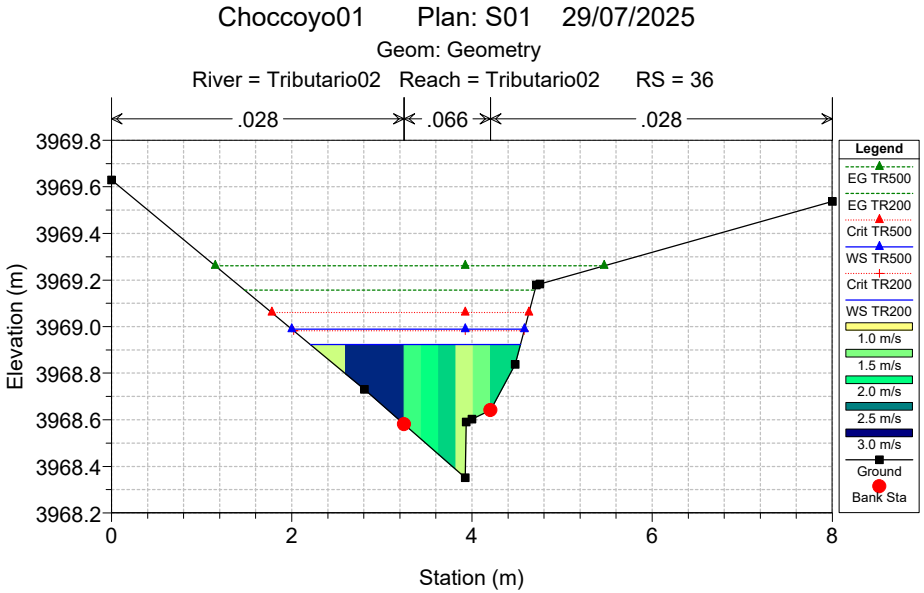

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 20
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
Ground
Bank Sta

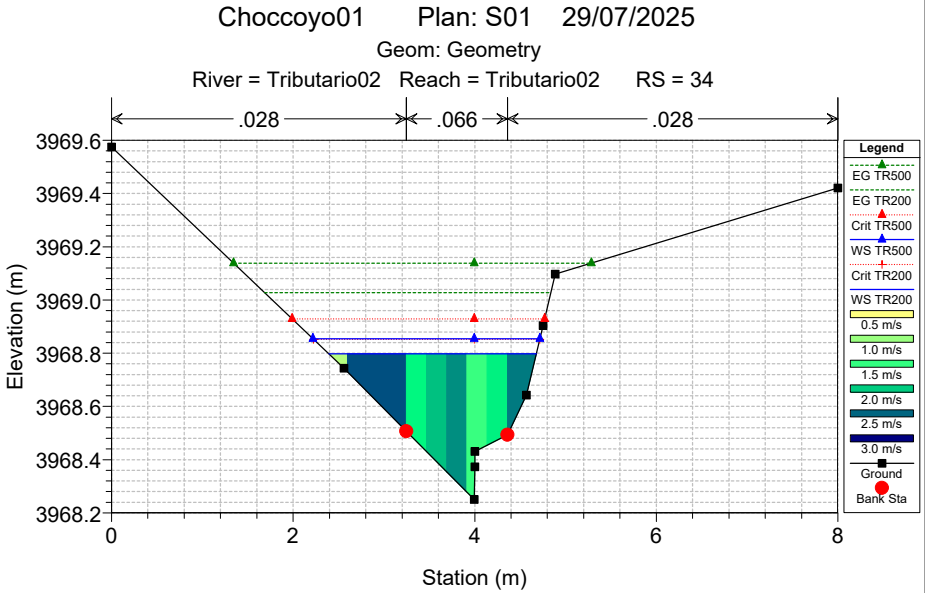

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 15
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
WS TR500
EG TR200
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
0.0 m/s
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
Ground
Bank Sta

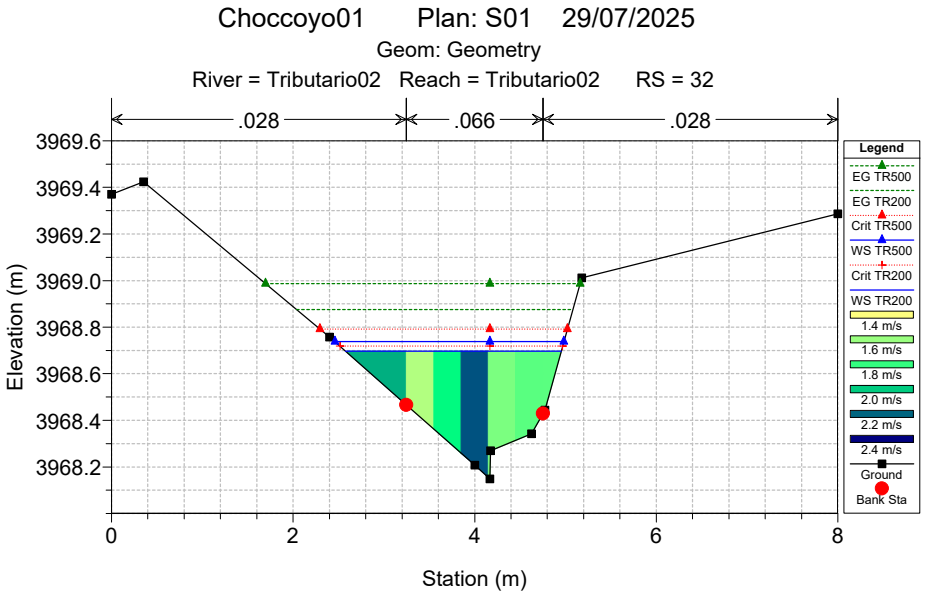

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario01 Reach = Tributario01 RS = 10
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.2 m/s
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 46
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
WS TR500
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 44
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR200
WS TR500
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
3.5 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 42
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
Crit TR200
WS TR500
WS TR200
0 m/s
1 m/s
2 m/s
3 m/s
4 m/s
Ground
Bank Sta

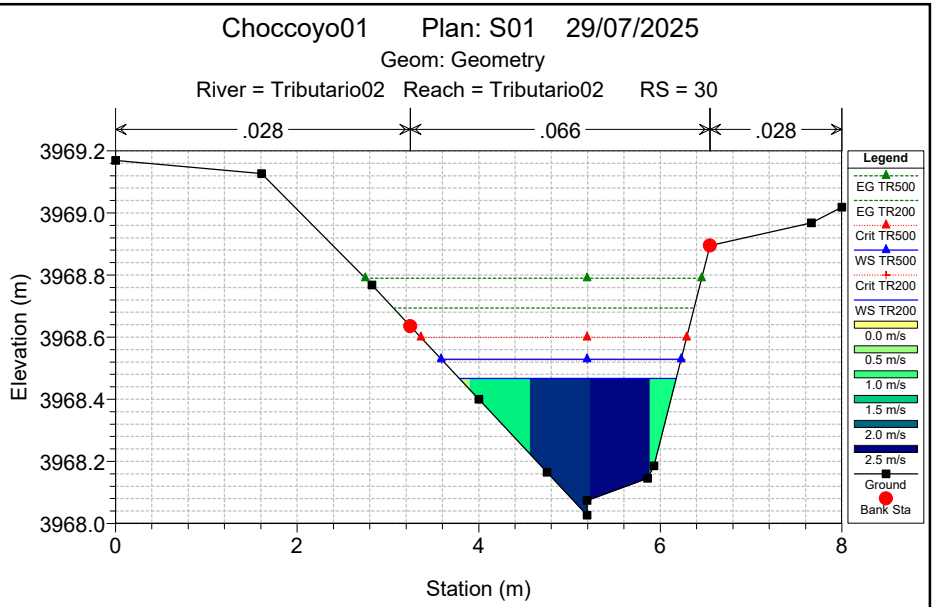

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 40
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
Ground
Bank Sta

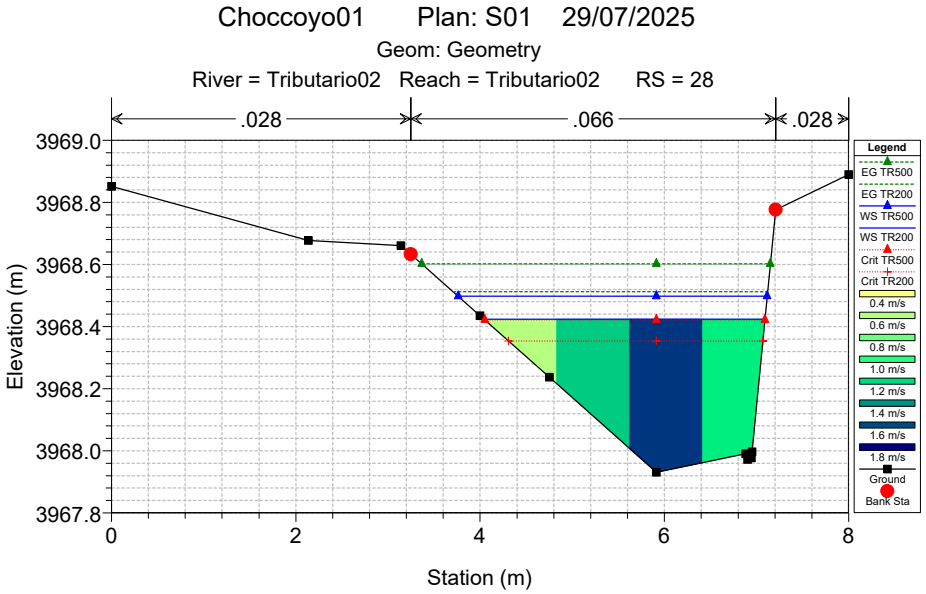

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 38
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
2.2 m/s
Ground
Bank Sta

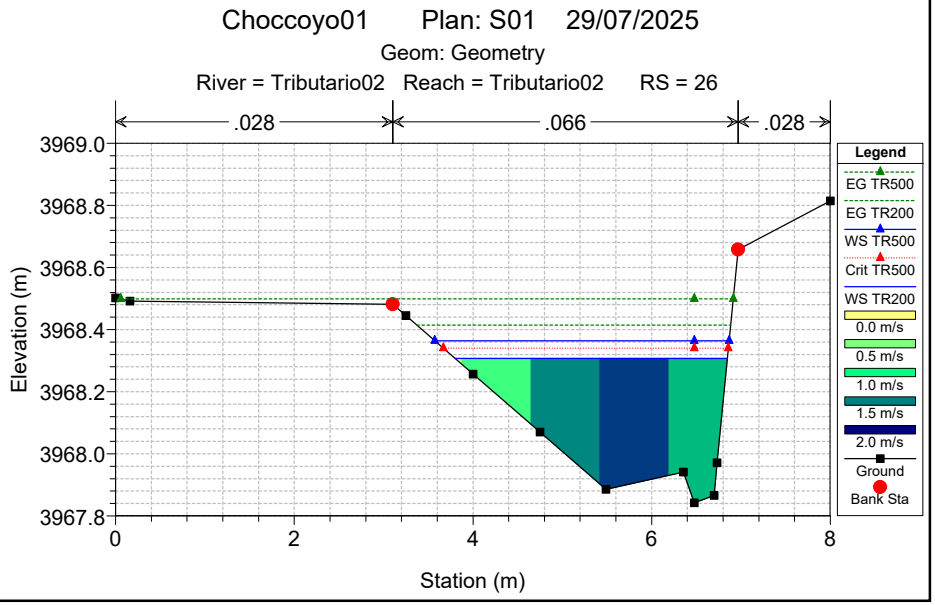

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 36
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
Ground
Bank Sta

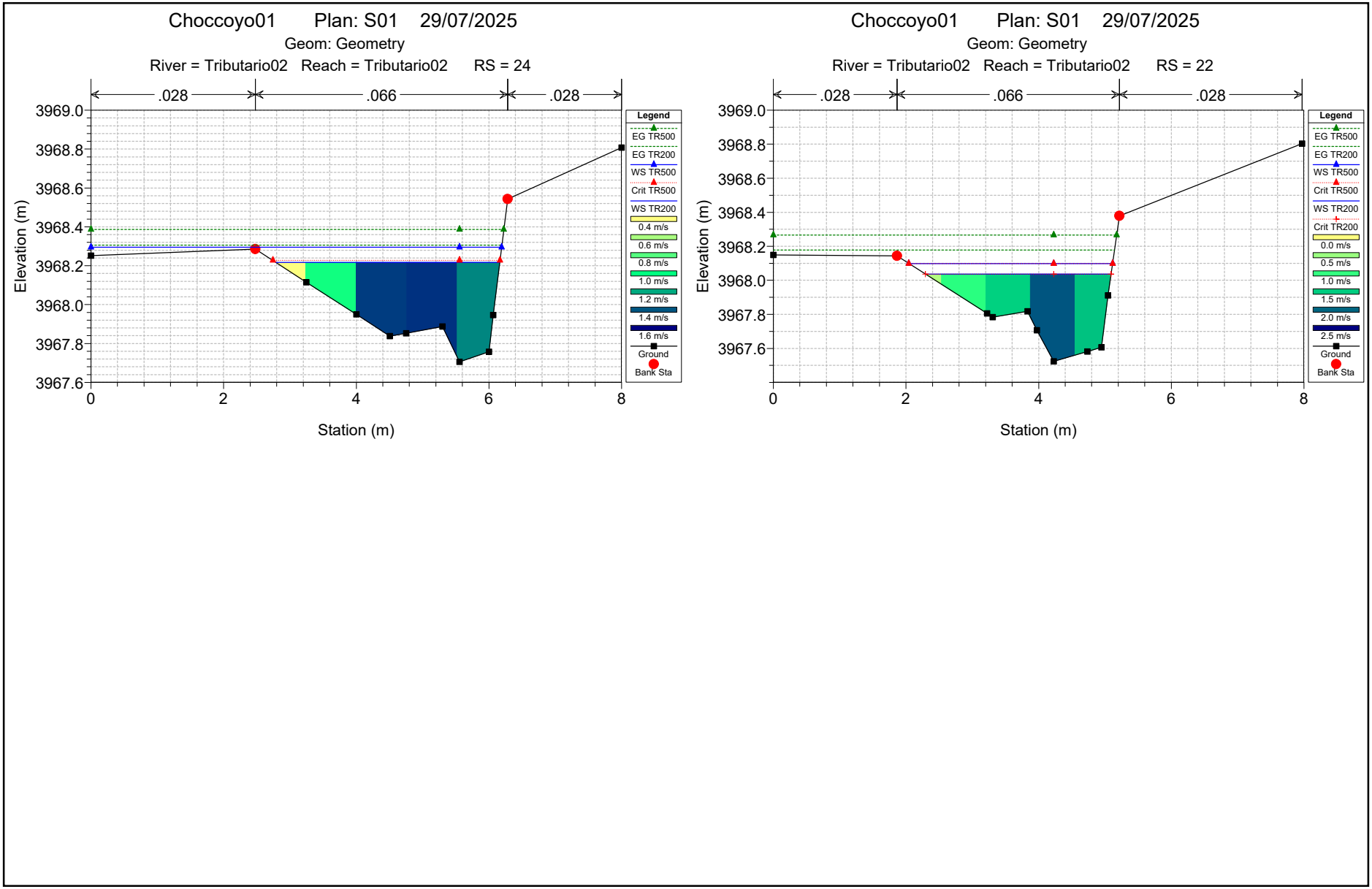

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 34
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
3.0 m/s
Ground
Bank Sta


Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 32
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
2.0 m/s
2.2 m/s
2.4 m/s
Ground
Bank Sta


Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 30
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
Crit TR500
WS TR500
Crit TR200
WS TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
Ground
Bank Sta

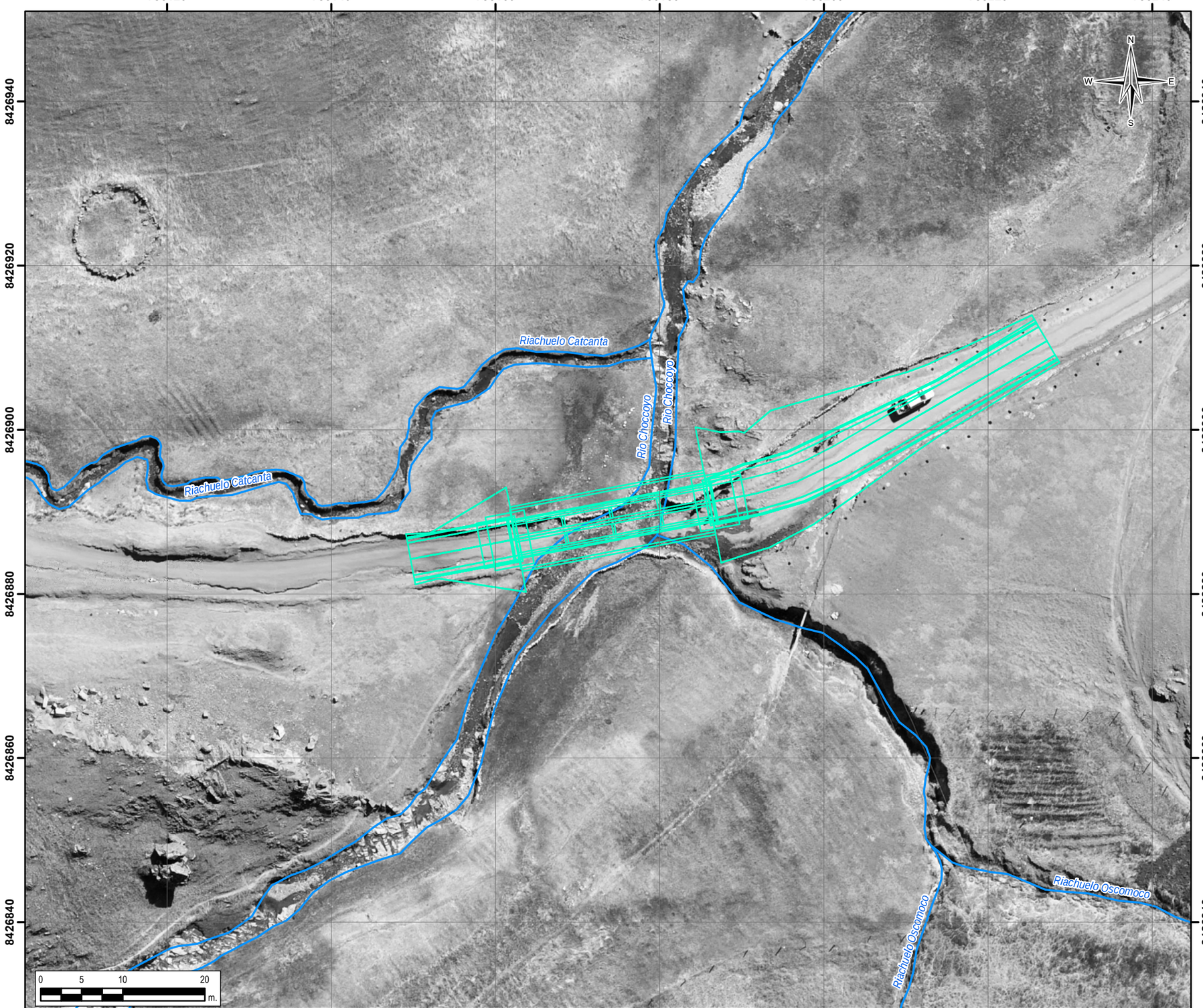

Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 28
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
WS TR200
Crit TR500
Crit TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
1.8 m/s
Ground
Bank Sta


Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 26
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
Ground
Bank Sta


Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 24
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
0.4 m/s
0.6 m/s
0.8 m/s
1.0 m/s
1.2 m/s
1.4 m/s
1.6 m/s
Ground
Bank Sta
Choccoyo01 Plan: S01 29/07/2025
Geom: Geometry
River = Tributario02 Reach = Tributario02 RS = 22
.028
.066
.028
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG TR500
EG TR200
WS TR500
Crit TR500
WS TR200
Crit TR200
0.0 m/s
0.5 m/s
1.0 m/s
1.5 m/s
2.0 m/s
2.5 m/s
Ground
Bank Sta

MAPAS

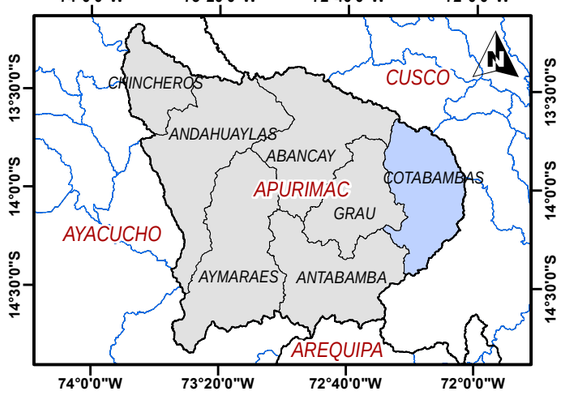
MAPA DE UBICACION



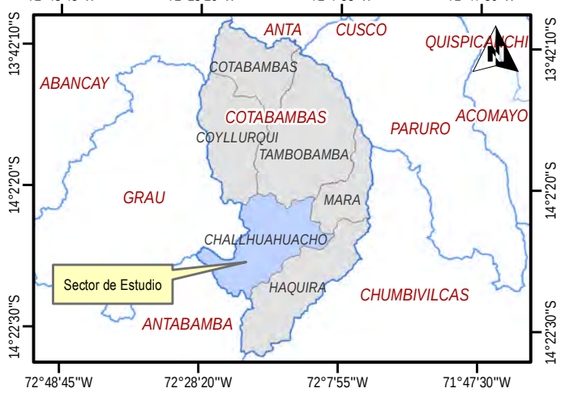
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL

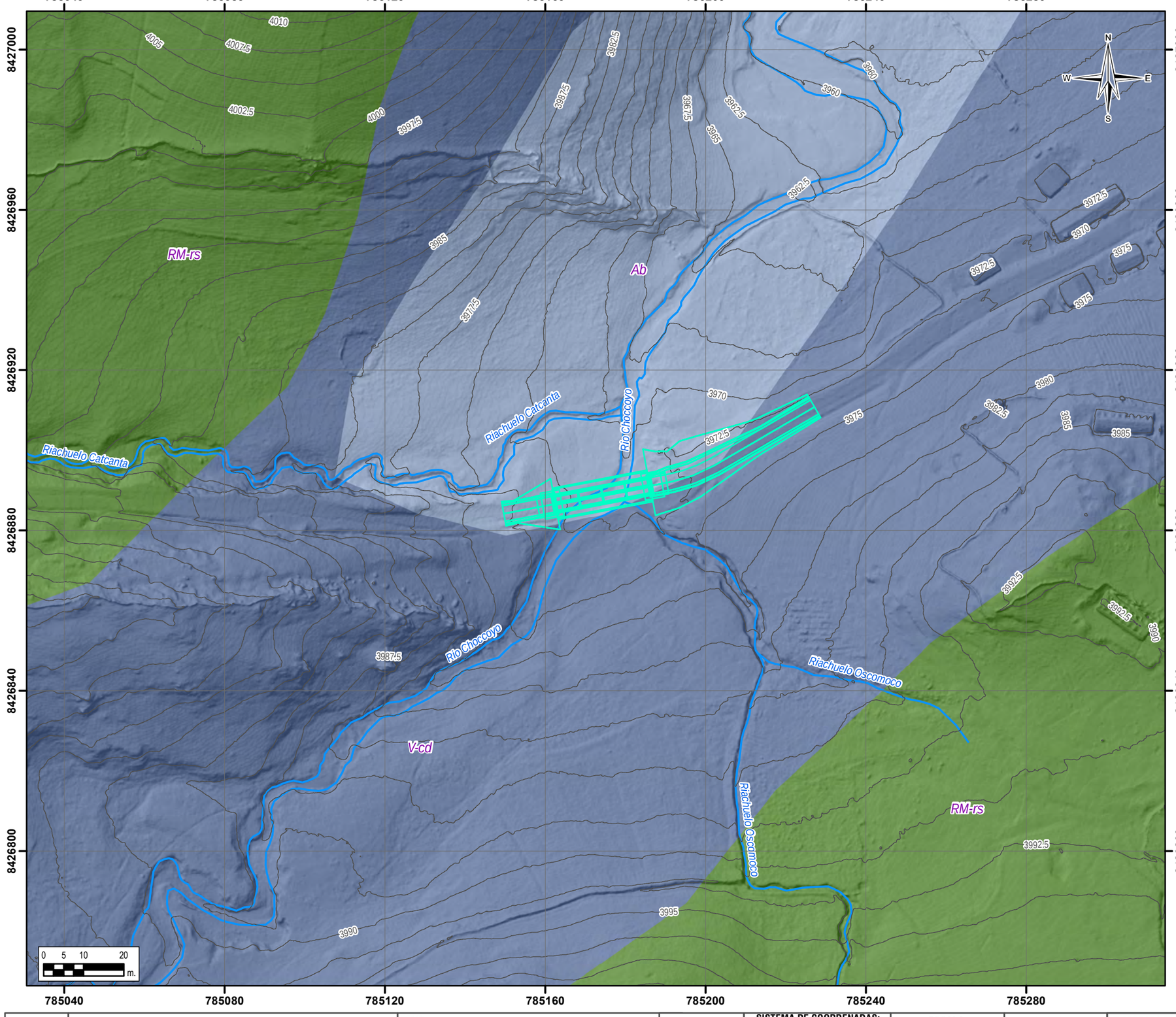


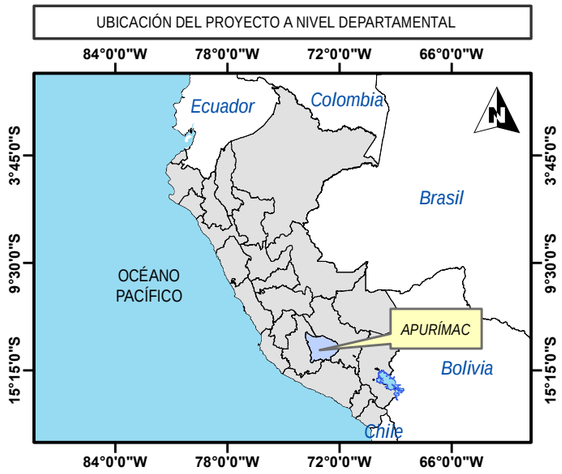
Simbologia

- *Puente*
- *Rios*

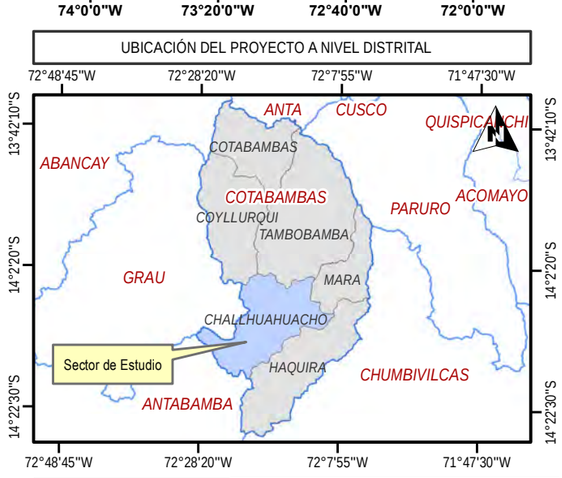
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** UBICACION	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** ENERO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** UBI-GEO	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 01

MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL









Simbologia

- *Puente*
- *Rios*

Leyenda

Unidades Geomorfologicas Regionales

- *Ab, Abanico de Pie de Monte*
- *RM-rs, Montaña en roca sedimentaria*
- *V-cd, Vertiente o Pie de Monte coluvio-deluvial*

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/1000

SECTOR: Choccoyo

FECHA: ENERO - 2025

CÓDIGO: GEOM-R

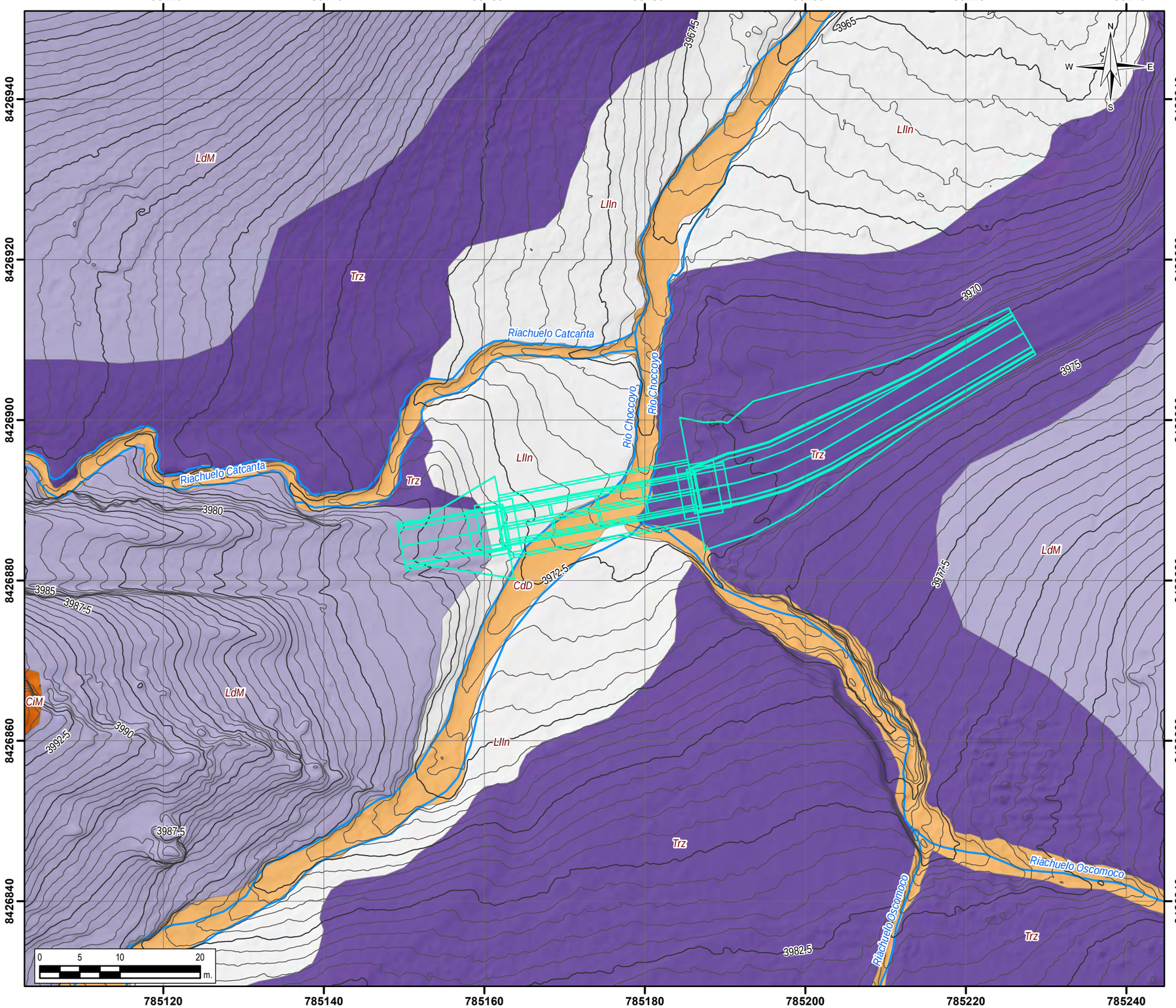
ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

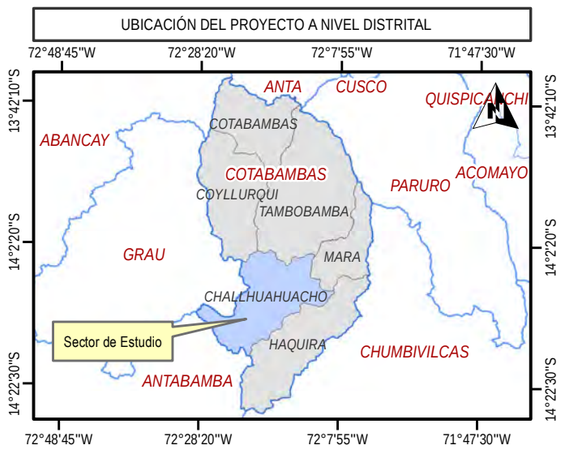
MAPA: 02

MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL









Simbología

- *Puente*
- *Curvas_2-5m*
- *Curvas_0-5m*
- *Rios*

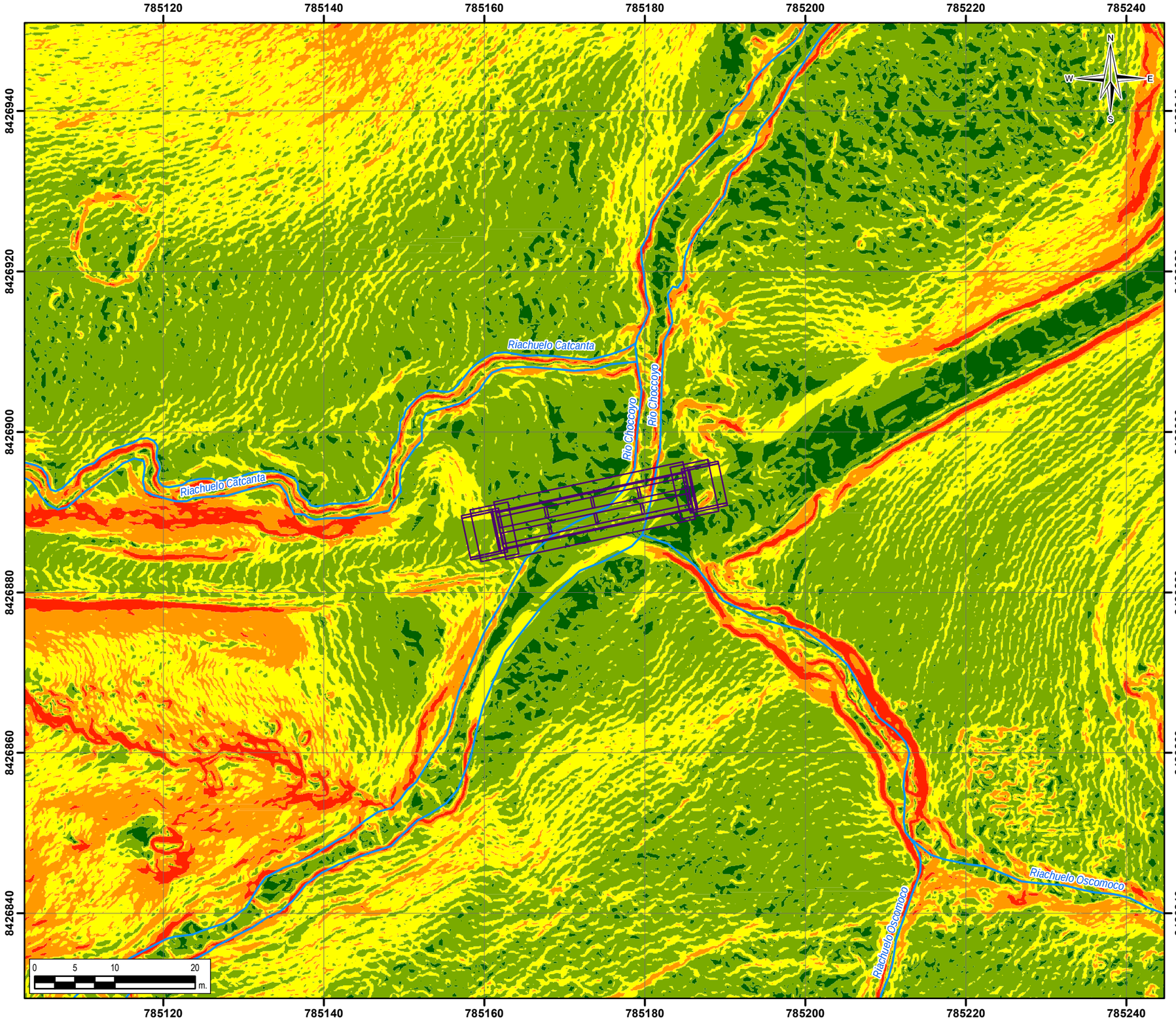
Leyenda

Unidades Geomorfologicas

- *CiM, Cima de Montaña*
- *CdD, Cauce de Drenaje*
- *LlIn, Llanura de Inundacion*
- *LdM, Laderas de Montaña*
- *Trz, Terrazas*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S	**ESCALA:** 1/500	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 03
			FECHA: ENERO - 2025	**CÓDIGO:** GEOML				

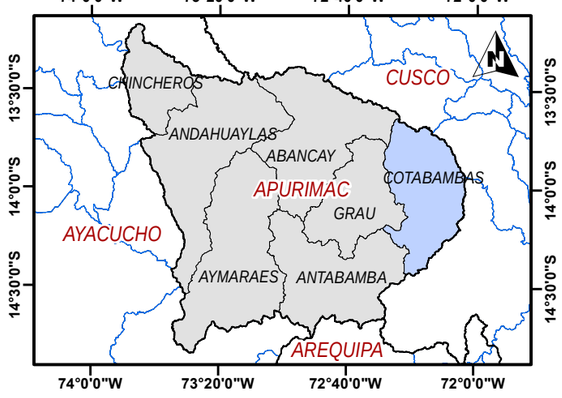
MAPA DE PENDIENTES



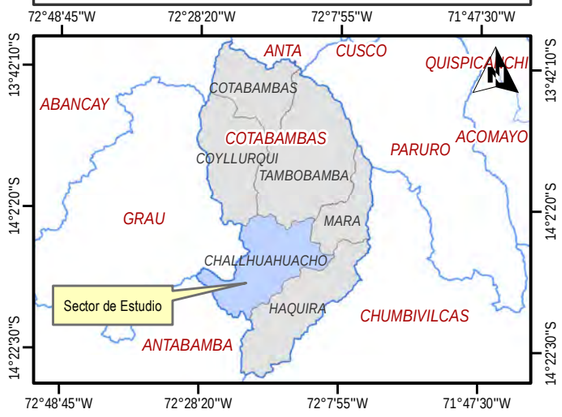
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



Simbologia

- *Puente*
- *Rios*

Leyenda

Unidades de Pendientes

- *0°-5°, Llano a Inclinado*
- *5°-15°, Moderadamente empinado*
- *15°-25°, Empinado*
- *25°-45°, Fuertemente Empinado*
- *>45°, Escarpado*

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: MAPA DE PENDIENTES

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/500

SECTOR: Choccoyo

FECHA: ENERO - 2025

CÓDIGO: PEND

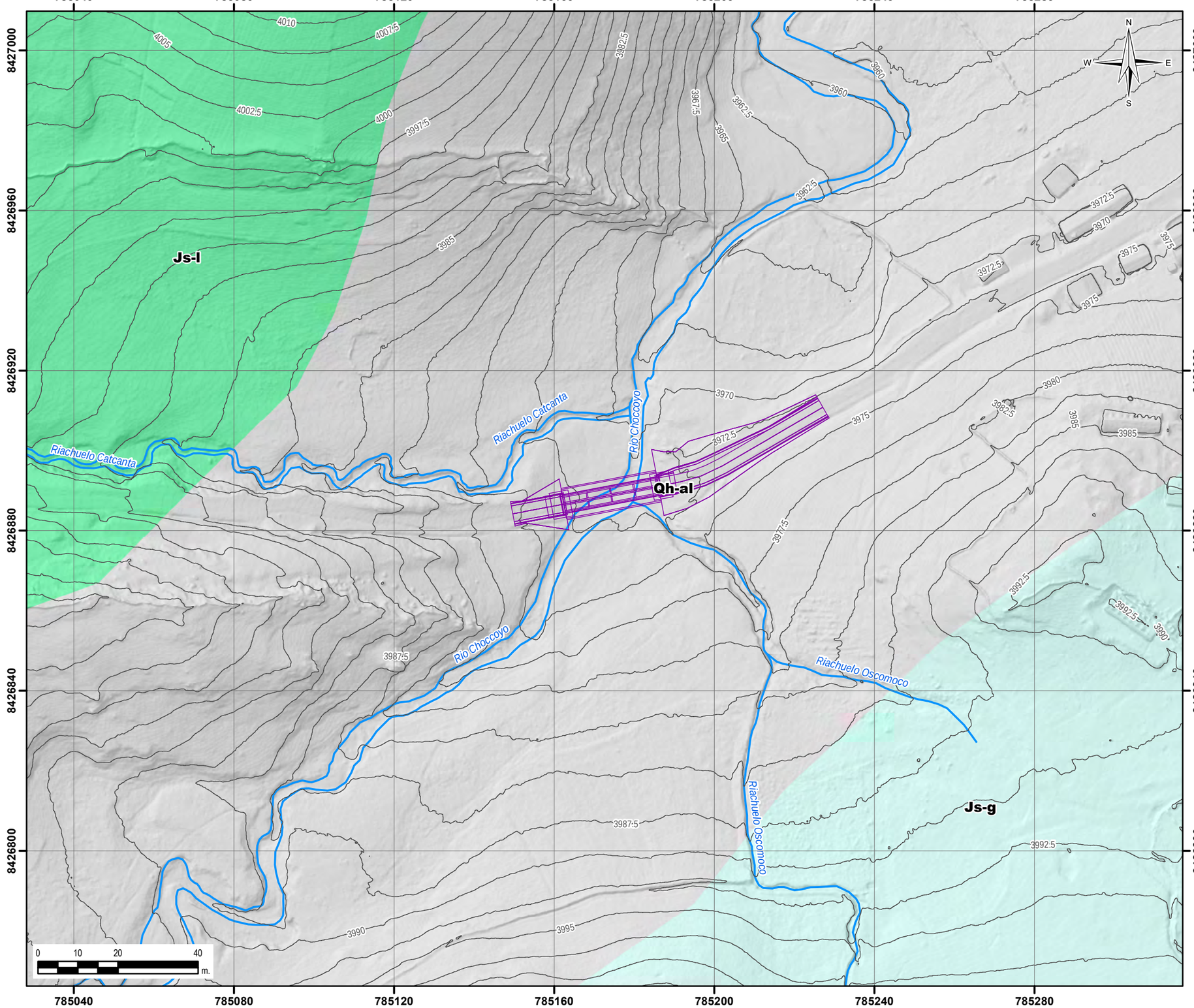
ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

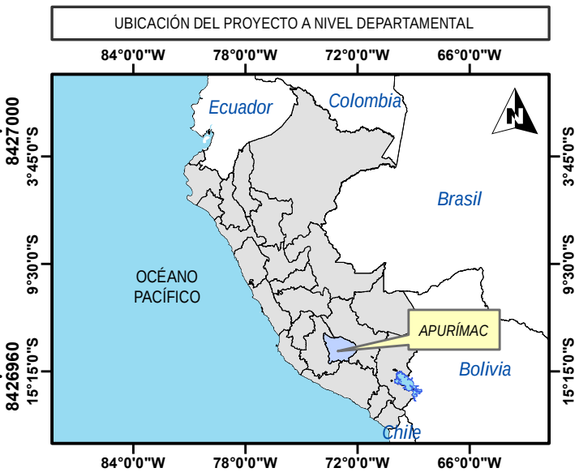
ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

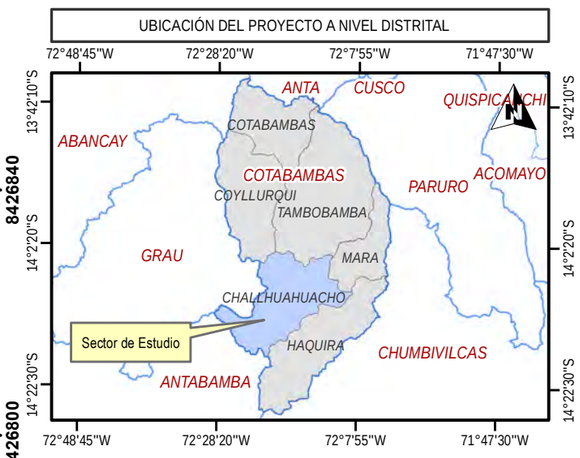
MAPA: 04

MAPA GEOLOGICO REGIONAL









Simbologia

- *Curvas de nivel 2.5m*
- *Puente*
- *Rios*

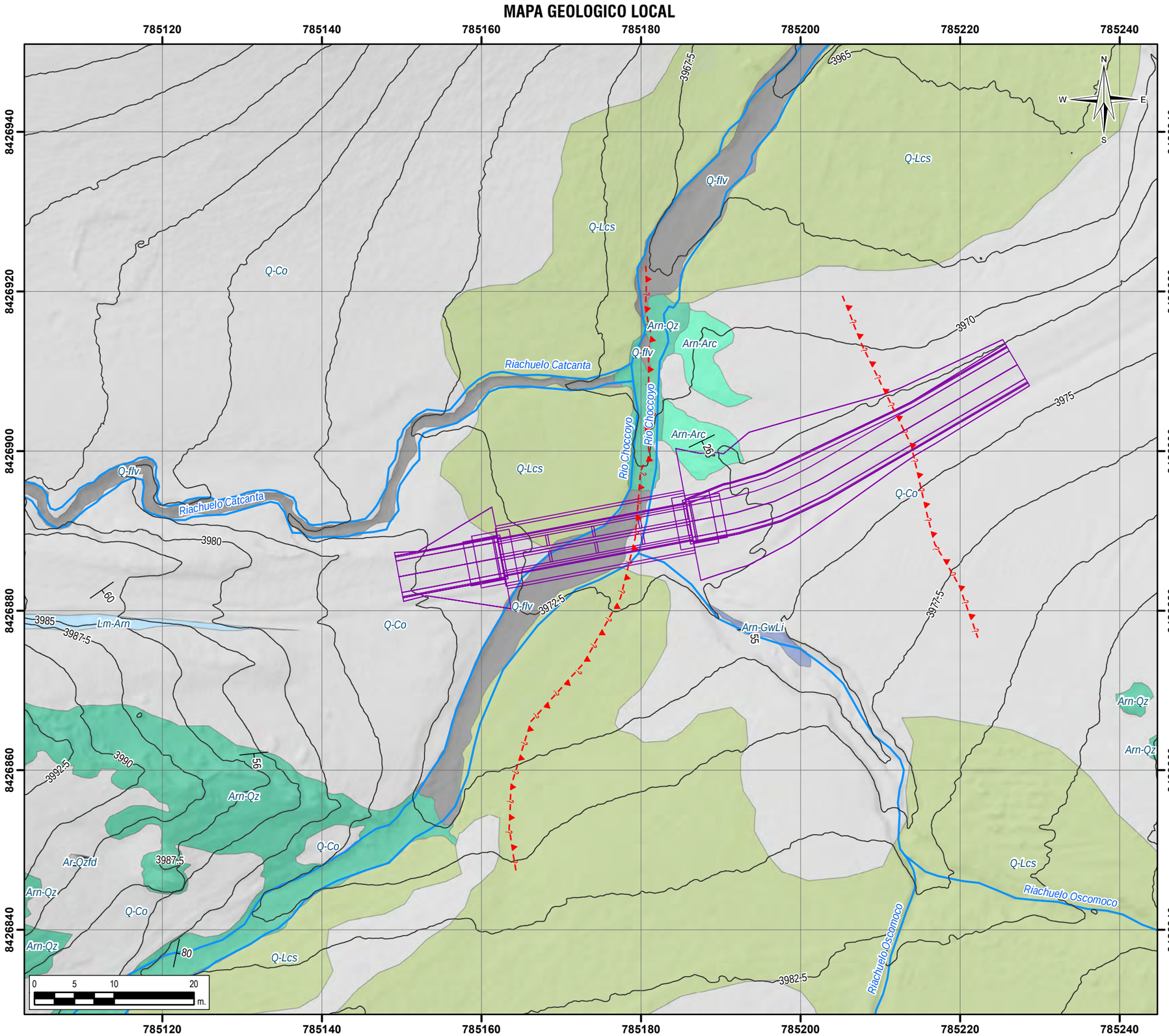
Leyenda

Unidades Geologicas Regionales

- *Js-g, Formacion Gramadal*
- *Js-l, Formacion Labra*
- *Qh-al, Depositos Aluviales*

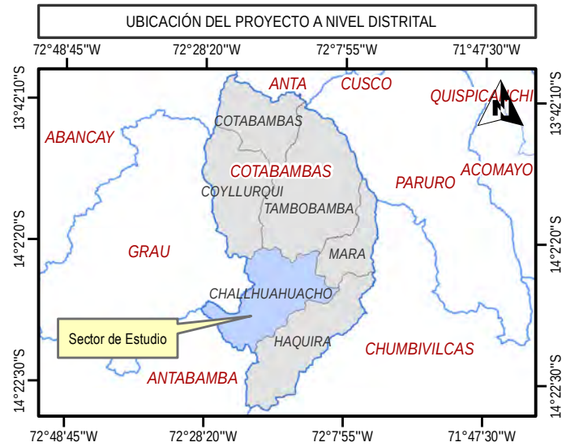
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA GEOLOGICO REGIONAL	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** ENERO - 2025	**ESCALA:** 1/1000 **CÓDIGO:** GEOL-R	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 05

MAPA GEOLOGICO LOCAL









Simbologia

- Estratificaciones
- ?Fallas
- Puente
- Curvas 2.5m
- Rios

Leyenda

Unidades Geologicas Locales

- Q-Co, Depositos Coluviales
- Q-Lcs, Depositos Lacustres
- Q-flv, Depositos Fluviales
- T-CL, Tuff de Ceniza y Lapilli

Areniscas

- Arn-Arc, Arcosas
- Arn-Qz, Cuarzoarenitas
- Arn-GwLi, Gravacas Liticas
- Lm-Arn, Litoarenitas

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: MAPA GEOLOGICO LOCAL

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/500

SECTOR: Choccoyo

FECHA: ENERO - 2025

CÓDIGO: GEOL-GEO

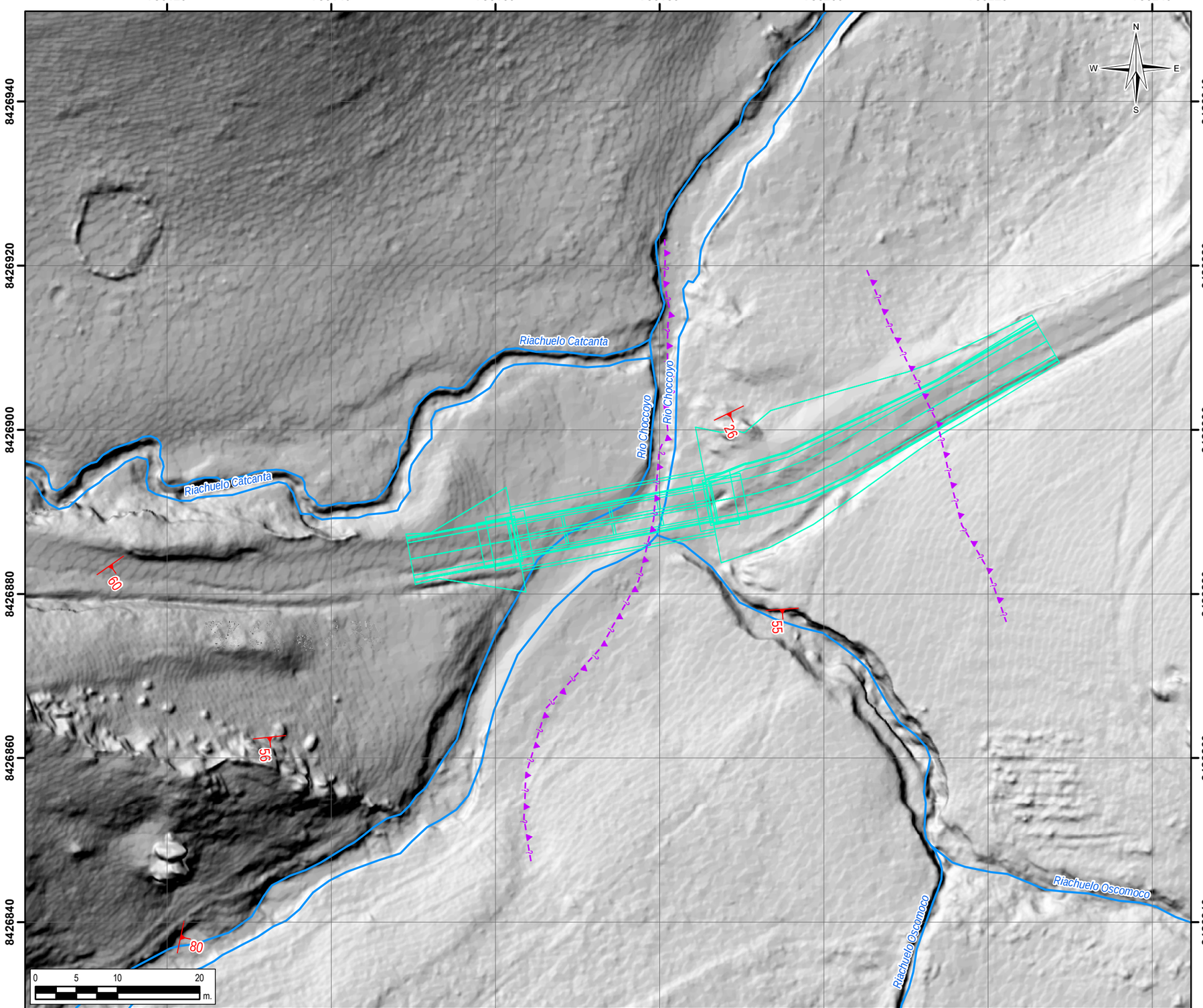
ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

MAPA: 06

MAPA GEOLOGICO ESTRUCTURAL LOCAL







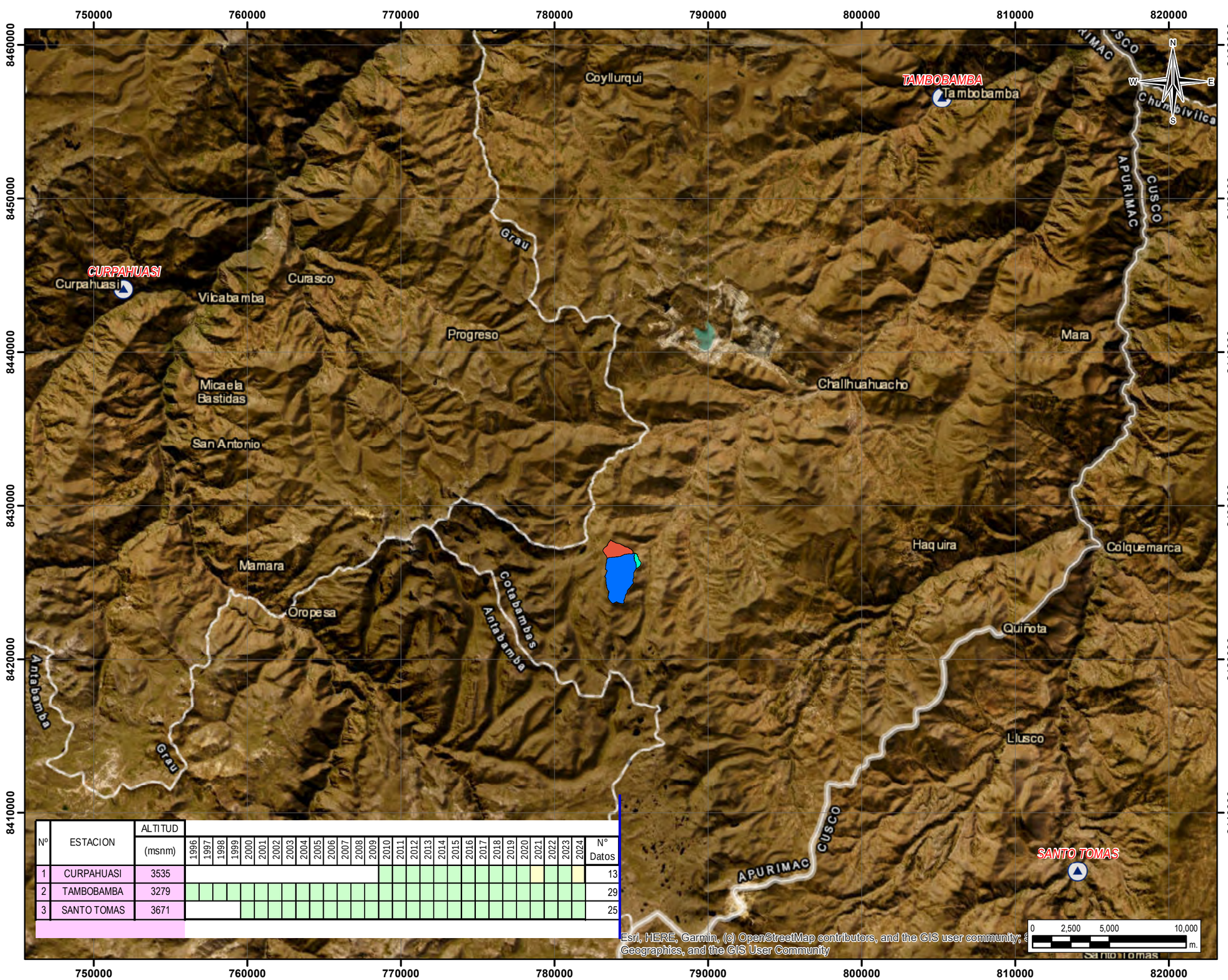


Simbologia

- *Estratificaciones*
- *?Fallas*
- *Puente*
- *Curvas 2.5m*
- *Curvas 0.5m*
- *Rios*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA GEOLOGICO ESTRUCTURAL	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** ENERO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** GEOL-ST	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 07

MAPA UBICACION DE ESTACIONES HIDROMETEREOLOGICAS

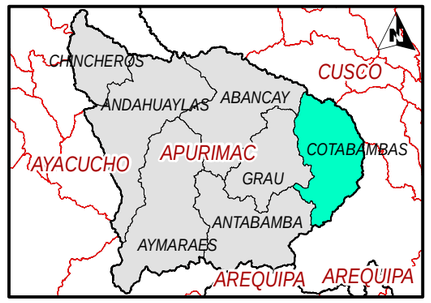


Nº	ESTACION	ALTITUD (msnm)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	N° Datos
1	CURPAHUASI	3535																														13
2	TAMBOBAMBA	3279																														29
3	SANTO TOMAS	3671																														25

UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



LEYENDA

- CUENCA_01
- CUENCA_02
- CUENCA_03
- Estaciones_Senamhi

Nº	ESTACION	COORDENADAS WGS 84 UTM		
		ESTE	NORTE	ALTITUD
1	CURPAHUASI	751946.4966	8444076.943	3535
2	TAMBOBAMBA	805232.7486	8456550.917	3279
3	SANTO TOMAS	814066.6606	8406183.805	3671

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: ESTACIONES SENAMHI

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

FECHA: ENERO - 2025

ESCALA: 1/250000

SECTOR: Choccoyo

CÓDIGO: EHM-H

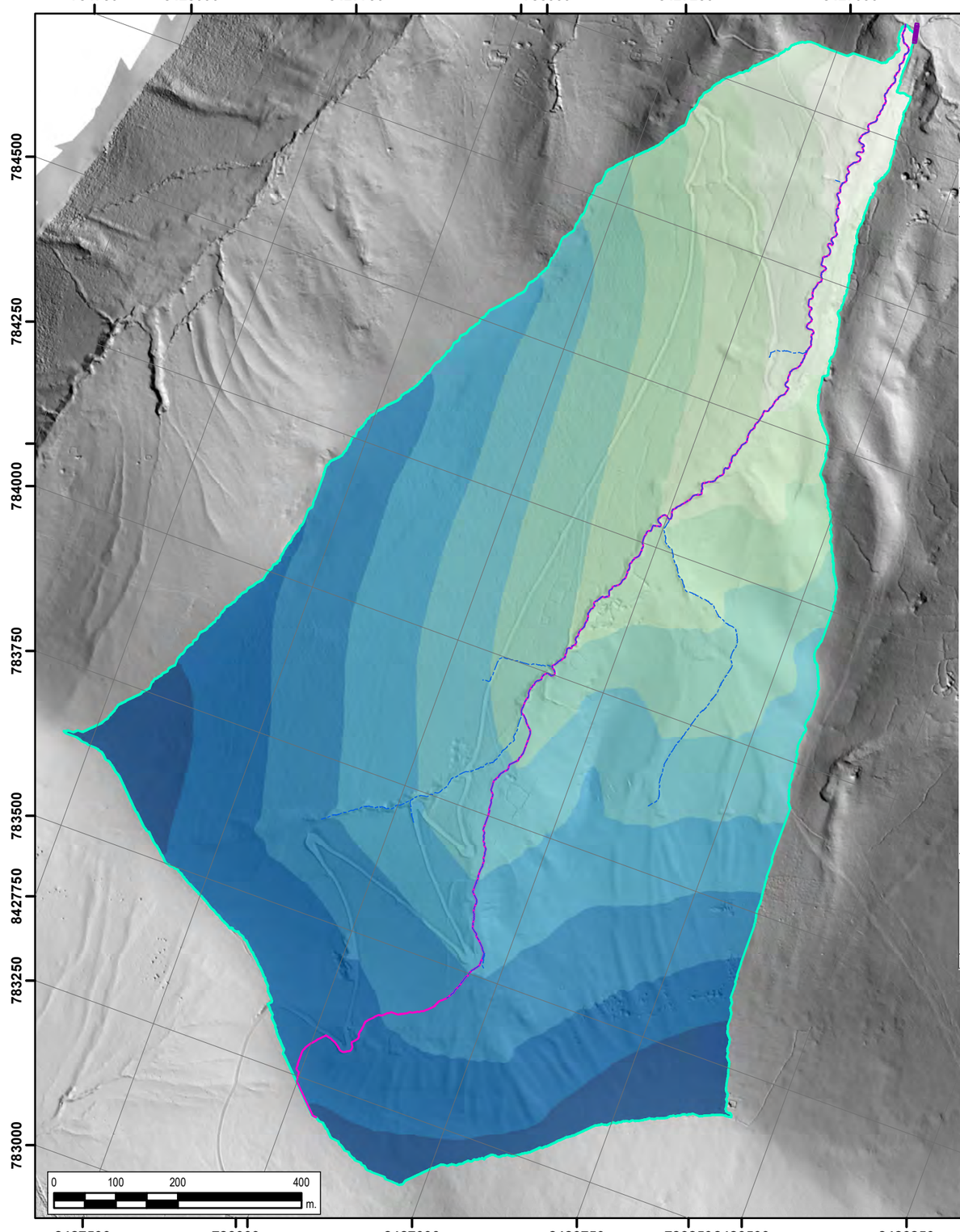
ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

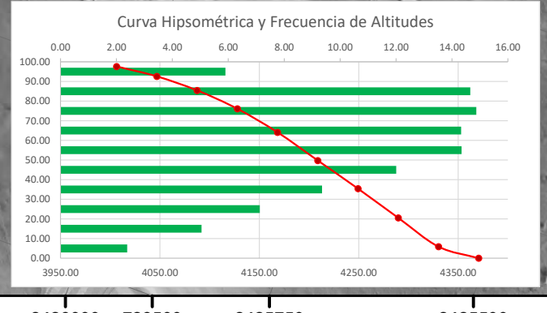
UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

MAPA: 08

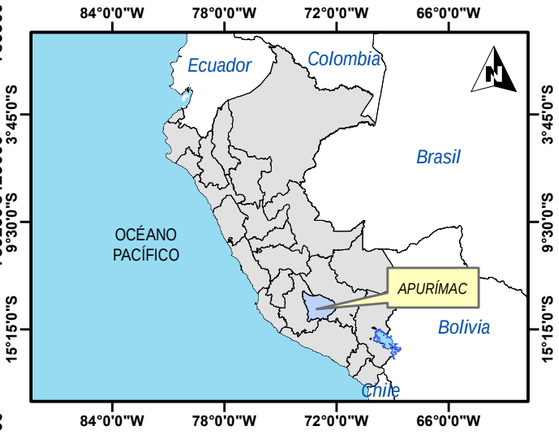
MAPA MICROCUENCA 01 CHOCCOYO



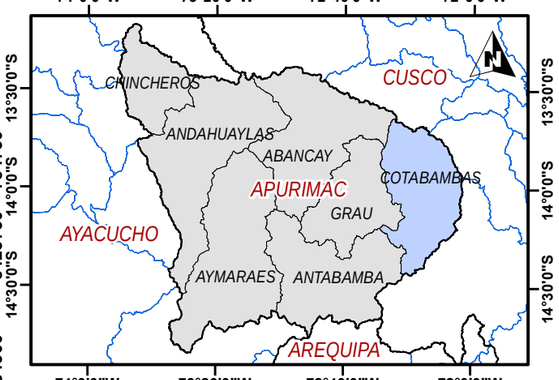
PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS CUENCA 01		SIMBOLOGIA	UNIDADES	CUENCAS SIG
1. Superficie o Área		A	Km^2	1.333
2. Perímetro		P	Km	6.76
4. Longitud Axial		La	Km	2.602
5. Forma de la Cuenca	a. Ancho Promedio	Ap	Km	0.51
	b. Coficiente de Compacidad	Cc	-	1.65
	c. Factor de forma	FF	-	0.20
	d. Rectangulo Equivalente	L	Km	2.93
		l	Km	0.46
6. Carácteristicas de Relieve	e. Radio de circularidad	Rc		0.37
	f. Altitud Media	-	m.s.n.m.	4199.62
	h. Altitud más frecuente	-	m.s.n.m.	4290.00
	i. Integral hipsométrica	-	-	0.674
	Coeficiente de Masividad	Cm	-	3150.84
	Coeficiente Orográfico	Co	-	13.23
	Coeficiente de torrencialidad	Ct	-	0.89
7. Carácteristicas de la red de drenaje	i. Pendiente media de la Cuenca	Sc	m/m	0.344
	j. Tipo de corriente			3.000
	k. Número de orden de corrientes	Oc	-	3
	l. Frecuencia de densidad de ríos	Fr	-	2.63
	m. Extensión media del escurrimiento superficial	E	Km	0.38
	n. Densidad de drenaje	Dd	Km/Km^2	2.63
	o.Pendiente media longitud axial	S	m/m	0.14
8.Tiempo de Concentración	Met. Kirpich	tc	h	0.29
	Met. Kerby	tc	h	0.51
	Met. Kerby-Kirpich	tc	h	0.81
	Met. Témez	tc	h	0.88
	Met. Giandiotti	tc	h	0.70
	Met. Giandiotti modificado	tc	h	0.47
	Met. Tournon	tc	h	0.62
	Met. Fattorelli y Marchi	tc	h	1.53
	Johnstone & Cross	tc	h	2.17
	Ven te Chow	tc	h	0.55
	Cuerpo de Ingenieros	tc	h	0.57
	Pasini	tc	h	0.44
	Ribeiro	tc	h	0.72
	Kerby-Hathaway	tc	h	0.51
	Met. Bransby Williams	tc	h	0.36
	Tiempo de concentración (Prom)	tc	h	0.74
	Lag Time (Prom)	tc	h	0.45
10. Cota Máxima		Zmax	msnm	4370.620
11. Cota Mínima		Zmin	msnm	3965.970
RELACION DE BIFURCACION				
		ORDEN 1	8	1.188
		ORDEN 2	2	0.706
		ORDEN 3	5	1.617
		ORDEN 4	-	
		ORDEN 5	-	
Longitud total de rios		Lt	km	3.51



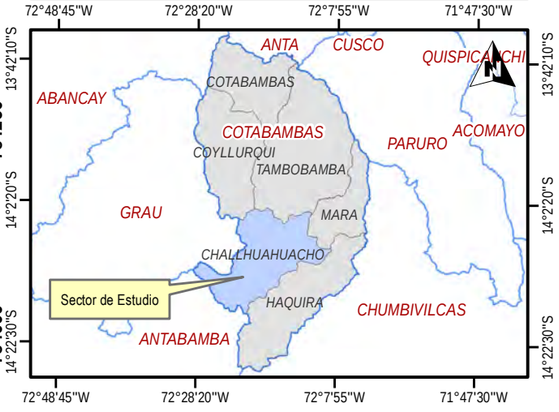
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



Simbologia

- Drenajes_Choccoyo-C01
- L_Axial-C01
- Puente

Leyenda

- MICROCUENCA_01

Rangos de Altitudes (m.s.n.m.)

3965.97 - 4006.44	4168.29 - 4208.76
4006.44 - 4046.90	4208.76 - 4249.23
4046.90 - 4087.37	4249.23 - 4289.69
4087.37 - 4127.83	4289.69 - 4330.16
4127.83 - 4168.29	4330.16 - 4370.62

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS CUENCA 01 CHOCCOYO

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/8000

SECTOR: Choccoyo

FECHA: ENERO - 2025

CÓDIGO: C01-H

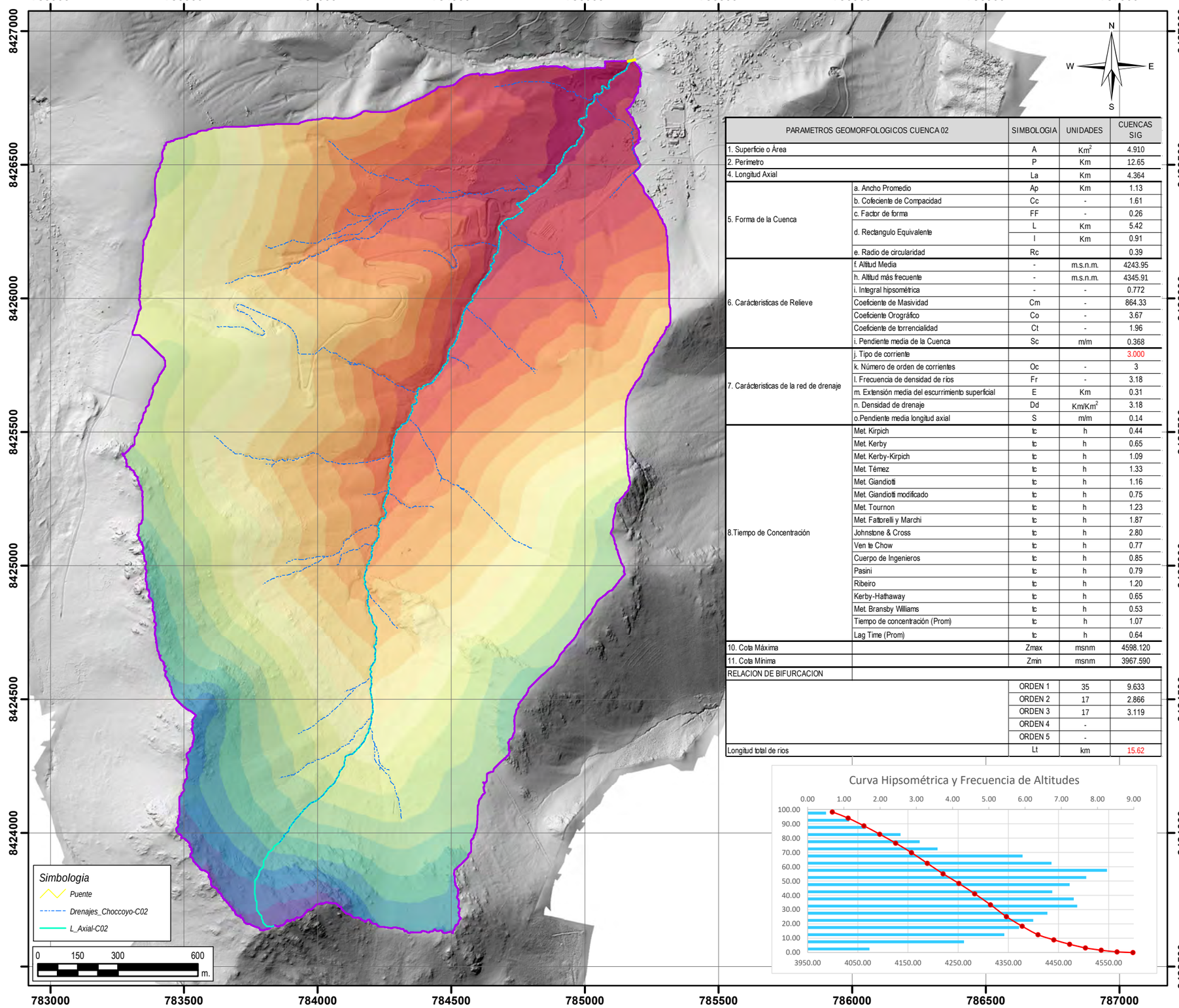
ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

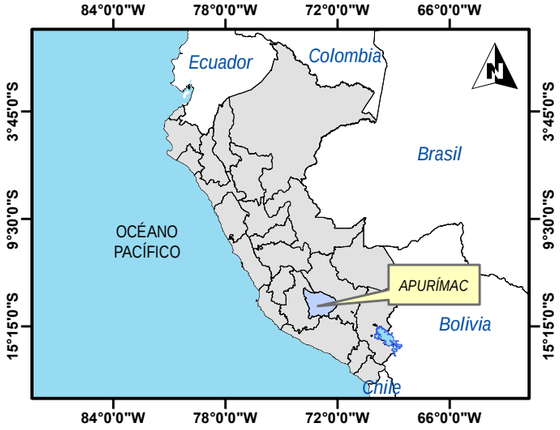
MAPA: 09

MAPA CUENCA 02 CHOCCOYO

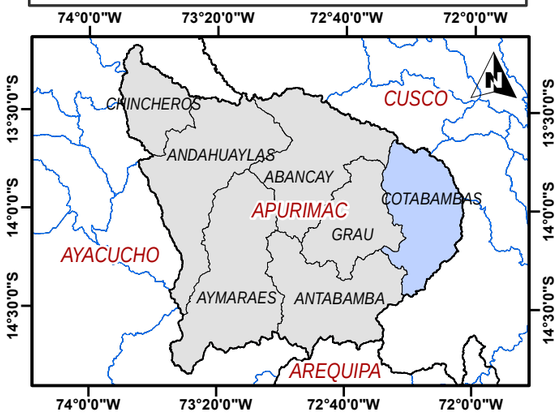


PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS CUENCA 02		SIMBOLOGIA	UNIDADES	CUENCAS SIG
1. Superficie o Área		A	Km^2	4.910
2. Perímetro		P	Km	12.65
4. Longitud Axial		La	Km	4.364
5. Forma de la Cuenca	a. Ancho Promedio	Ap	Km	1.13
	b. Cofeciente de Compacidad	Cc	-	1.61
	c. Factor de forma	FF	-	0.26
	d. Rectangulo Equivalente	L	Km	5.42
		l	Km	0.91
	e. Radio de circularidad	Rc		0.39
6. Carácteristicas de Relieve	f. Altitud Media	-	m.s.n.m.	4243.95
	h. Altitud más frecuente	-	m.s.n.m.	4345.91
	i. Integral hipsométrica	-	-	0.772
	Coeficiente de Masividad	Cm	-	864.33
	Coeficiente Orográfico	Co	-	3.67
	Coeficiente de torrencialidad	Ct	-	1.96
	i. Pendiente media de la Cuenca	Sc	m/m	0.368
7. Carácteristicas de la red de drenaje	j. Tipo de corriente			3.000
	k. Número de orden de corrientes	Oc	-	3
	l. Frecuencia de densidad de ríos	Fr	-	3.18
	m. Extensión media del escurrimiento superficial	E	Km	0.31
	n. Densidad de drenaje	Dd	Km/Km^2	3.18
	o.Pendiente media longitud axial	S	m/m	0.14
8.Tiempo de Concentración	Met. Kirpich	tc	h	0.44
	Met. Kerby	tc	h	0.65
	Met. Kerby-Kirpich	tc	h	1.09
	Met. Témez	tc	h	1.33
	Met. Giandiotti	tc	h	1.16
	Met. Giandiotti modificado	tc	h	0.75
	Met. Tournon	tc	h	1.23
	Met. Fattorelli y Marchi	tc	h	1.87
	Johnstone & Cross	tc	h	2.80
	Ven te Chow	tc	h	0.77
	Cuerpo de Ingenieros	tc	h	0.85
	Pasini	tc	h	0.79
	Ribeiro	tc	h	1.20
	Kerby-Hathaway	tc	h	0.65
	Met. Bransby Williams	tc	h	0.53
	Tiempo de concentración (Prom)	tc	h	1.07
	Lag Time (Prom)	tc	h	0.64
10. Cota Máxima		Zmax	msnm	4598.120
11. Cota Mínima		Zmin	msnm	3967.590
RELACION DE BIFURCACION				
		ORDEN 1	35	9.633
		ORDEN 2	17	2.866
		ORDEN 3	17	3.119
		ORDEN 4	-	
		ORDEN 5	-	
Longitud total de rios		Lt	km	15.62

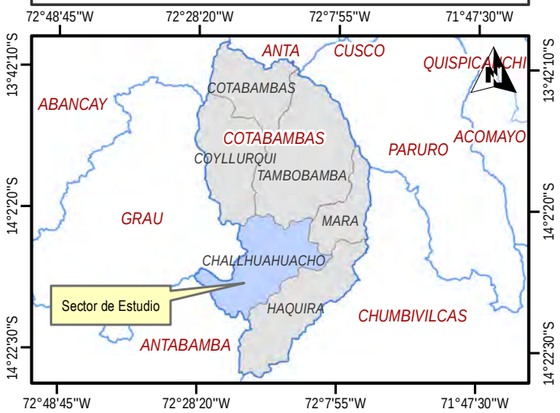
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



Leyenda

CUENCA_02

Rangos de Altitudes (m.s.n.m.)

3967.59 - 3999.12	4125.22 - 4156.75	4282.85 - 4314.38	4440.49 - 4472.01
3999.12 - 4030.64	4156.75 - 4188.28	4314.38 - 4345.91	4472.01 - 4503.54
4030.64 - 4062.17	4188.28 - 4219.80	4345.91 - 4377.43	4503.54 - 4535.07
4062.17 - 4093.69	4219.80 - 4251.33	4377.43 - 4408.96	4535.07 - 4566.59
4093.69 - 4125.22	4251.33 - 4282.85	4408.96 - 4440.49	4566.59 - 4598.12

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS CUENCA 02 CHOCCOYO

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/15000

SECTOR: Choccoyo

FECHA: ENERO - 2025

CÓDIGO: C02-H

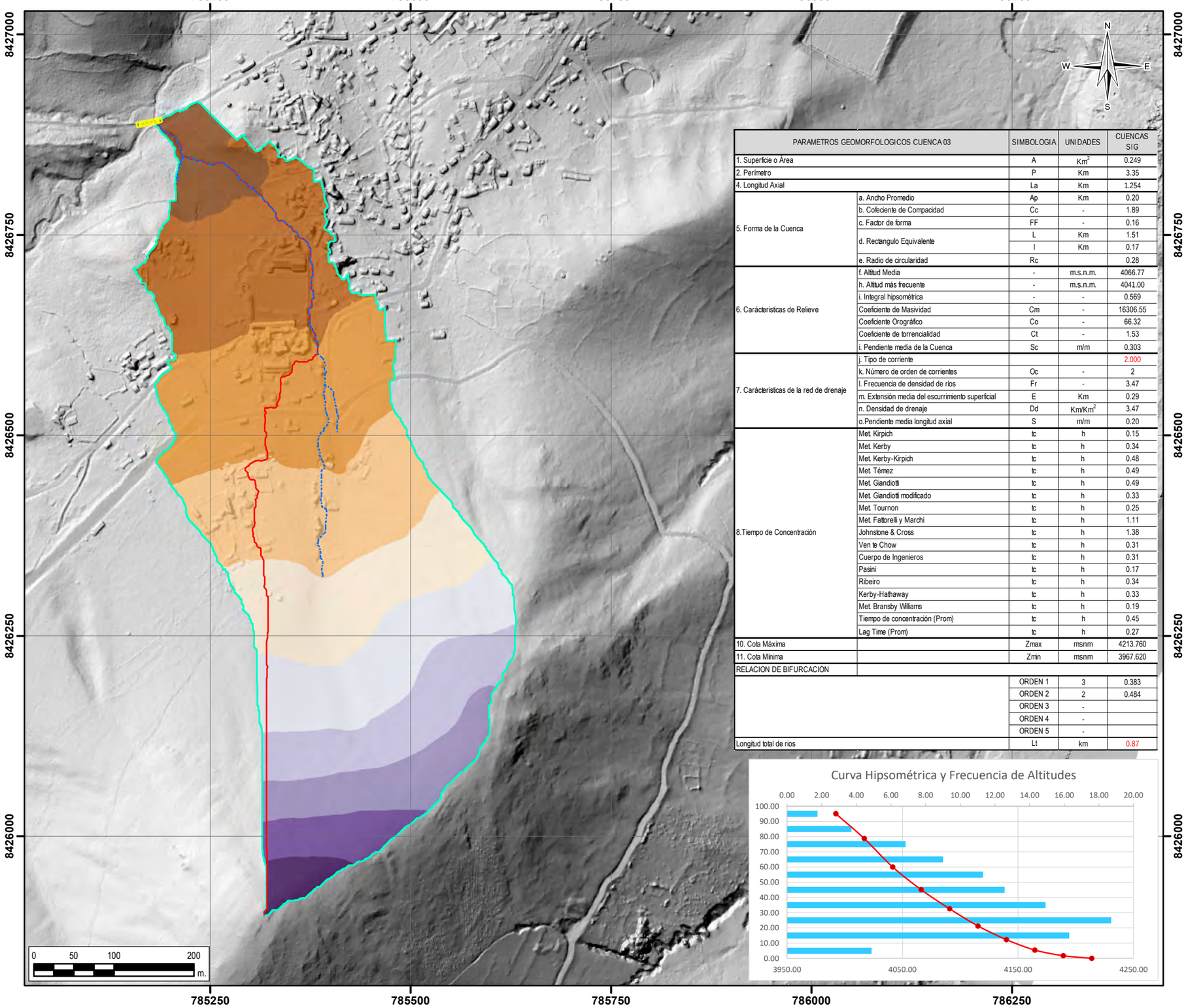
ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

MAPA: 10

MAPA MICROCUENCA 03 CHOCCOYO

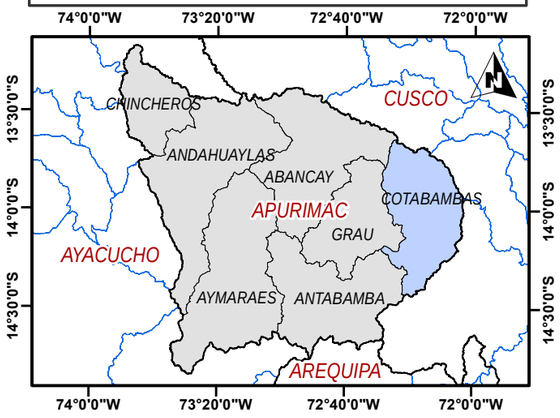


PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS CUENCA 03		SIMBOLOGIA	UNIDADES	CUENCAS SIG
1. Superficie o Área		A	Km^2	0.249
2. Perímetro		P	Km	3.35
4. Longitud Axial		La	Km	1.254
5. Forma de la Cuenca	a. Ancho Promedio	Ap	Km	0.20
	b. Cofeciente de Compacidad	Cc	-	1.89
	c. Factor de forma	FF	-	0.16
	d. Rectangulo Equivalente	L	Km	1.51
		l	Km	0.17
	e. Radio de circularidad	Rc		0.28
6. Carácteristicas de Relieve	f. Altitud Media	-	m.s.n.m.	4066.77
	h. Altitud más frecuente	-	m.s.n.m.	4041.00
	i. Integral hipsométrica	-	-	0.569
	Coeficiente de Masividad	Cm	-	16306.55
	Coeficiente Orográfico	Co	-	66.32
	Coeficiente de torrencialidad	Ct	-	1.53
	i. Pendiente media de la Cuenca	Sc	m/m	0.303
7. Carácteristicas de la red de drenaje	j. Tipo de corriente			2.000
	k. Número de orden de corrientes	Oc	-	2
	l. Frecuencia de densidad de ríos	Fr	-	3.47
	m. Extensión media del escurrimiento superficial	E	Km	0.29
	n. Densidad de drenaje	Dd	Km/Km^2	3.47
	o.Pendiente media longitud axial	S	m/m	0.20
8.Tiempo de Concentración	Met. Kirpich	tc	h	0.15
	Met. Kerby	tc	h	0.34
	Met. Kerby-Kirpich	tc	h	0.48
	Met. Témez	tc	h	0.49
	Met. Giandiotti	tc	h	0.49
	Met. Giandiotti modificado	tc	h	0.33
	Met. Tournon	tc	h	0.25
	Met. Fattorelli y Marchi	tc	h	1.11
	Johnstone & Cross	tc	h	1.38
	Ven te Chow	tc	h	0.31
	Cuerpo de Ingenieros	tc	h	0.31
	Pasini	tc	h	0.17
	Ribeiro	tc	h	0.34
	Kerby-Hathaway	tc	h	0.33
	Met. Bransby Williams	tc	h	0.19
	Tiempo de concentración (Prom)	tc	h	0.45
	Lag Time (Prom)	tc	h	0.27
10. Cota Máxima		Zmax	msnm	4213.760
11. Cota Mínima		Zmin	msnm	3967.620
RELACION DE BIFURCACION				
		ORDEN 1	3	0.383
		ORDEN 2	2	0.484
		ORDEN 3	-	
		ORDEN 4	-	
		ORDEN 5	-	
Longitud total de rios		Lt	km	0.87

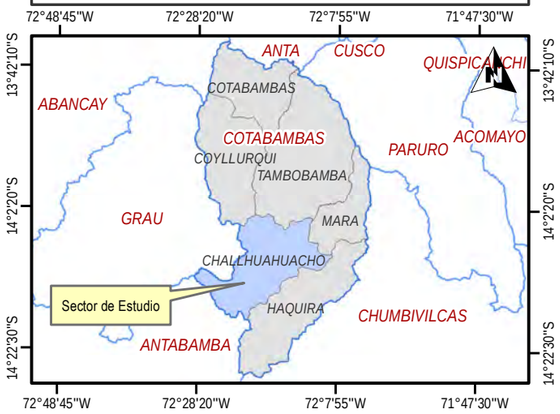
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



Simbologia
- Puente
- Drenajes_Choccoyo-C03
- L_Axial-C03

Leyenda
- CUENCA_03

Rangos de Altitudes (m.s.n.m.)

3967.62 - 3992.23	4090.69 - 4115.31
3992.23 - 4016.85	4115.31 - 4139.92
4016.85 - 4041.46	4139.92 - 4164.53
4041.46 - 4066.08	4164.53 - 4189.15
4066.08 - 4090.69	4189.15 - 4213.76

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS CUENCA 03 CHOCCOYO

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/5000

SECTOR: Choccoyo

FECHA: ENERO - 2025

CÓDIGO: C03-H

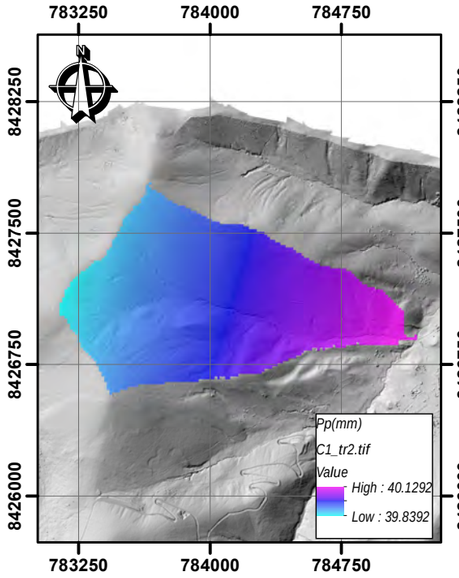
ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer

ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

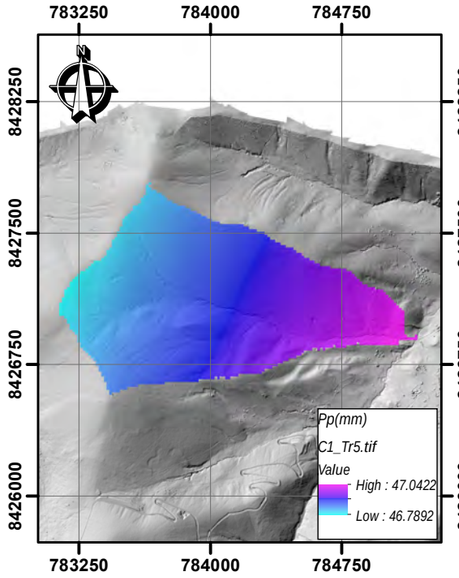
UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

MAPA: 11

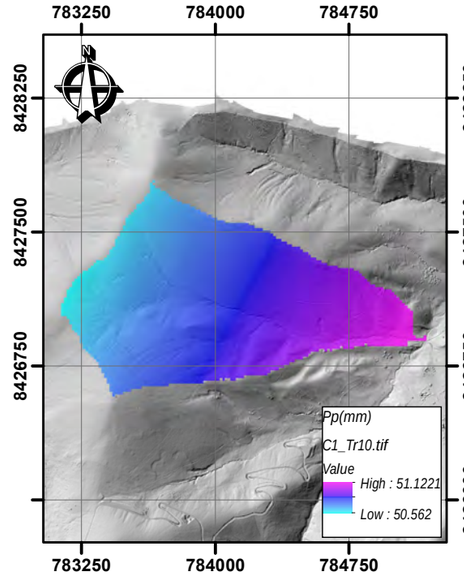
TR=2 AÑOS



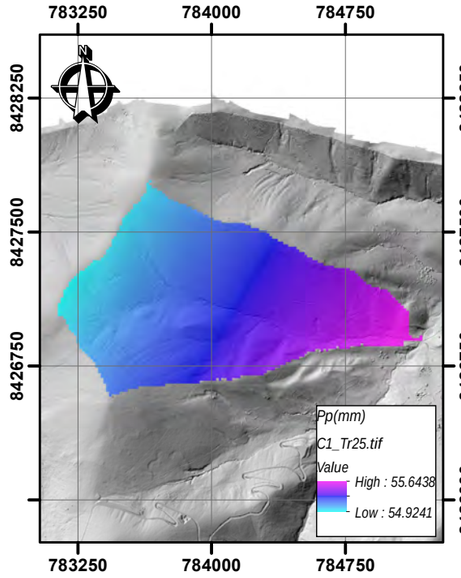
TR=5 AÑOS



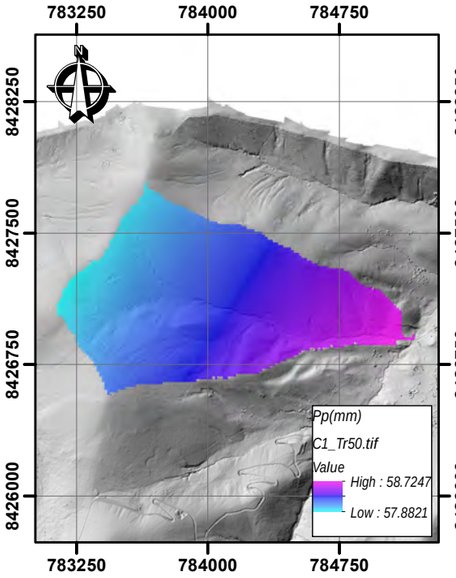
TR=10 AÑOS



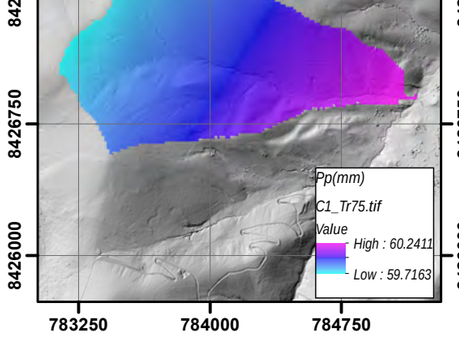
TR=25 AÑOS



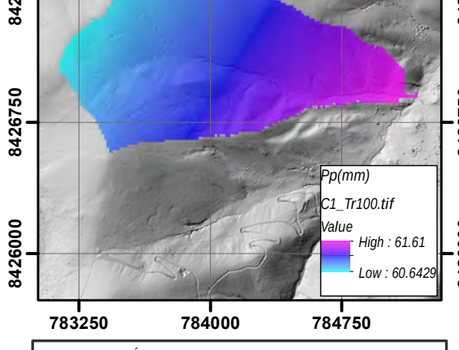
TR=50 AÑOS



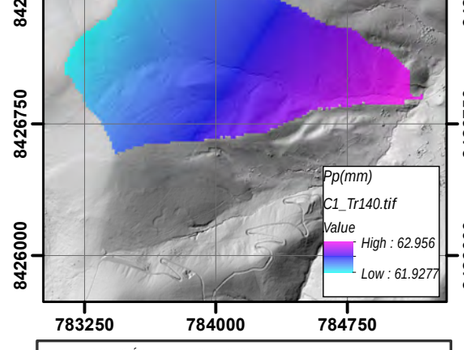
TR=75 AÑOS



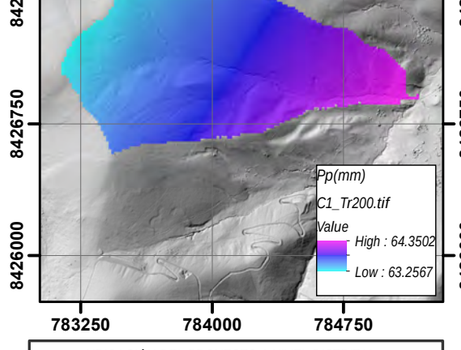
TR=100 AÑOS



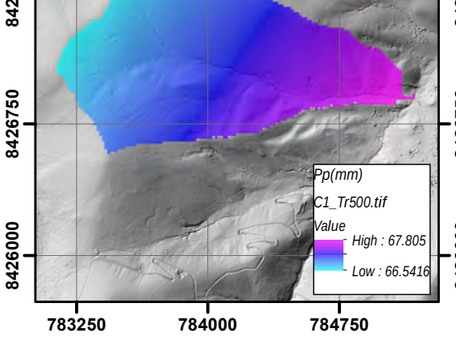
TR=140 AÑOS



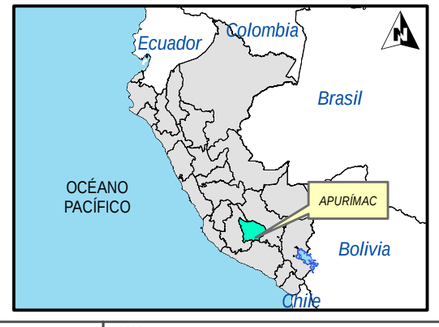
TR=200 AÑOS



TR=500 AÑOS



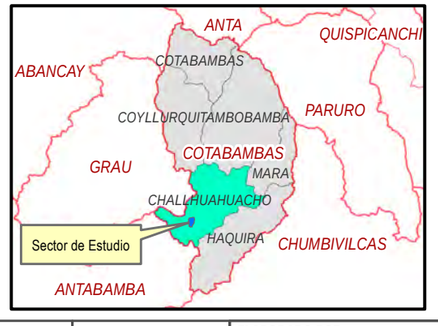
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL

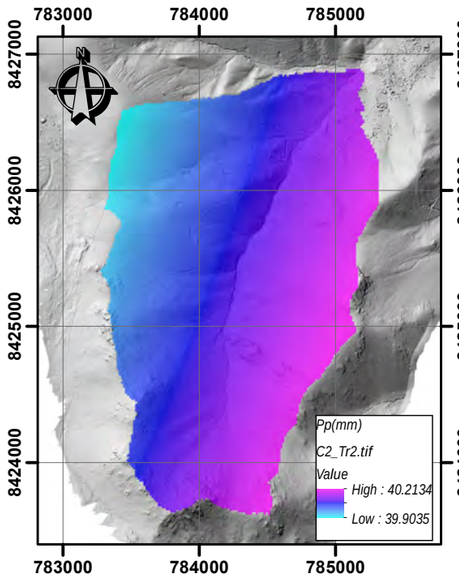


UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL

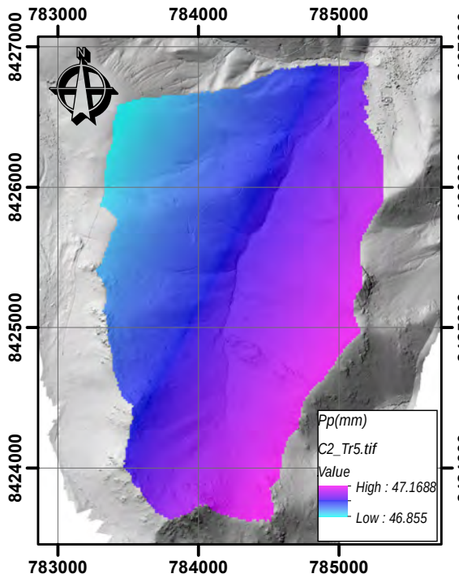


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** REGIONALIZACION MICROCUENCA 01 CHOCCOYO	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/35000 **CÓDIGO:** RG-C01-CH-H	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 12

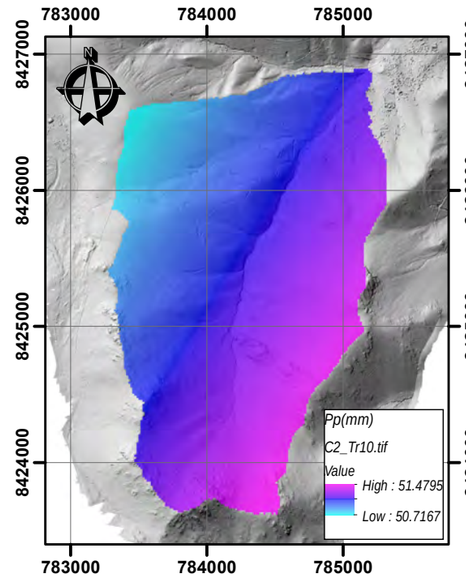
TR=2 AÑOS



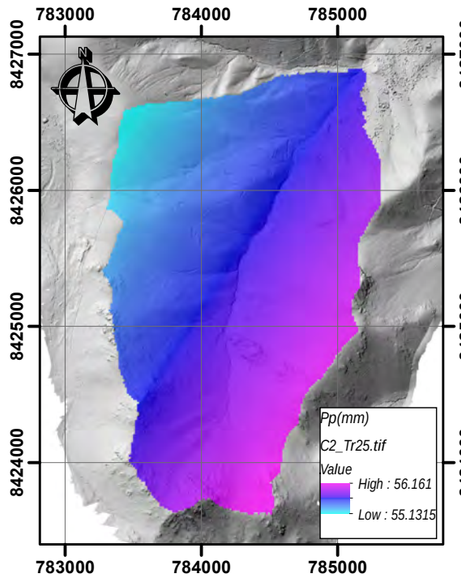
TR=5 AÑOS



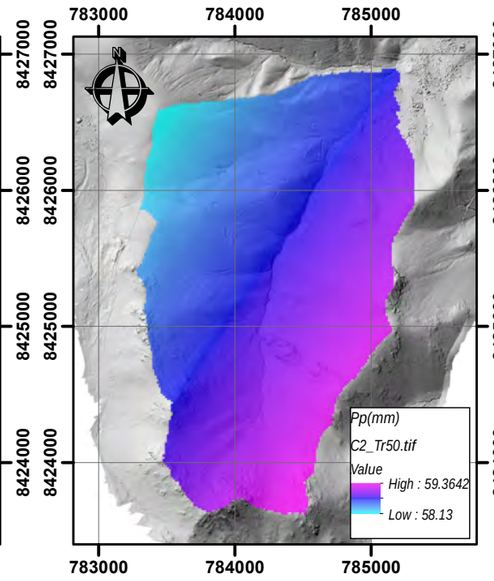
TR=10 AÑOS



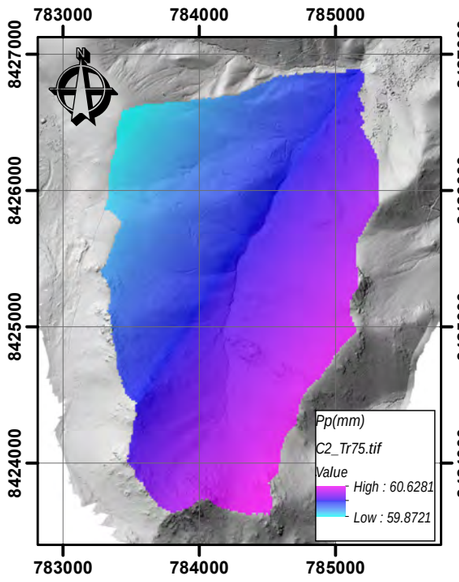
TR=25 AÑOS



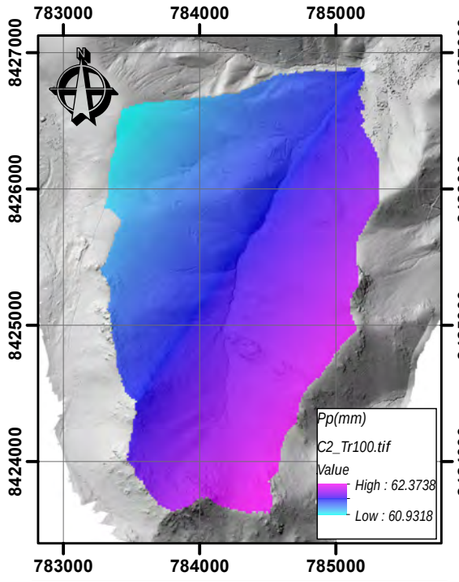
TR=50 AÑOS



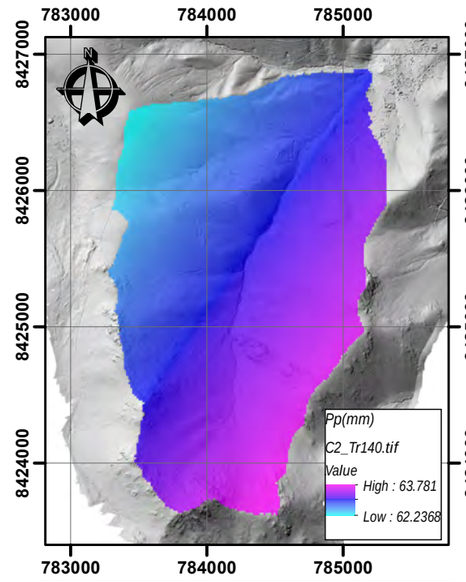
TR=75 AÑOS



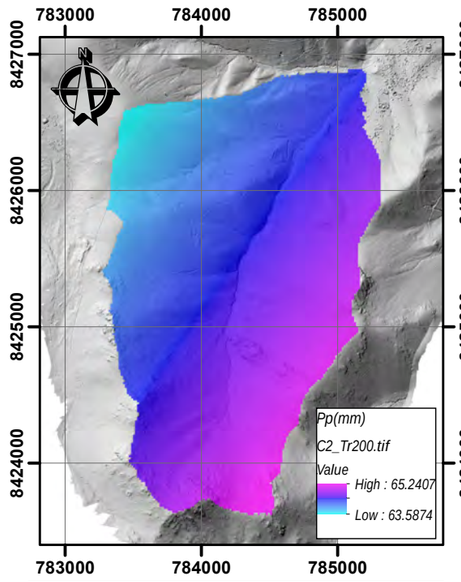
TR=100 AÑOS



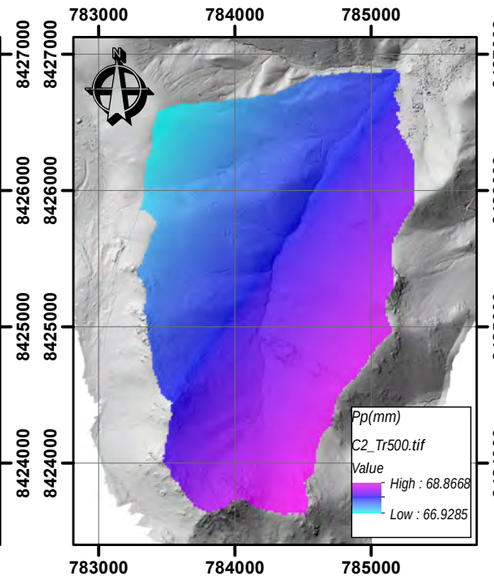
TR=140 AÑOS



TR=200 AÑOS



TR=500 AÑOS



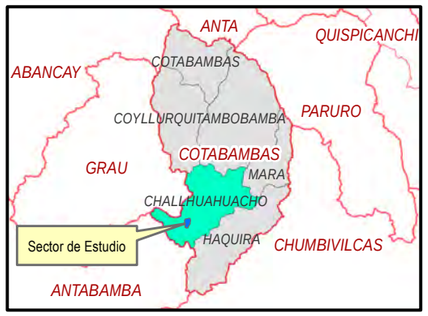
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL

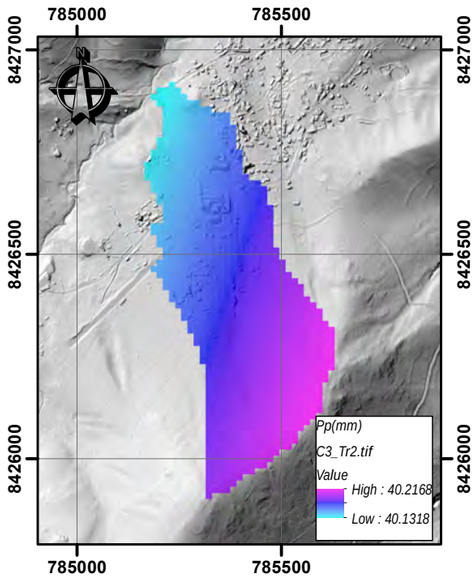


UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL

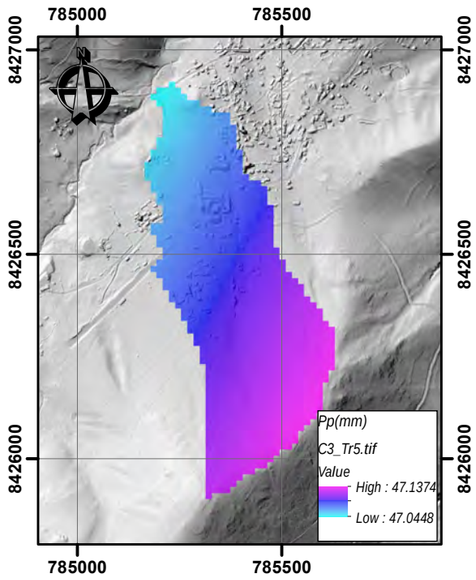


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** REGIONALIZACION MICROCUENCA 02 CHOCCOYO	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/45000 **CÓDIGO:** RG-C02-CH-H	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 13

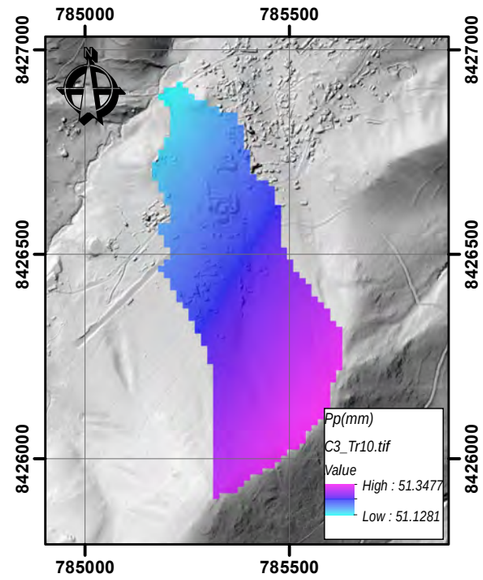
TR=2 AÑOS



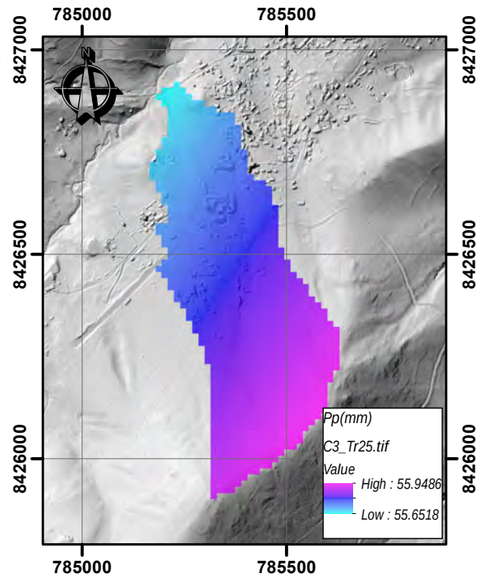
TR=5 AÑOS



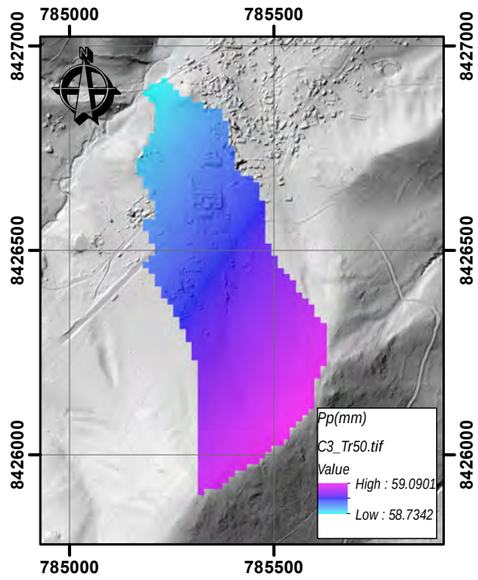
TR=10 AÑOS



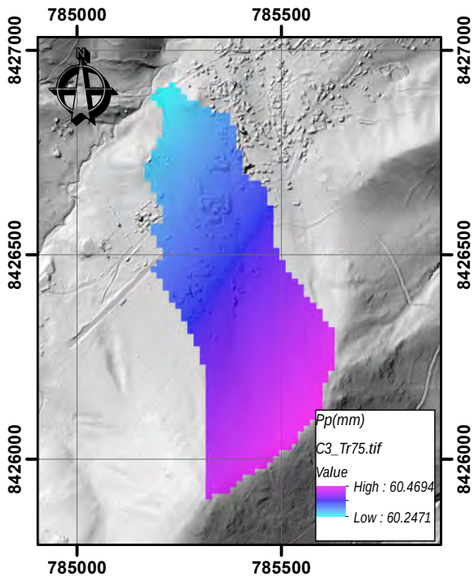
TR=25 AÑOS



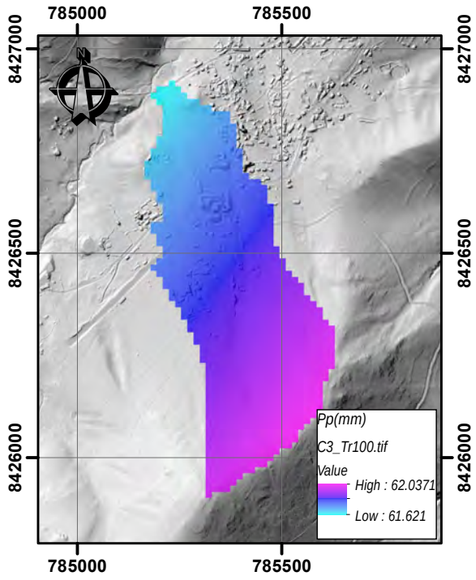
TR=50 AÑOS



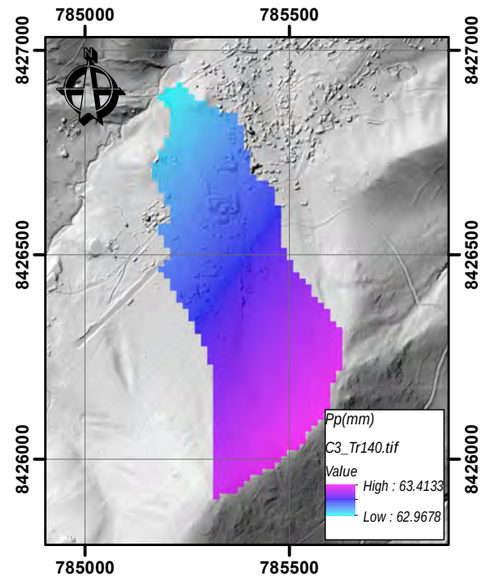
TR=75 AÑOS



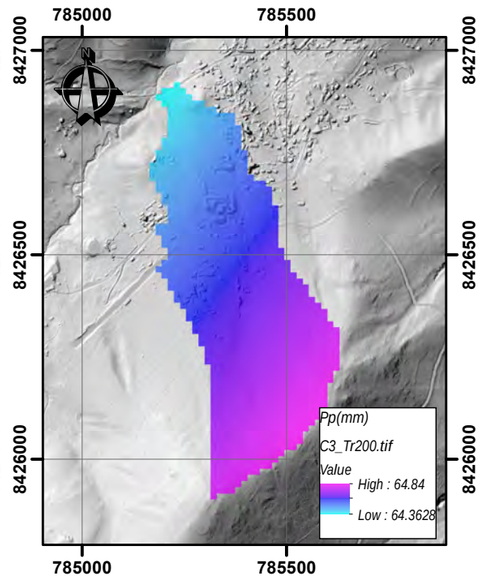
TR=100 AÑOS



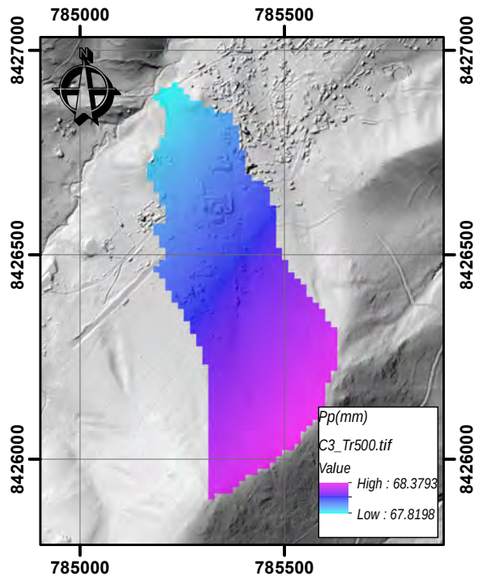
TR=140 AÑOS



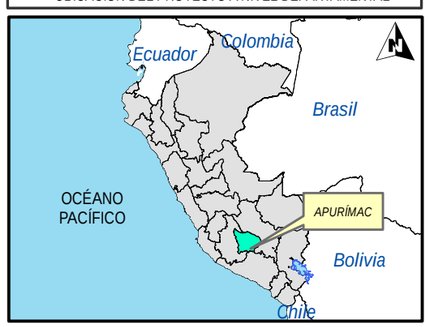
TR=200 AÑOS



TR=500 AÑOS



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL

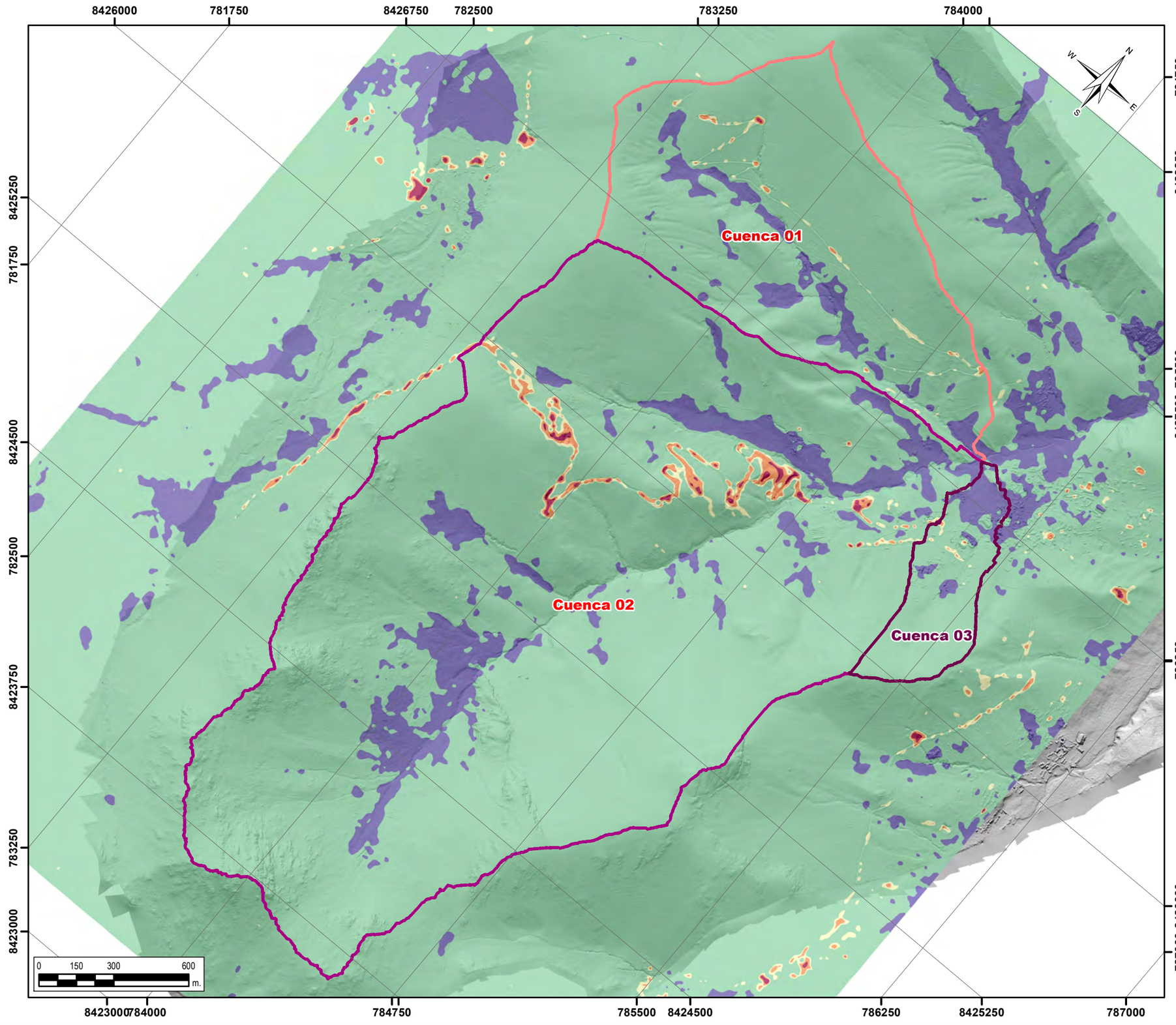


UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL

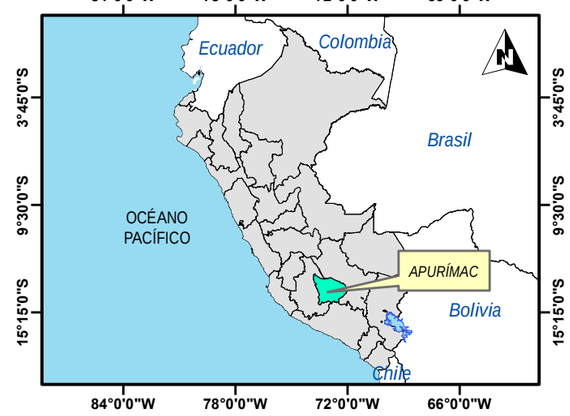


	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** REGIONALIZACION MICROCUENCA 03 CHOCCOYO	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/15000 **CÓDIGO:** RG-C03-CH-H	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 14

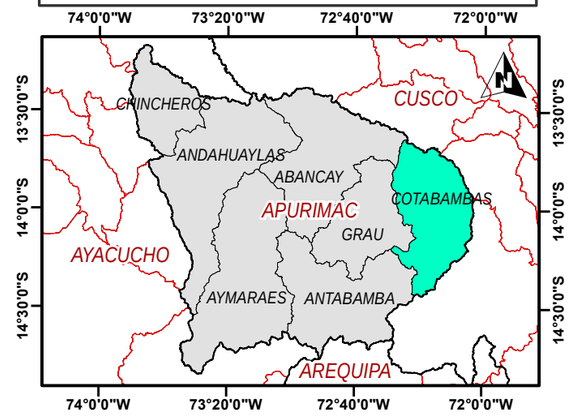
MAPA DE COBERTURA VEGETAL EN BASE A NDVI



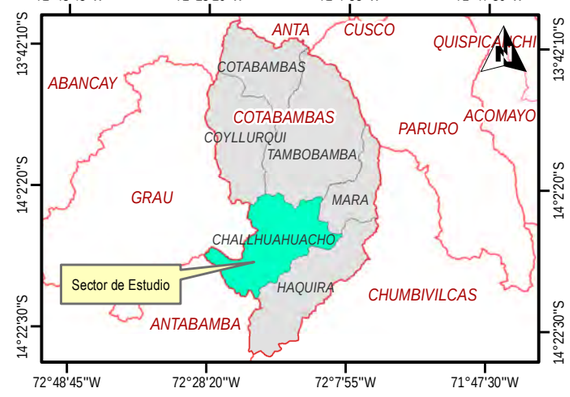
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



Leyenda

- *CUENCA_01*
- *CUENCA_02*
- *CUENCA_03*

Valores NDVI

- *-0.271 - 0.025, Nubosidad/Hielo y Nieve/Agua*
- *0.025 - 0.09, Suelo Desnudo*
- *0.09 - 0.14, Vegetacion Pobre (Escasa)*
- *0.14 - 0.5, Vegetacion Media*
- *0.5 - 0.919, Vegetacion Densa*

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: MAPA DE COBERTURA VEGETAL A PARTIR DE NDVI

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/16000

SECTOR: Choccoyo

FECHA: JULIO - 2025

CÓDIGO: NDVI-H

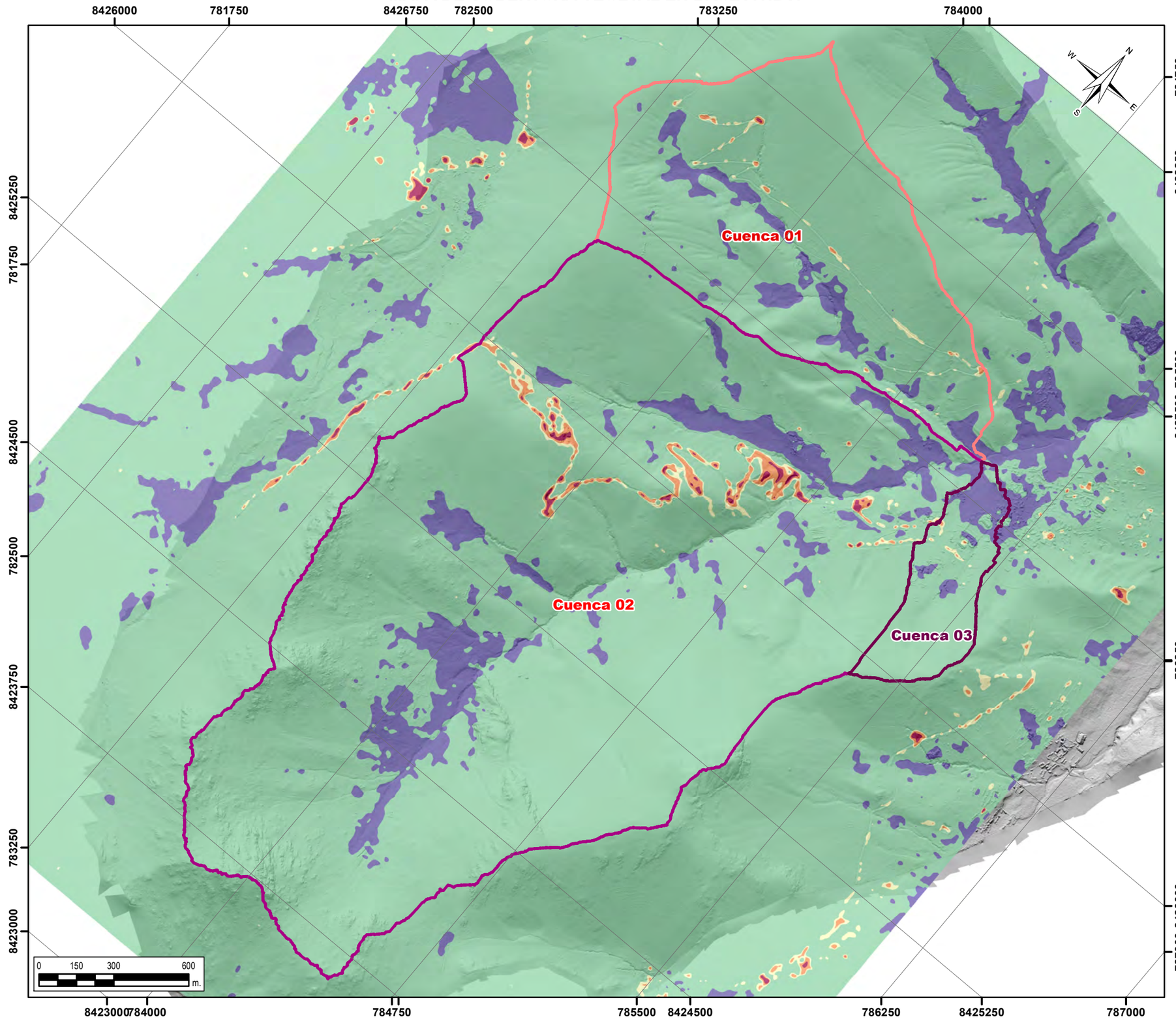
ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

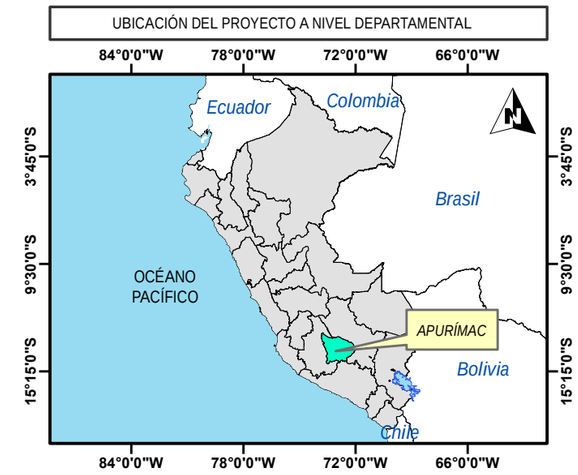
ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

MAPA: 15

MAPA DE COBERTURA VEGETAL EN BASE A NDVI









Leyenda

- CUENCA_01
- CUENCA_02
- CUENCA_03

Valores NDVI

- -0.271 - 0.025, Nubosidad/Hielo y Nieve/Agua
- 0.025 - 0.09, Suelo Desnudo
- 0.09 - 0.14, Vegetacion Pobre (Escasa)
- 0.14 - 0.5, Vegetacion Media
- 0.5 - 0.919, Vegetacion Densa

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: MAPA DE COBERTURA VEGETAL A PARTIR DE NDVI

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/16000

SECTOR: Choccoyo

FECHA: JULIO - 2025

CÓDIGO: NDVI-H

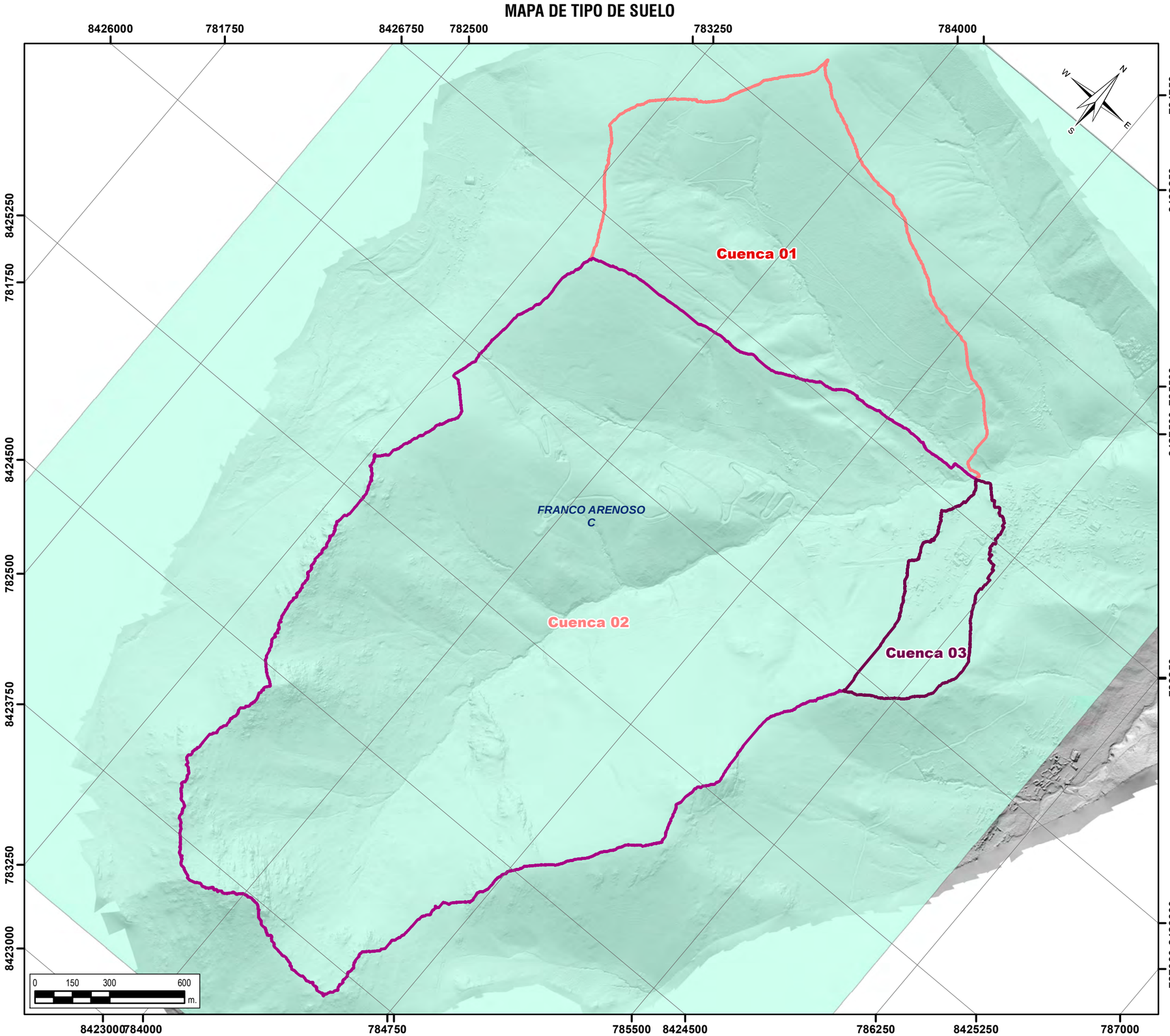
ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

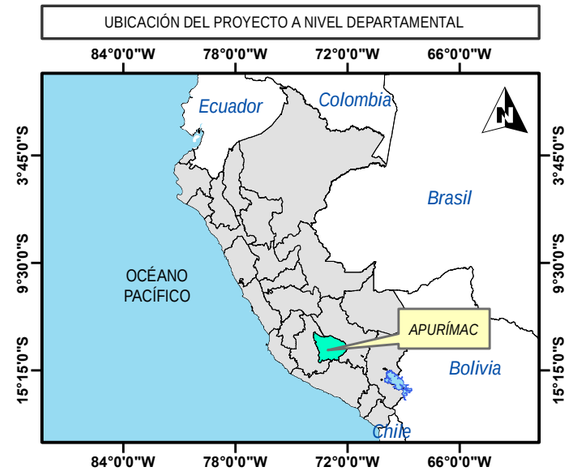
ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

MAPA: 16

MAPA DE TIPO DE SUELO









Leyenda

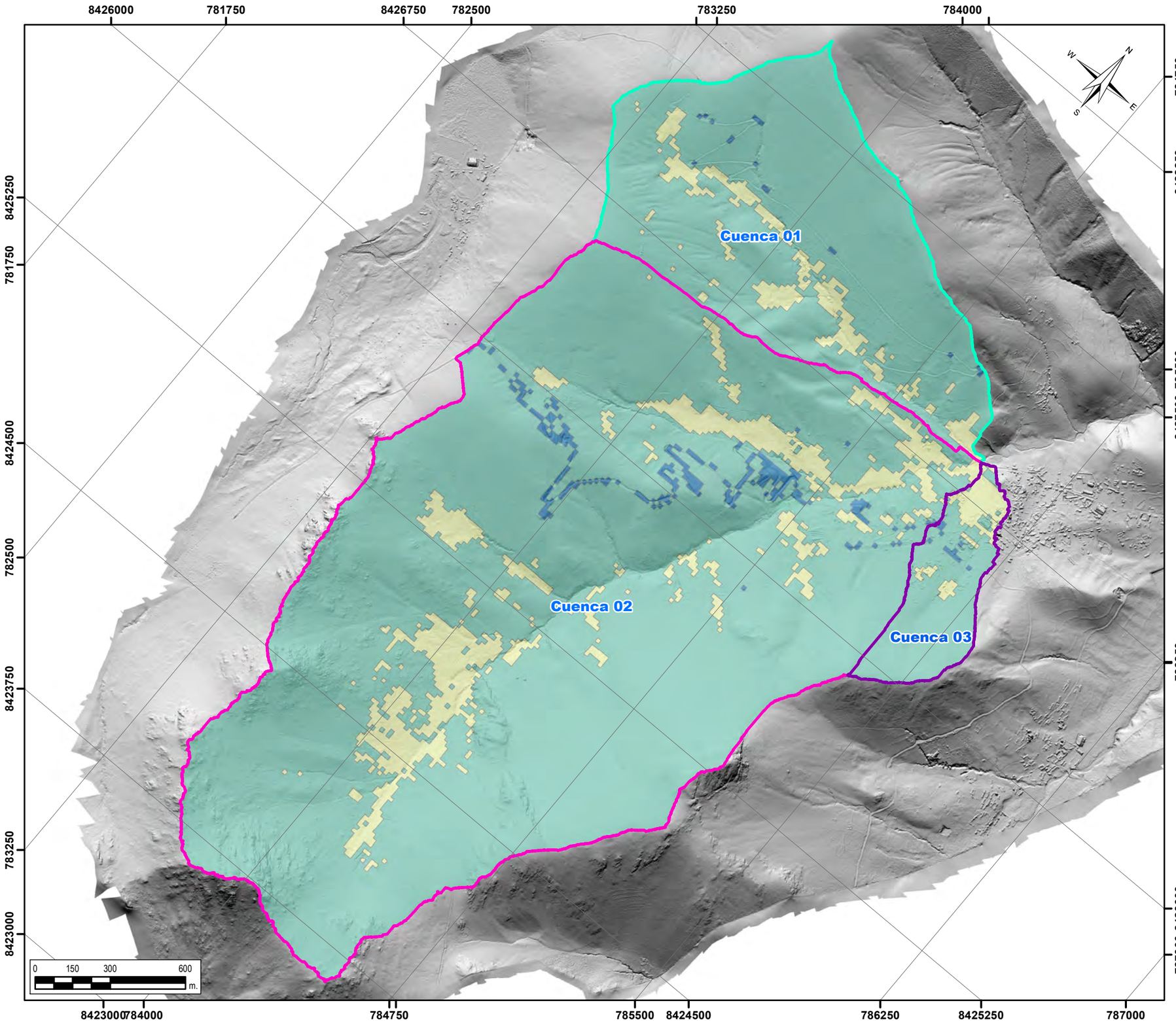
- CUENCA_03
- CUENCA_02
- CUENCA_01

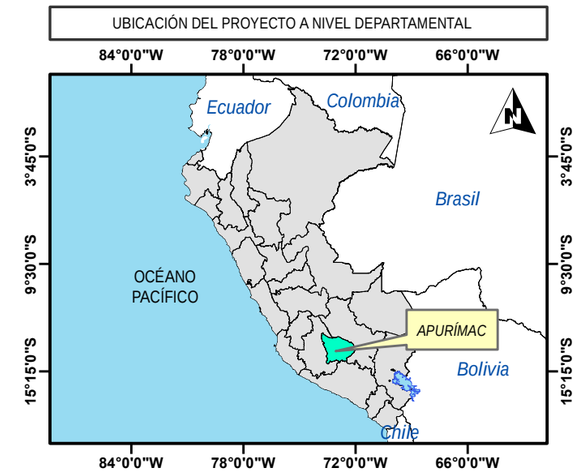
Tipo de Suelo

Franco Arenoso
Grupo Hidrologico: C
%Arena:58.9 // %Limo:16.2 // %Arcilla:24.9

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA TIPO DE SUELO	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S	**ESCALA:** 1/16000	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC
			FECHA: JULIO - 2025	**CÓDIGO:** TS-H			**MAPA:** 16

MAPA DE NUMERO CURVA









Leyenda

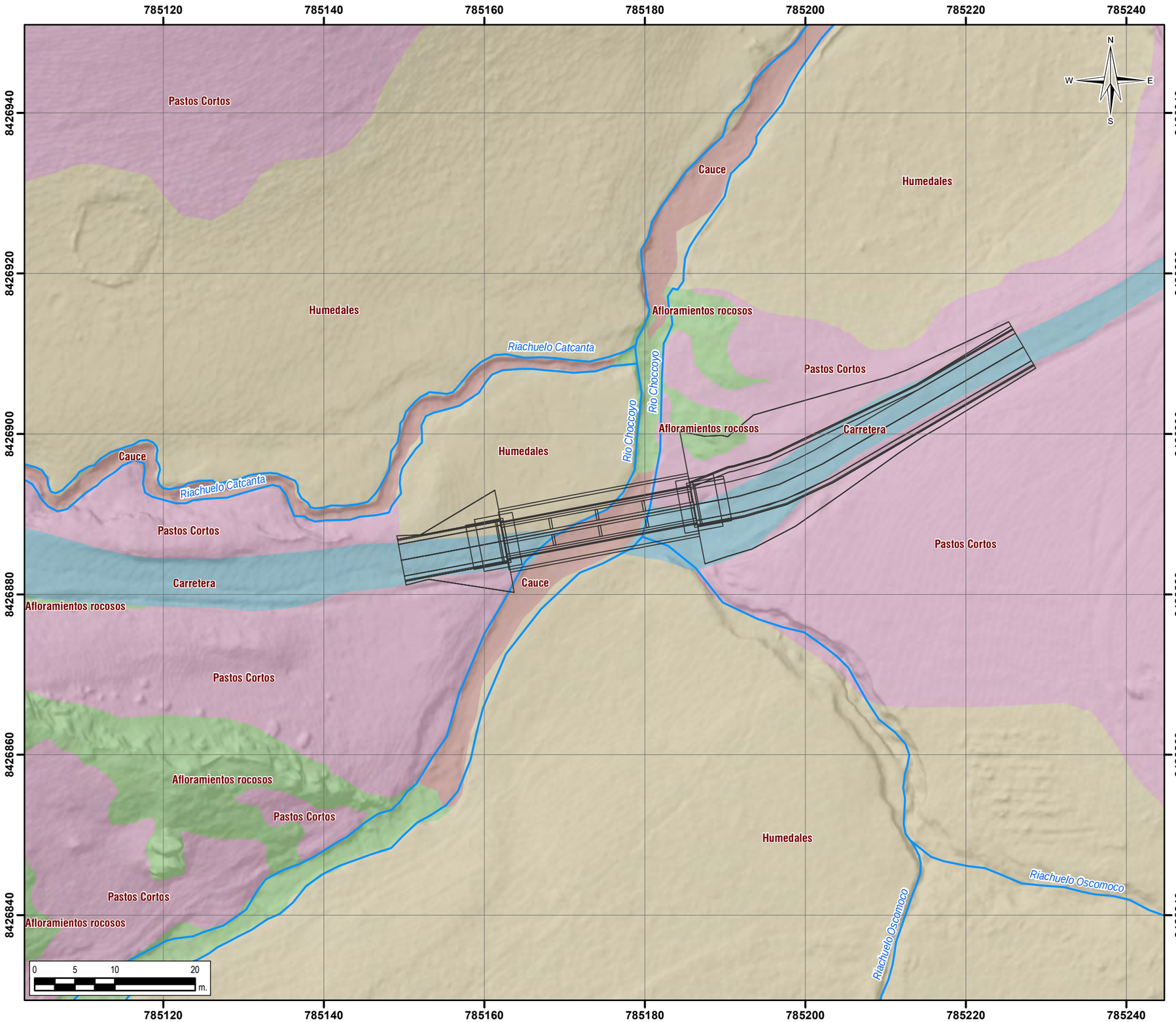
- CUENCA_03
- CUENCA_02
- CUENCA_01

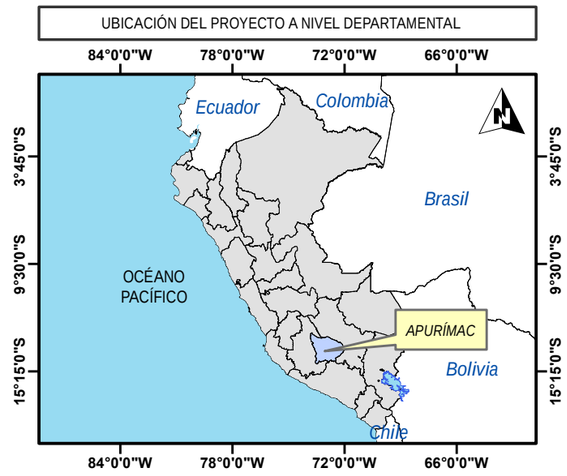
Numero Curva (NC)

- 74
- 79
- 86

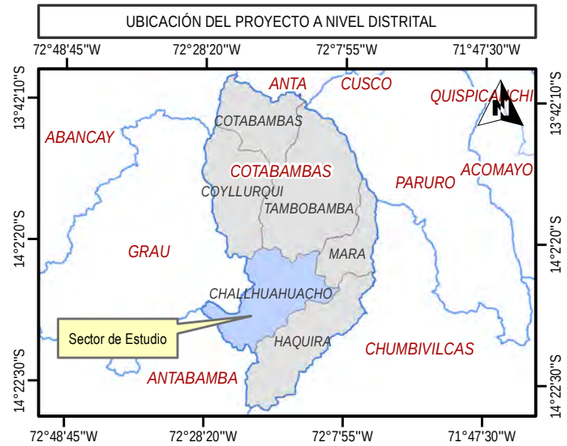
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA DE NUMERO CURVA (CN)	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S	**ESCALA:** 1/16000	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 17
			FECHA: JULIO - 2025	**CÓDIGO:** NC-H				

MAPA DE USO DE SUELO









Simbologia

- Puente
- Rios

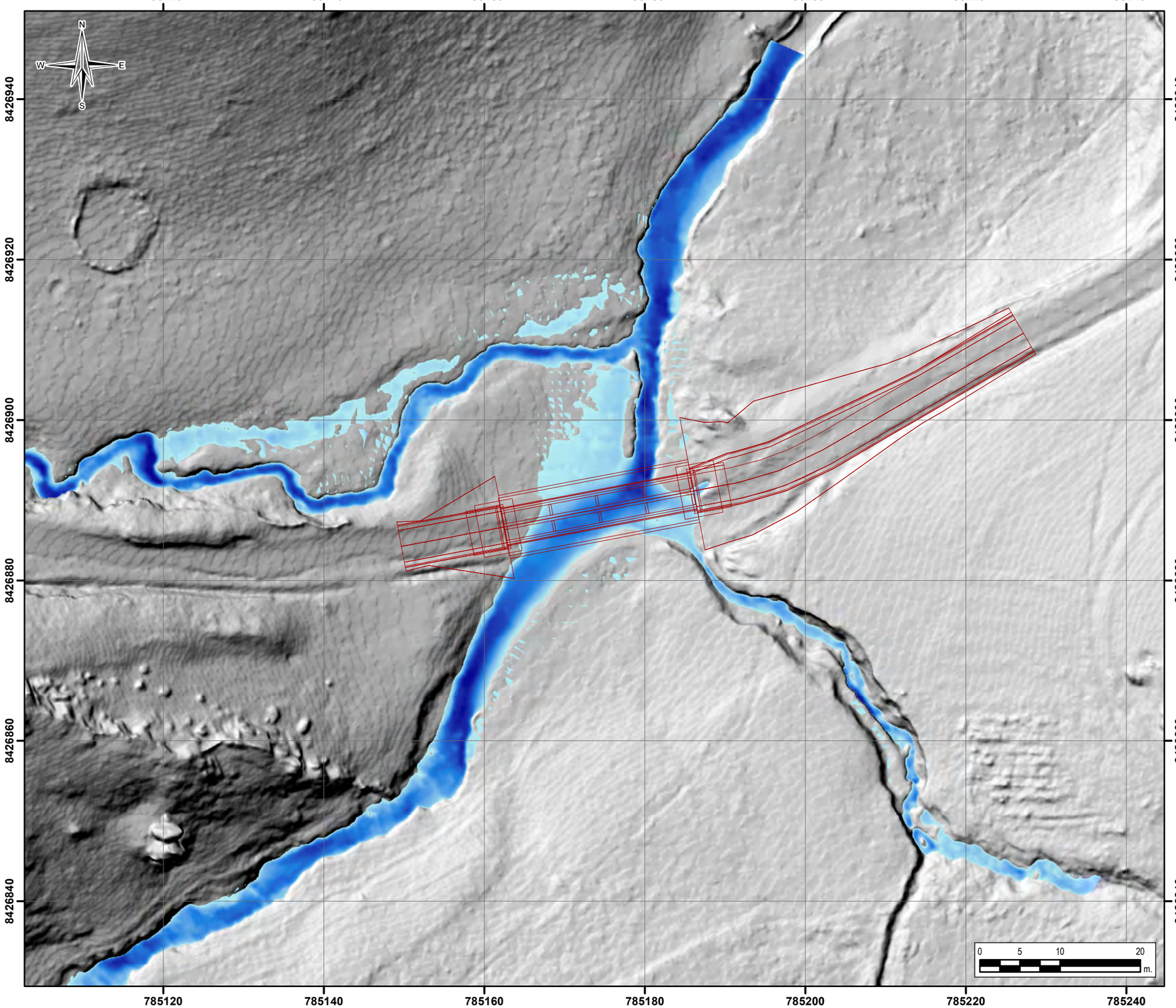
Leyenda

Unidades de Uso de Suelo

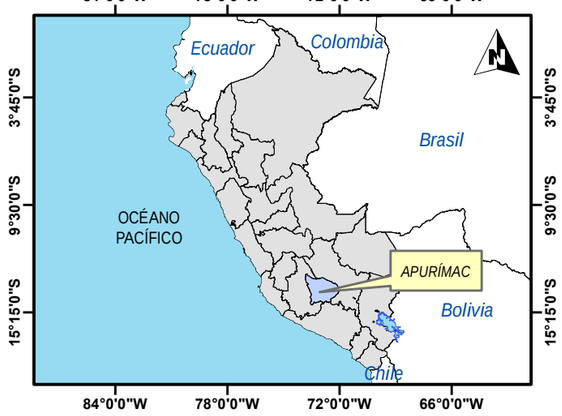
- Afloramientos rocosos
- Areas cultivas - sin cultivo
- Carretera
- Cauce
- Espacio abierto desarrollado
- Humedales
- Pastos Altos
- Pastos Cortos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA DE USO DE SUELO	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** US-GEO	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 18

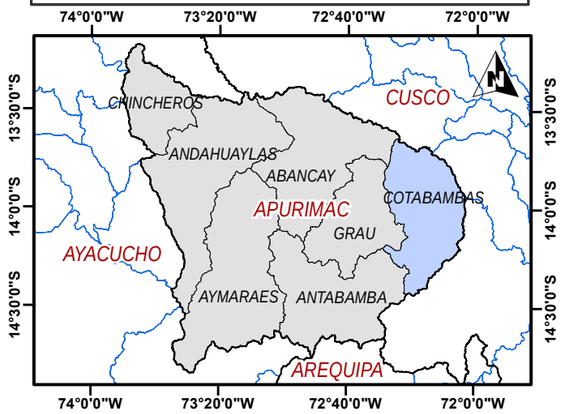
MAPA DE CALADO TR=200 AÑOS



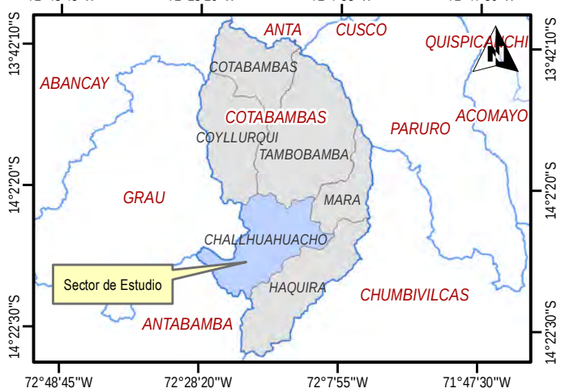
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



Simbologia

Puente

Leyenda

Calado (metros)

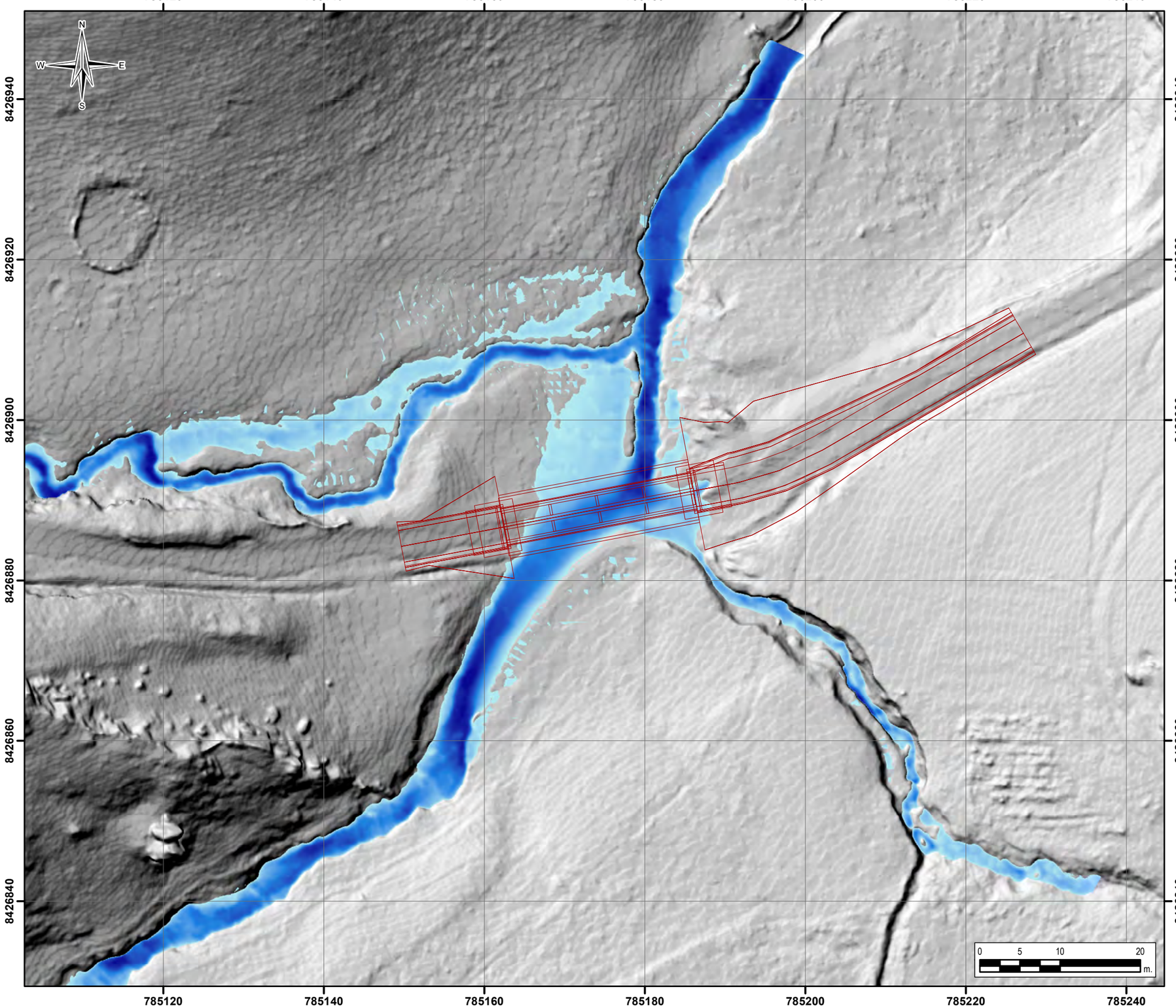
Value

High : 0.929199

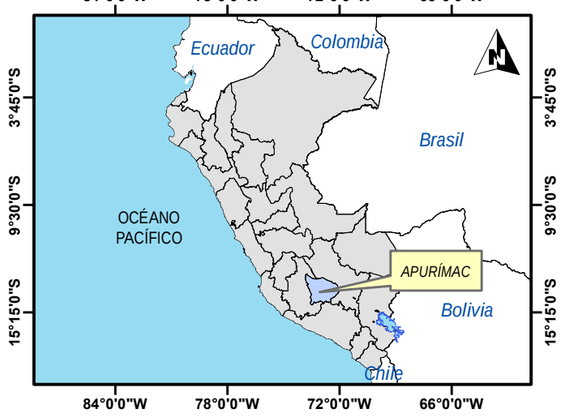
Low : 0.000976563

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA DE CALADO TR=200 AÑOS	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** CAL-200	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 19

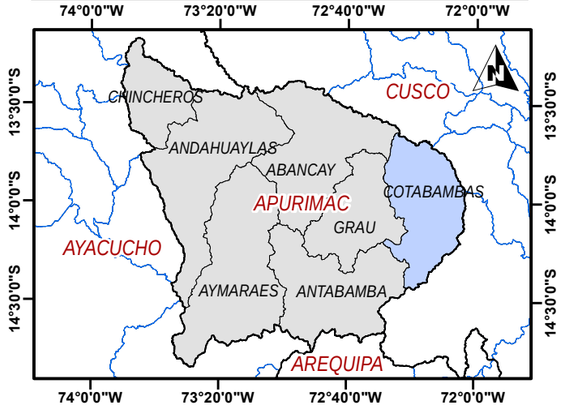
MAPA DE CALADO TR=500 AÑOS



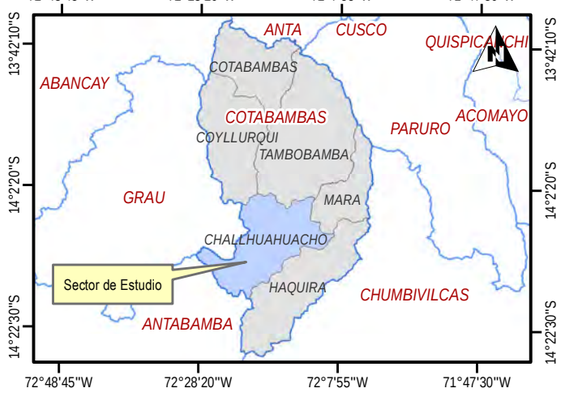
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



Simbologia

Puente

Leyenda

Calado (metros)

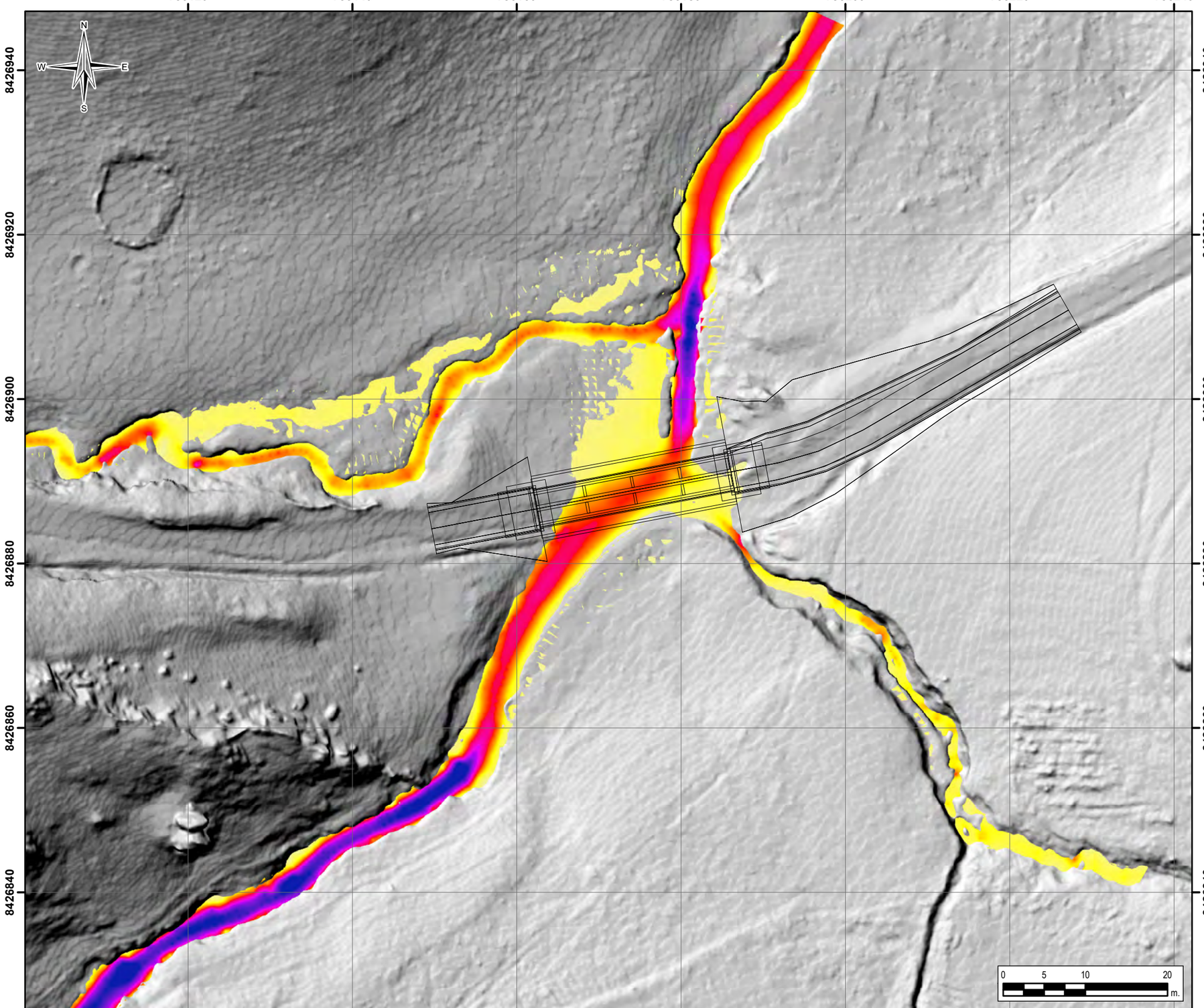
Value

High : 0.95874

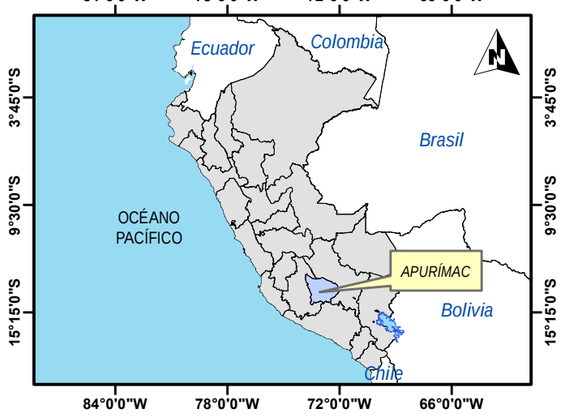
Low : 0.000976563

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA DE CALADO TR=500 AÑOS	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** CAL-500	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 20

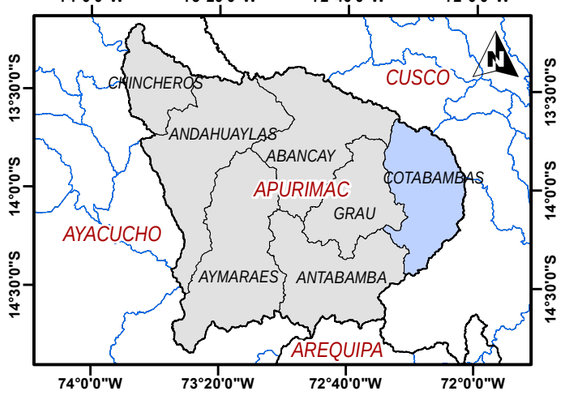
MAPA DE VELOCIDADES MAXIMAS TR=200 AÑOS



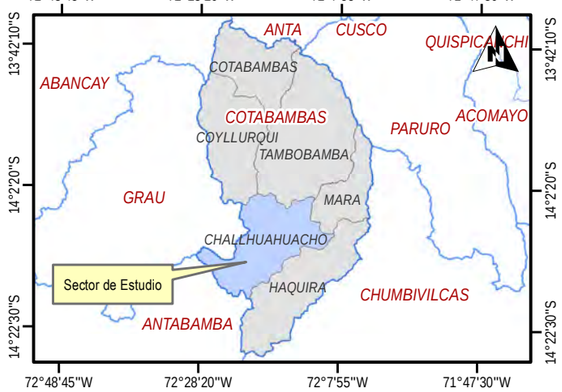
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



Simbologia

Puente

Leyenda

Velocidades maximas (metros/segundo)

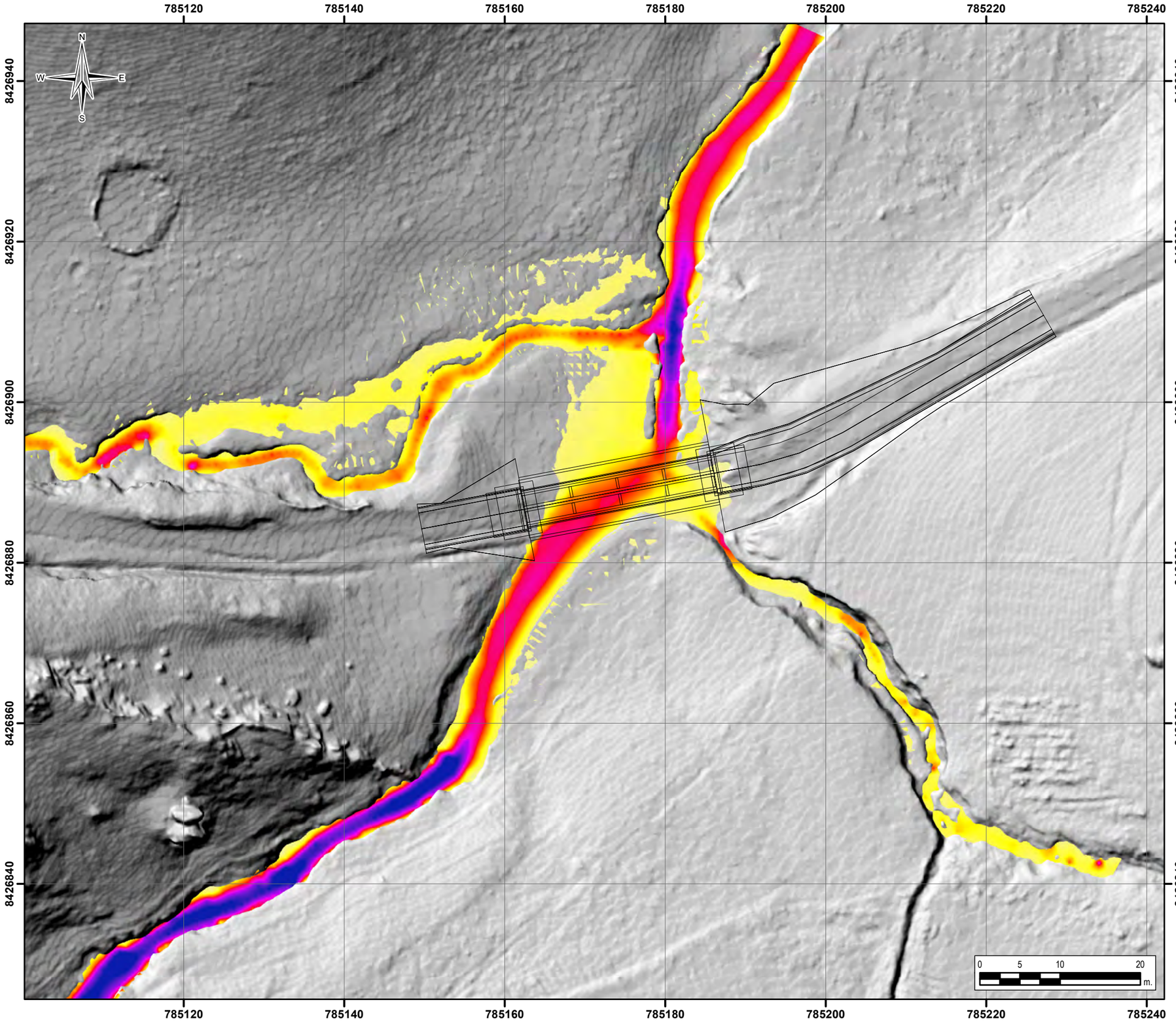
Value

High : 7.39764

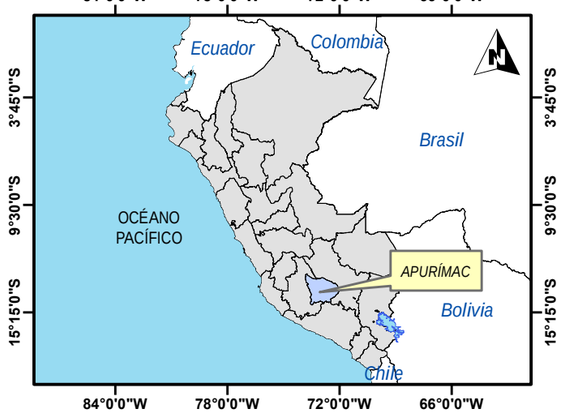
Low : 0.00083033

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA DE VELOCIDAD TR=200 AÑOS	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/500	**SECTOR:** Choccoyo **CÓDIGO:** VEL-200	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 21

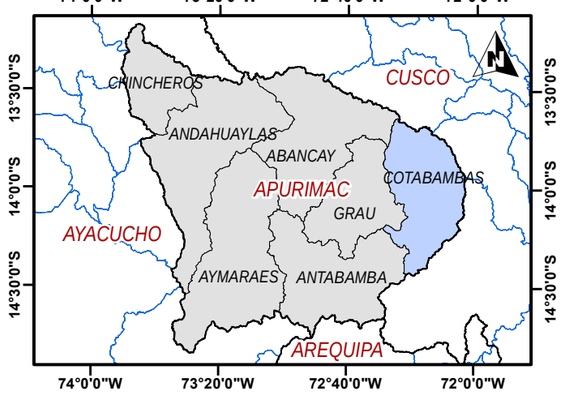
MAPA DE VELOCIDADES MAXIMAS TR=500 AÑOS



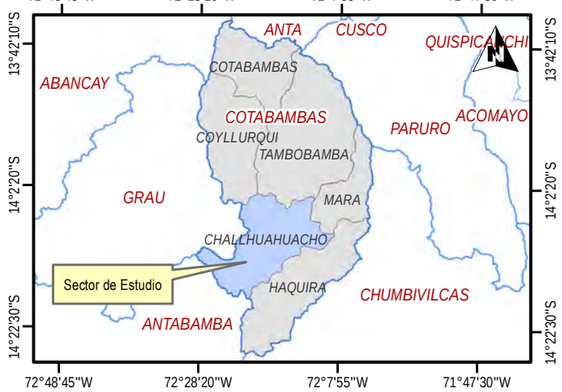
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



Simbologia

Puente

Leyenda

Velocidades maximas (metros/segundo)

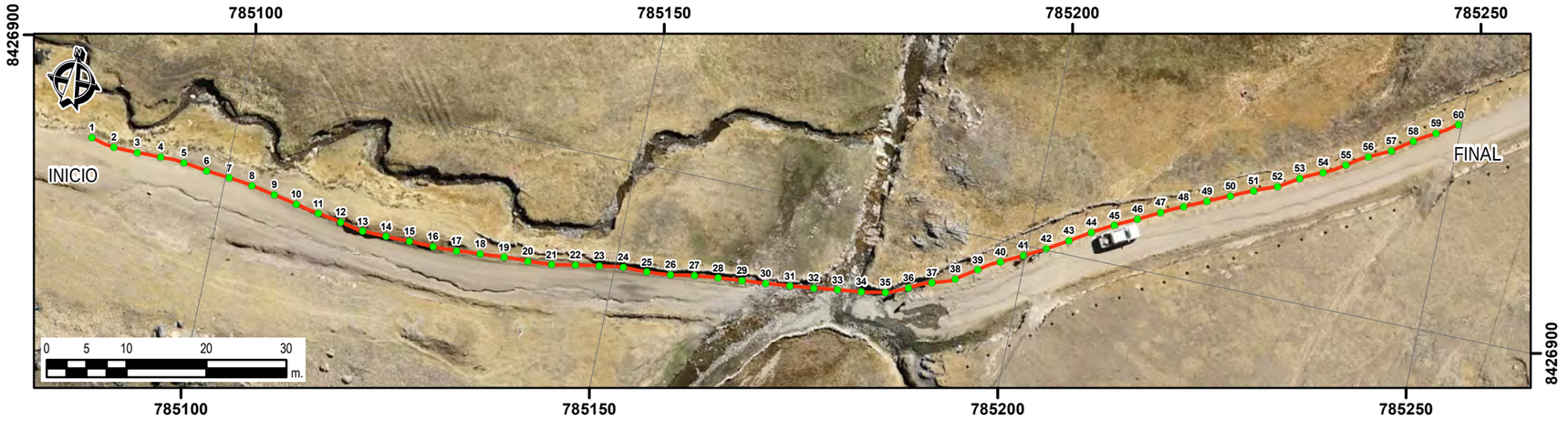
Value

High : 7.82636

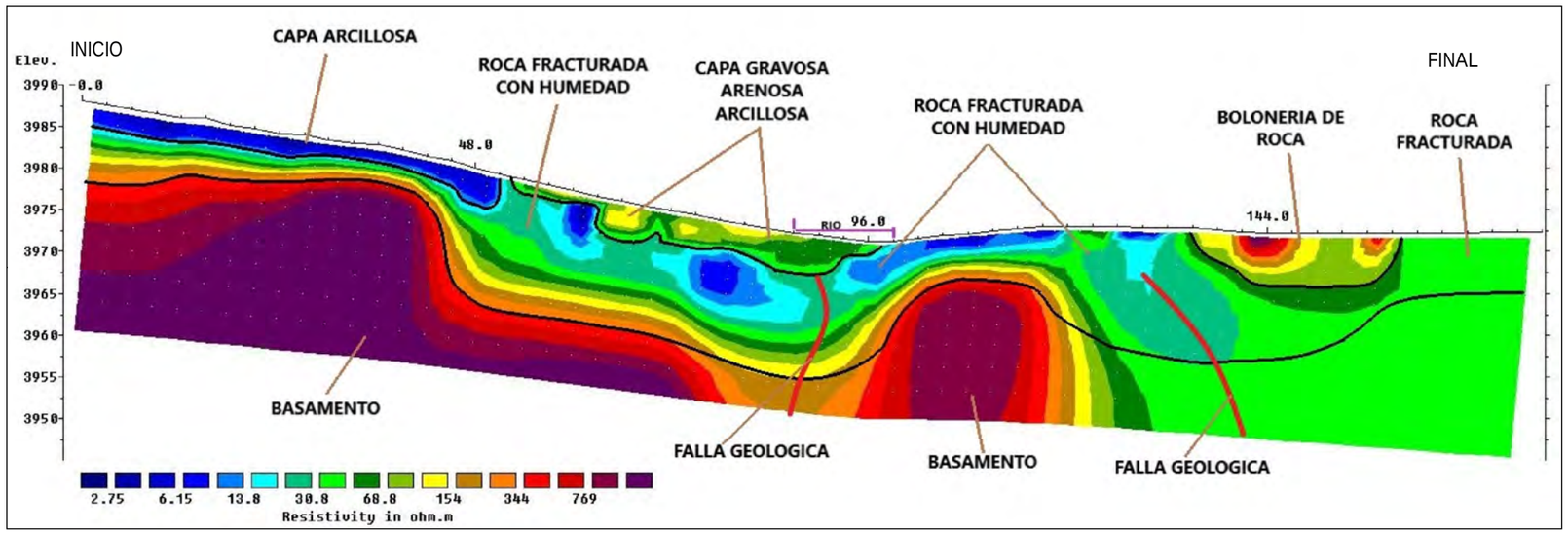
Low : 0.00128681

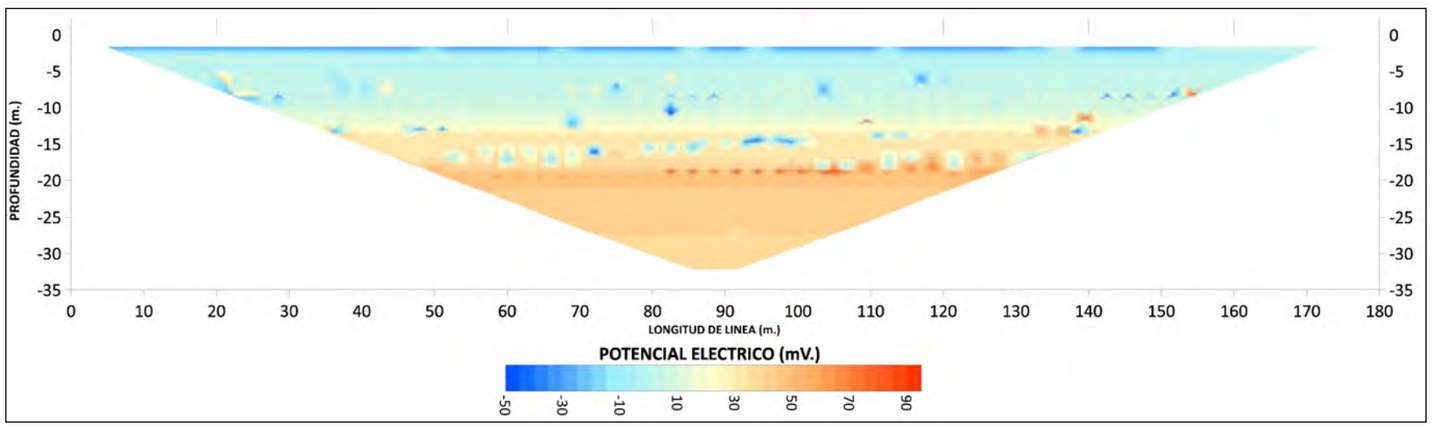
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** MAPA DE VELOCIDAD TR=500 AÑOS	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S	**ESCALA:** 1/500	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 22
			FECHA: JULIO - 2025	**CÓDIGO:** VEL-500				

MAPA DE LINEA DE TOMOGRAFIA ELECTRICA



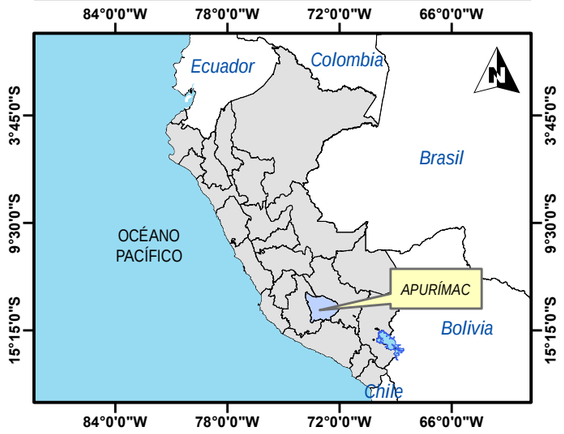
PERFIL GEOFISICO - RESISTIVIDAD ELECTRICA



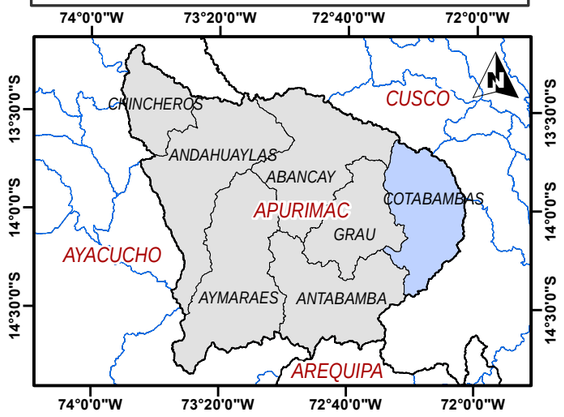


PERFIL GEOFISICO - POTENCIAL ESPONTANEO

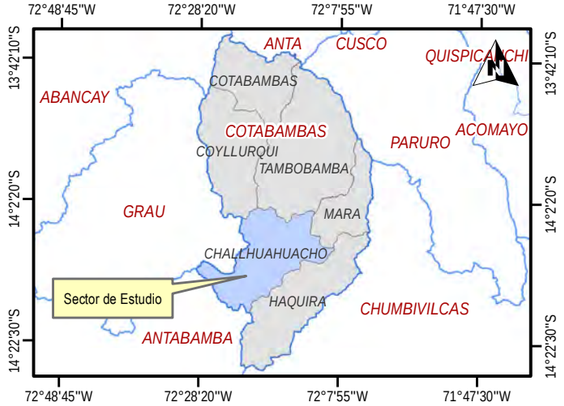
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL

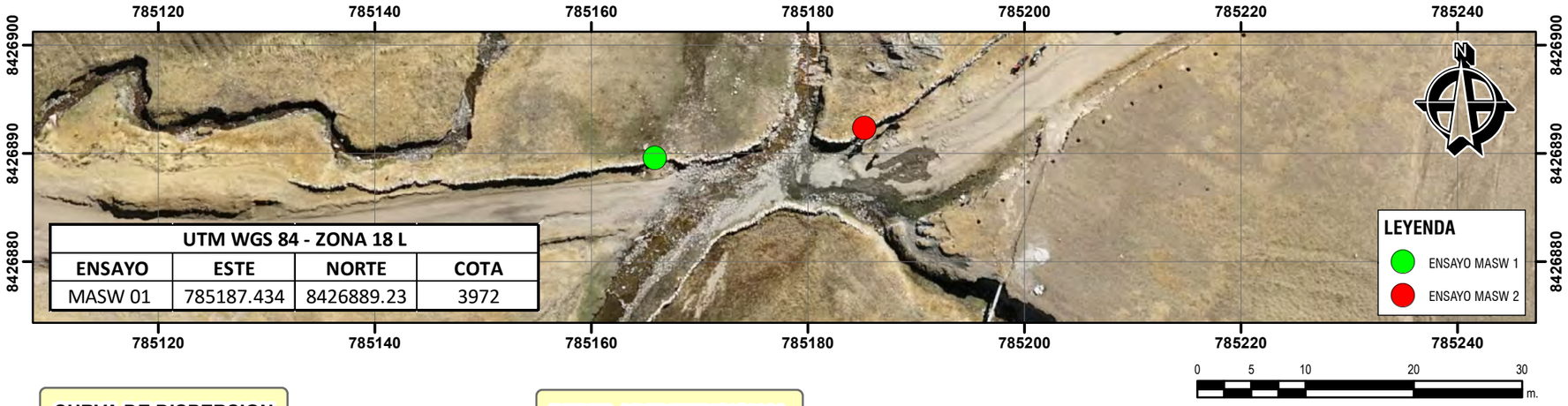


Leyenda

- ELECTRODOS
- TOMOGRAFIA ELECTRICA

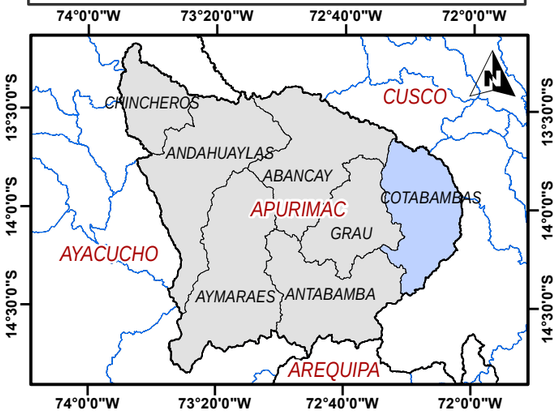
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** TOMOGRAFIA ELECTRICA	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/700 **CÓDIGO:** TRE	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 23

MAPA DE PUNTO DE ENSAYO MASW 01

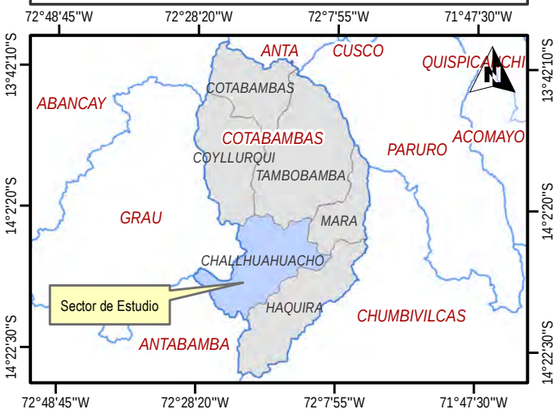


UTM WGS 84 - ZONA 18 L			
ENSAYO	ESTE	NORTE	COTA
MASW 01	785187.434	8426889.23	3972

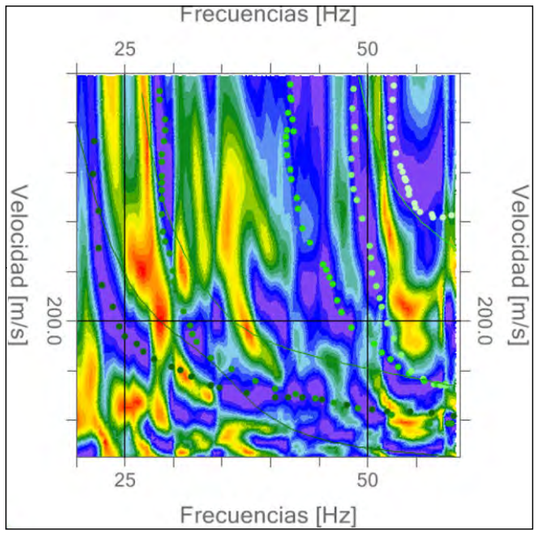
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



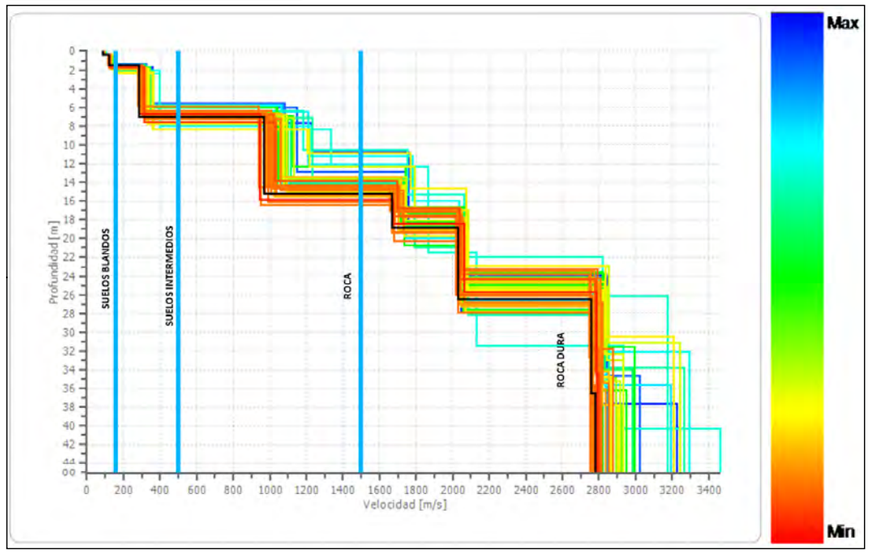
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



CURVA DE DISPERSION



PERFIL UNIDIMENSIONAL



n.	frecuencia [Hz]	Velocidad [m/sec]
1	17.3	664.8
2	18.7	534.5
3	20.2	444.0
4	22.3	389.6
5	24.5	324.5
6	26.8	285.8
7	29.1	252.0
8	32.2	227.9
9	35.0	203.8
10	37.4	189.3
11	40.4	167.6
12	41.7	157.9
13	44.6	138.6
14	47.0	131.4
15	48.9	128.9
16	51.6	119.3
17	53.3	114.5
18	54.8	114.5
19	56.8	112.0
20	58.7	112.0

Tipo	Vs30 (m/s)	Tipo de suelo E 030
S0	>1500	Roca Dura
S1	500-1500	Roca o suelos muy rigidos
S2	180-500	Suelos intermedios
S3	<180	Suelos blandos
S4	Condiciones Excepcionales. Clasif. basada en EMS	

PARAMETROS GEOTECNICOS

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	0.40	0.40	87.90	164.44	1800.00	0.30	13.91	48.67	30.13	36.16	26	12.21
2	1.54	1.14	121.32	226.97	1800.00	0.30	26.49	92.72	57.40	68.88	2	61.68
3	7.04	5.50	283.80	530.95	1800.00	0.30	144.98	507.43	314.12	376.95	>50	>100
4	15.28	8.24	969.33	1813.45	1800.00	0.30	1691.29	5919.51	3664.46	4397.35	>50	>100
5	18.88	3.61	1669.44	3123.24	1800.00	0.30	5016.65	17558.29	10869.42	13043.30	>50	>100
6	26.55	7.66	2032.65	3802.75	1800.00	0.30	7437.03	26029.62	16113.58	19336.29	>50	>100
7	36.55	10.00	2756.75	5157.41	1800.00	0.30	13679.44	47878.04	29638.79	35566.54	>50	>100

G0: Módulo de deformación al corte;
Ed: Módulo edométrico;
M0: Módulo de compresibilidad volumétrica;
Ey: Módulo de Young;

Vs30 (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

Tipo de suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30 (m/s)	N1(60) SPT	Resistencia al corte en condicion no drenada Su
S0	Vs>1500	-	-
S1	500<Vs<1500	> 50	> 100 kPa
S2	180<Vs<500	15 a 60	50 kPa a 100 kPa
S3	Vs<180	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificacion basada en EMS		

Vs30 (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales
N1: Numero de golpes corregidos, en el ensayo SPT

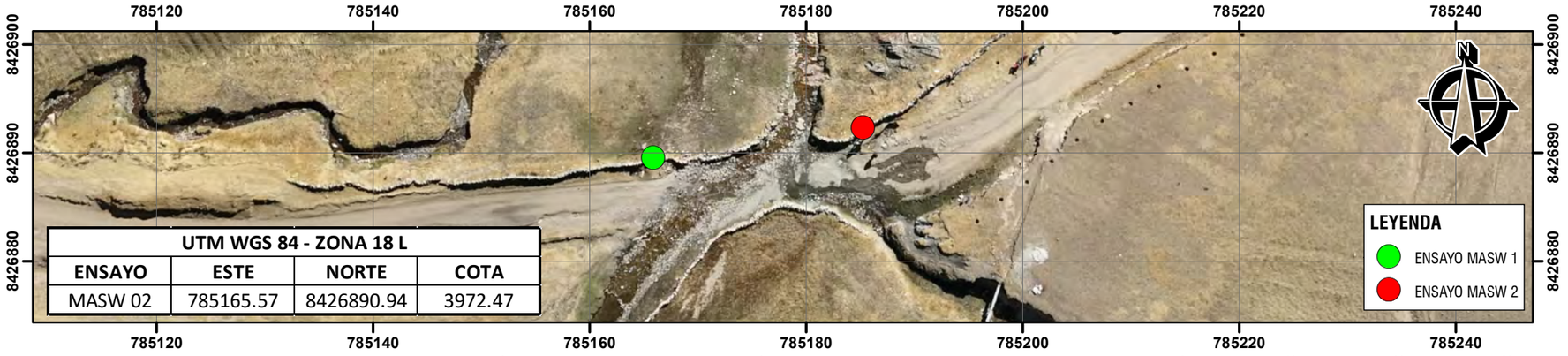
Resultados

Profundidad plano de cimentación [m]	5.00
Vs,30 [m/sec]	583.810
Categoria de suelo	A

Suelo de tipo A: Masas rocosas o suelos muy rigidos caracterizados por valores de Vs,30 superiores a 800 m/s, que eventualmente comprenden en superficie un estrato de alteración, con un espesor máximo de 3m.

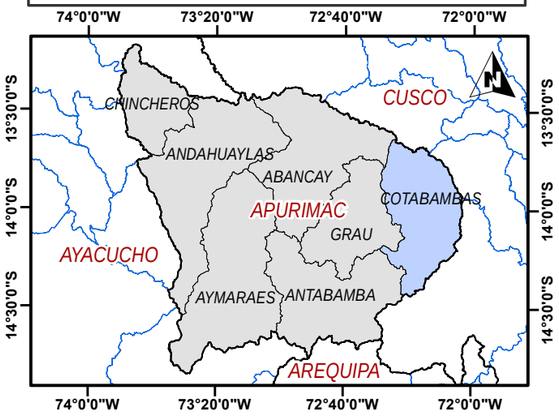
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** ENSAYO MASW 1D	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** MASW-01	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 24

MAPA DE PUNTO DE ENSAYO MASW 02

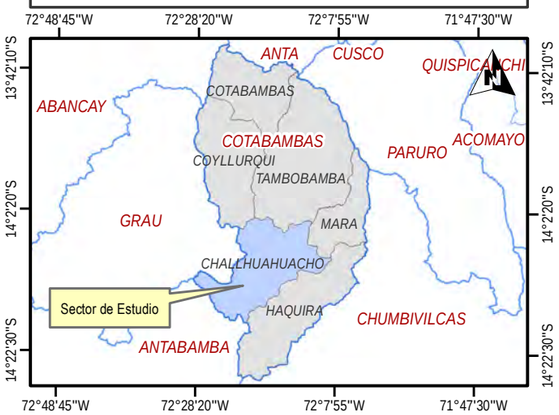


UTM WGS 84 - ZONA 18 L			
ENSAYO	ESTE	NORTE	COTA
MASW 02	785165.57	8426890.94	3972.47

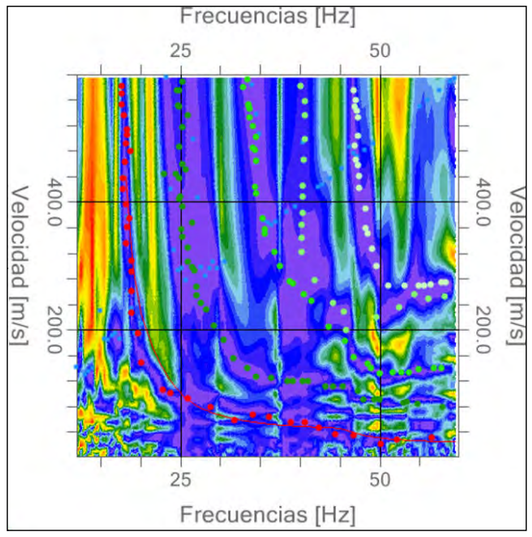
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



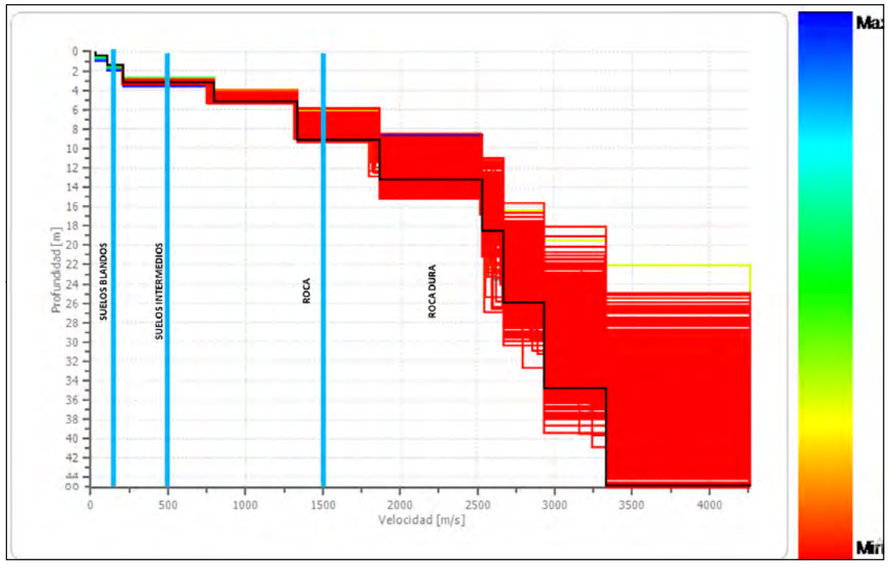
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL



CURVA DE DISPERSION



PERFIL UNIDIMENSIONAL



n.	frecuencia [Hz]	Velocidad [m/sec]
1	17.8	742.1
2	18.8	346.2
3	19.7	261.7
4	20.5	150.7
5	22.6	124.1
6	24.3	100.0
7	26.5	87.9
8	28.0	78.2
9	30.8	63.8
10	33.5	54.1
11	36.0	51.7
12	38.5	54.1
13	40.6	46.9
14	43.1	46.9
15	46.8	42.0
16	49.0	37.2
17	51.5	37.2
18	53.5	30.0
19	56.7	22.7
20	58.7	25.1

Tipo	Vs30 (m/s)	Tipo de suelo E 030
S0	>1500	Roca Dura
S1	500-1500	Roca o suelos muy rigidos
S2	180-500	Suelos intermedios
S3	<180	Suelos blandos
S4	Condiciones Excepcionales. Clasif. basada en EMS	

PARAMETROS GEOTECNICOS

n.	Profundidad [m]	Espesor [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densidad [kg/mc]	Coeficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	0.40	0.40	29.33	54.88	1800.00	0.30	1.55	5.42	3.36	4.03	0	0.05
2	1.40	1.00	106.67	199.56	1800.00	0.30	20.48	71.68	44.37	53.25	5	32.30
3	3.21	1.81	208.00	389.13	1800.00	0.30	77.88	272.56	168.73	202.48	19	926.15
4	5.21	2.00	799.98	1496.63	1800.00	0.30	1151.95	4031.81	2495.88	2995.06	>50	>1000
5	9.21	4.00	1333.33	2494.44	1800.00	0.30	3200.00	11200.00	6933.33	8320.00	>50	>1000
6	13.32	4.11	1866.67	3492.21	1800.00	0.30	6272.00	21952.00	13589.33	16307.20	>50	>1000
7	18.58	5.26	2533.33	4739.43	1800.00	0.30	11552.00	40432.00	25029.33	30035.20	>50	>1000
8	26.03	7.45	2666.67	4988.88	1800.00	0.30	12800.00	44800.00	27733.33	33280.00	>50	>1000
9	34.88	8.85	2933.33	5487.76	1800.00	0.30	15488.00	54208.00	33557.33	40268.80	>50	>1000

G0: Módulo de deformación al corte;
Ed: Módulo edométrico;
M0: Módulo de compresibilidad volumétrica;
Ey: Módulo de Young;

Vs30 (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales

Tipo de suelo	Velocidad de ondas de corte Vs30 (m/s)	N1(60) SPT	Resistencia al corte en condicion no drenada Su
S0	Vs>1500	-	-
S1	500<Vs<1500	> 50	> 100 kPa
S2	180<Vs<500	15 a 60	50 kPa a 100 kPa
S3	Vs<180	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificacion basada en EMS		

Vs30 (m/s): Velocidad promedio de ondas de corte en los 30 m más superficiales
N1: Numero de golpes corregidos, en el ensayo SPT

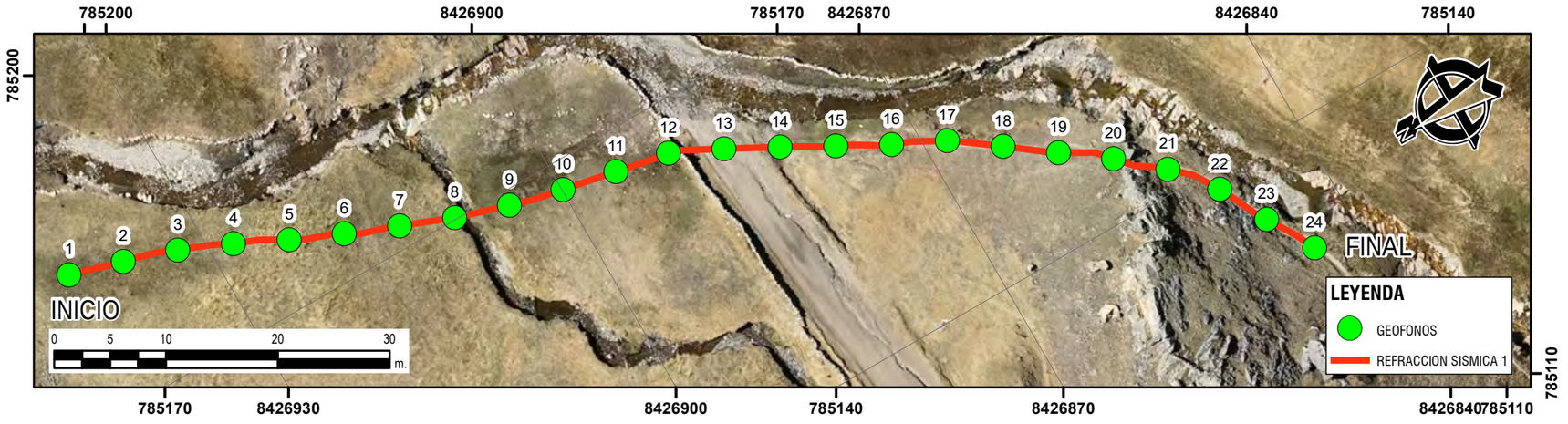
Resultados

Profundidad plano de cimentación [m]	3.00
Vs,30 [m/sec]	*674.010*
Categoria de suelo	A

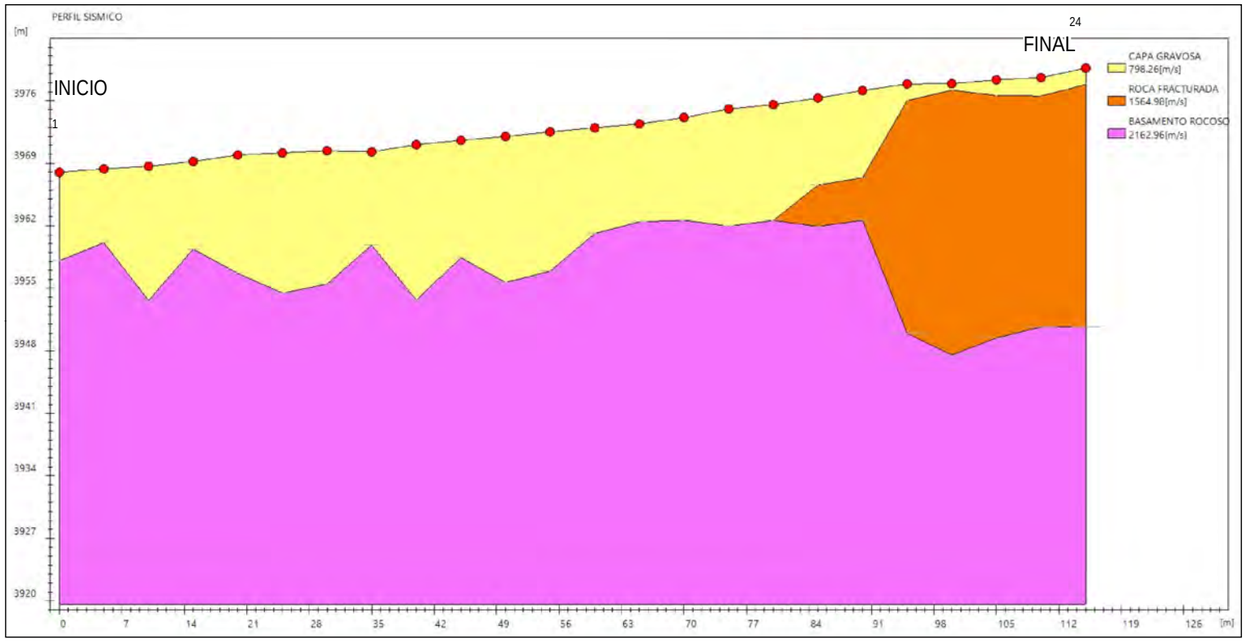
Suelo de tipo A: Masas rocosas o suelos muy rigidos caracterizados por valores de Vs,30 superiores a 800 m/s, que eventualmente comprenden en superficie un estrato de alteración con un espesor máximo de 3m.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** ENSAYO MASW 1D	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** MASW-02	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 25

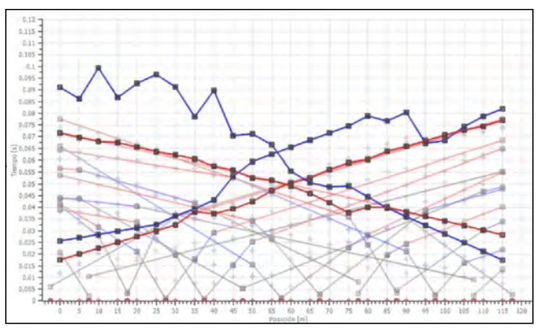
MAPA DE LINEA DE REFRACCION SISMICA 01



COMPORTAMIENTO MORFOLOGICO DE REFRACTORES - PERFIL



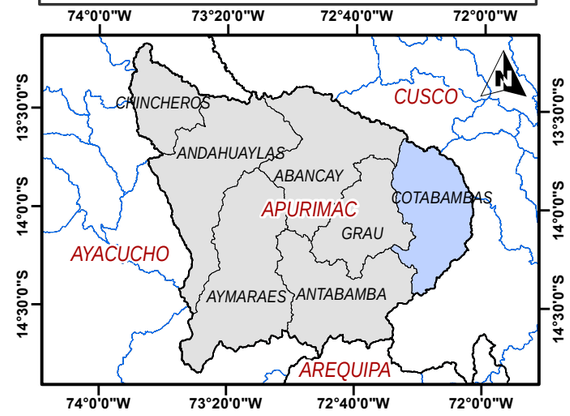
DOMOCRONAS ELABORADAS



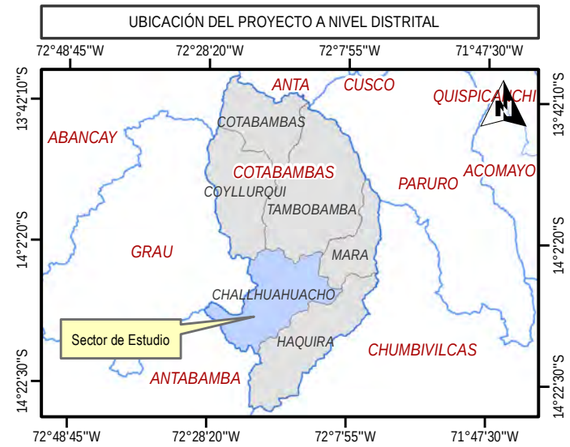
PARAMETROS GEOTECNICOS

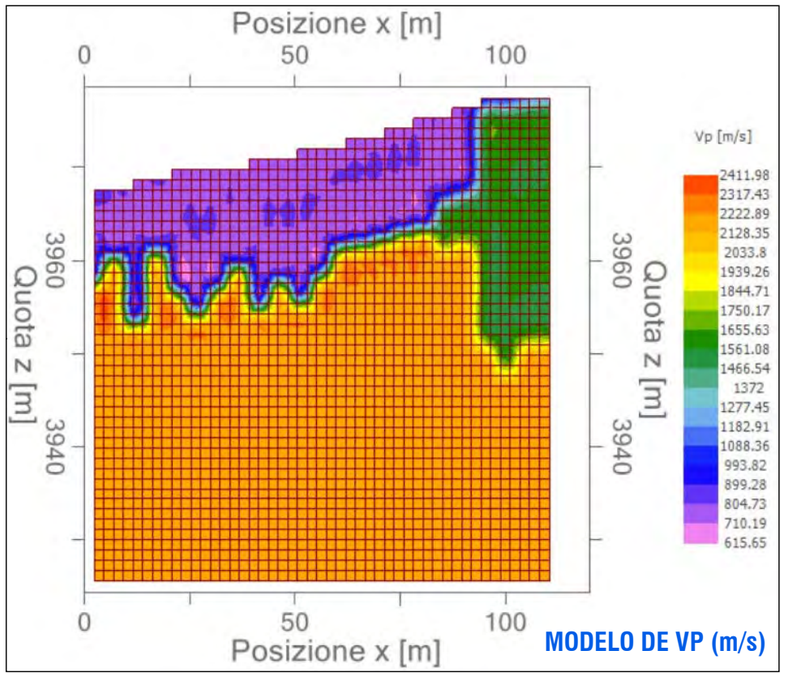
	Estrato n. 1	Estrato n. 2	Estrato n. 3
Coeficiente Poisson	0.35	0.35	0.35
Densidad [kg/m³]	1815.42	2063.13	2193.96
Vp [m/s]	798.26	1564.98	2162.96
Vs [m/s]	384.45	751.79	1039.05
G0 [MPa]	266.05	1017.34	1943.34
Ed [Mpa]	1146.99	4408.47	8421.14
M0 [MPa]	880.94	3391.13	6477.80
Ey [Mpa]	717.79	2746.81	5247.02

UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL

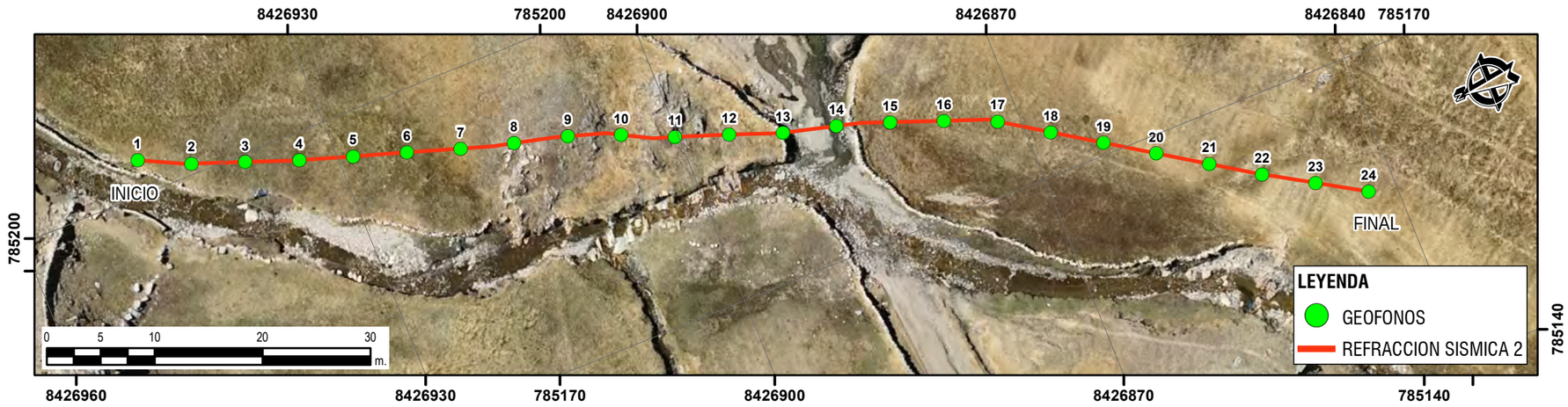




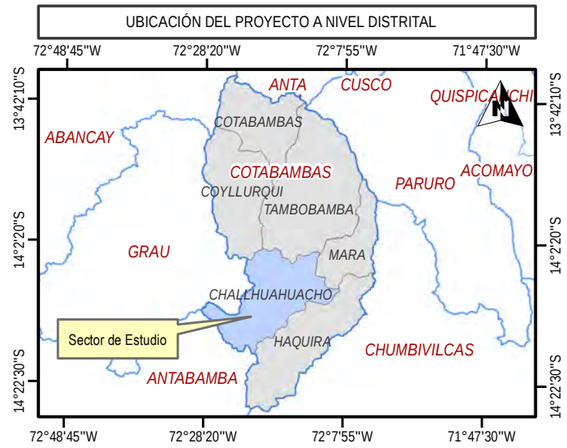
MODELO DE VP (m/s)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** ENSAYO REFRACCION SISMICA	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** RS-01	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 26

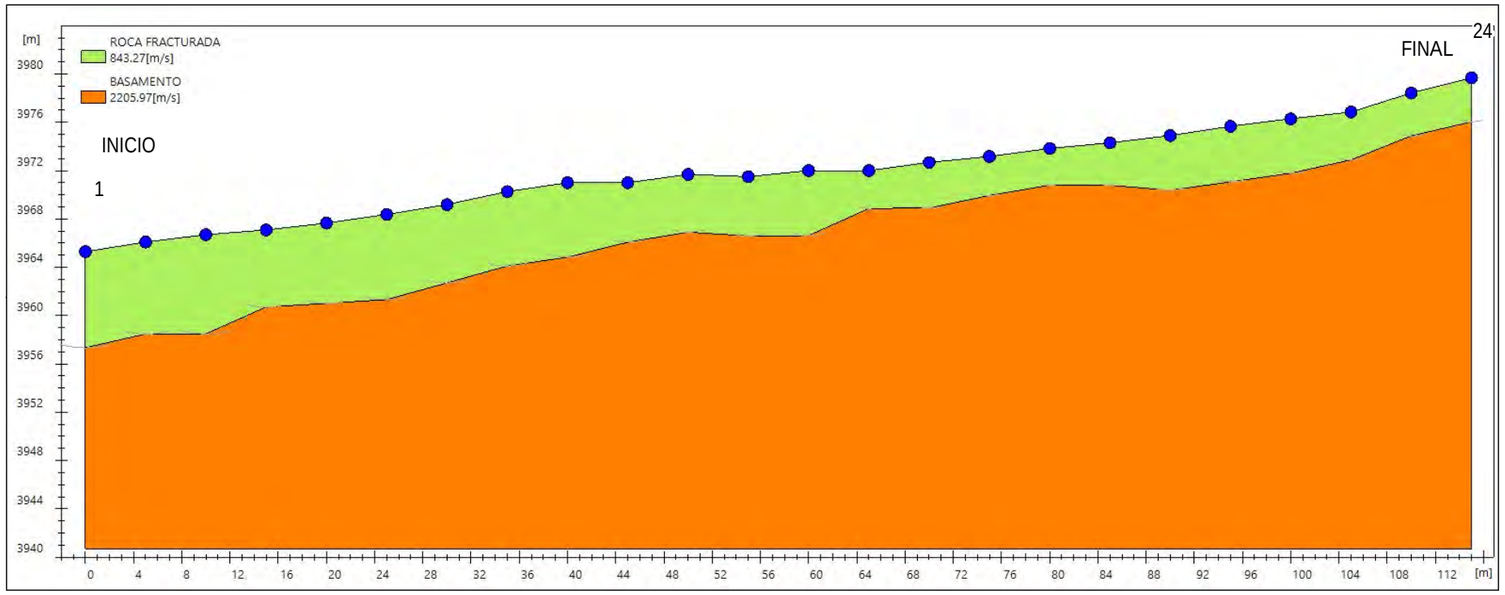
MAPA DE LINEA DE REFRACCION SISMICA 02



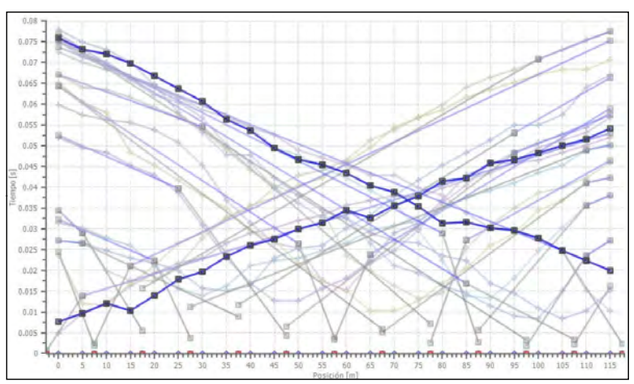




COMPORTAMIENTO MORFOLOGICO DE REFRACTORES - PERFIL

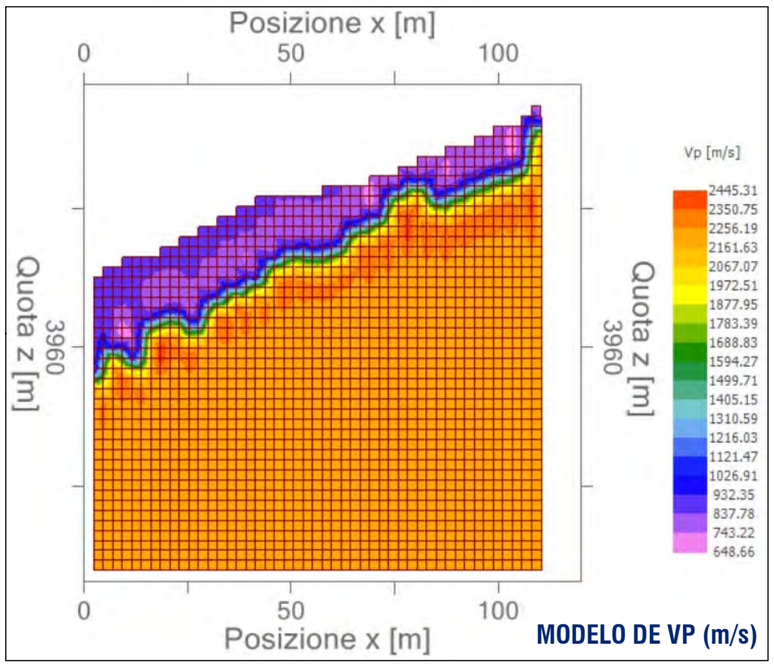


DOMOCRONAS ELABORADAS



PARAMETROS GEOTECNICOS

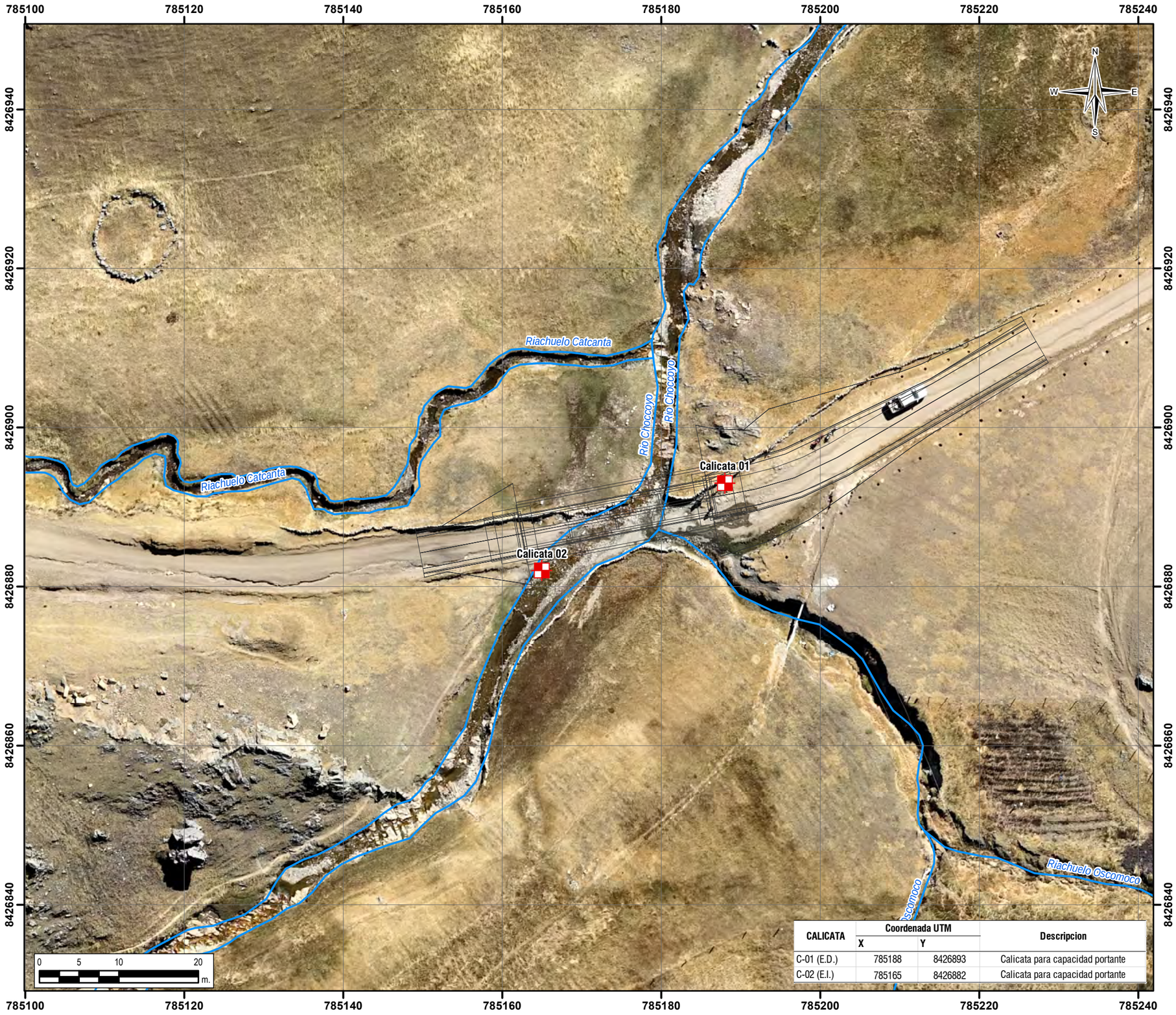
	Estrato n. 1	Estrato n. 2
Coeficiente Poisson	0.35	0.35
Densidad [kg/m³]	1834.44	2202.19
Vp [m/s]	843.27	2205.97
Vs [m/s]	405.09	1059.71
G0 [MPa]	295.38	2021.39
Ed [Mpa]	1279.98	8759.36
M0 [MPa]	984.60	6737.97
Ey [Mpa]	797.52	5457.75



MODELO DE VP (m/s)

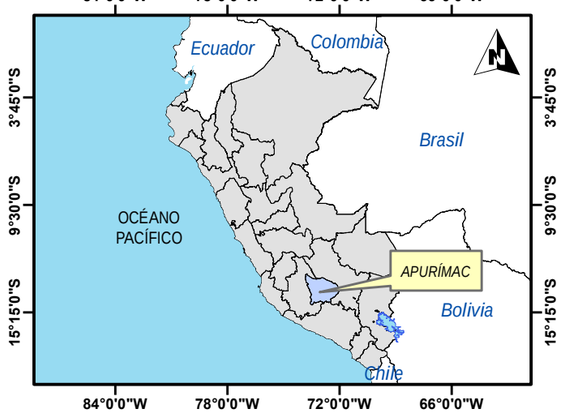
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** ENSAYO REFRACCION SISMICA	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** JULIO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** RS-02	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 27

MAPA DE UBICACION DE CALICATAS

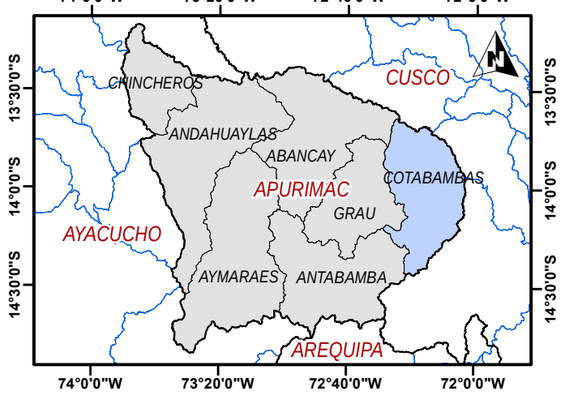


CALICATA	Coordenada UTM		Descripcion
	X	Y	
C-01 (E.D.)	785188	8426893	Calicata para capacidad portante
C-02 (E.I.)	785165	8426882	Calicata para capacidad portante

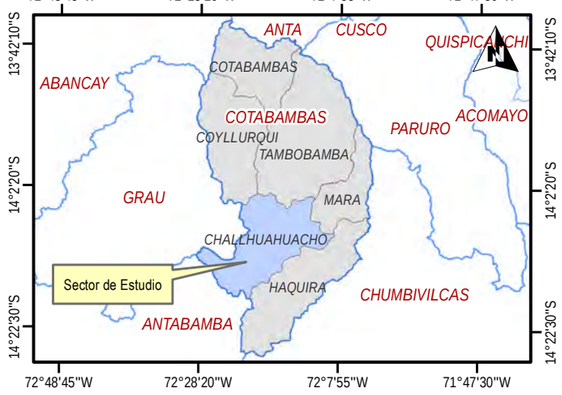
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL

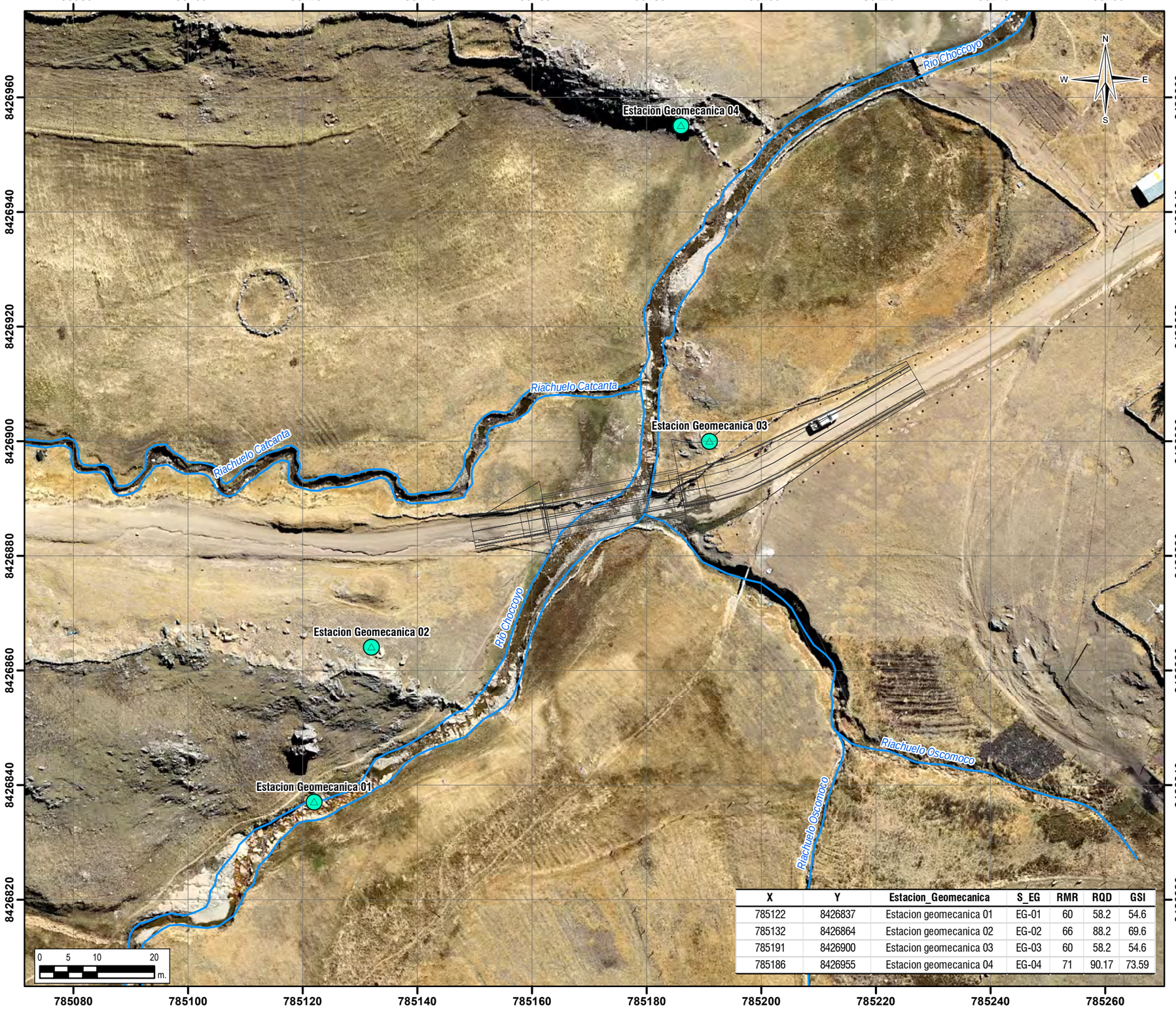


Simbologia

- *Puente*
- *Rios*
- *Calicatas*

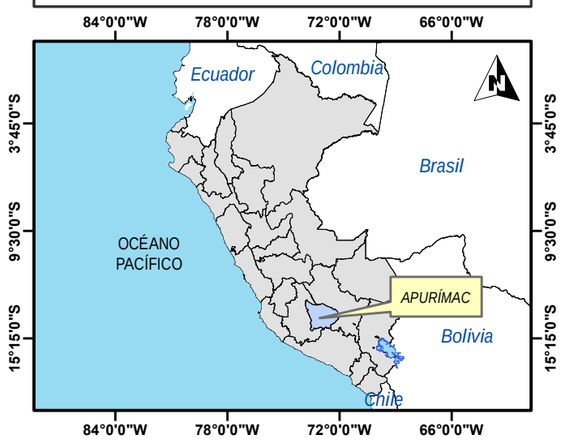
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** UBICACION DE CALICATAS	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** ENERO - 2025	**ESCALA:** 1/500 **CÓDIGO:** UBI-CA	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 28

MAPA DE UBICACION DE ESTACIONES GEOMECANICAS

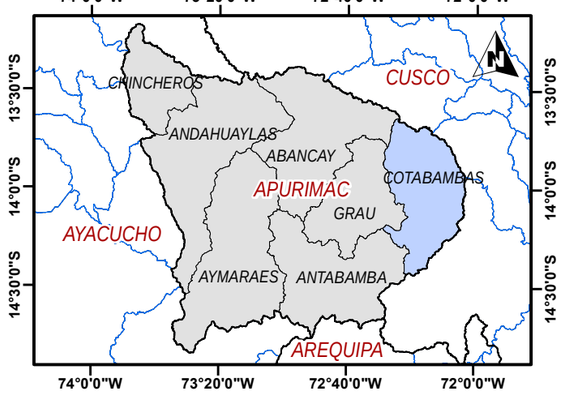


X	Y	Estacion_Geomecanica	S_EG	RMR	RQD	GSI
785122	8426837	Estacion geomecanica 01	EG-01	60	58.2	54.6
785132	8426864	Estacion geomecanica 02	EG-02	66	88.2	69.6
785191	8426900	Estacion geomecanica 03	EG-03	60	58.2	54.6
785186	8426955	Estacion geomecanica 04	EG-04	71	90.17	73.59

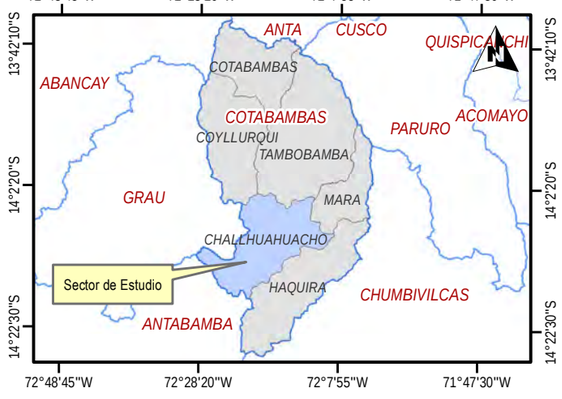
UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DEPARTAMENTAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL PROVINCIAL



UBICACIÓN DEL PROYECTO A NIVEL DISTRITAL

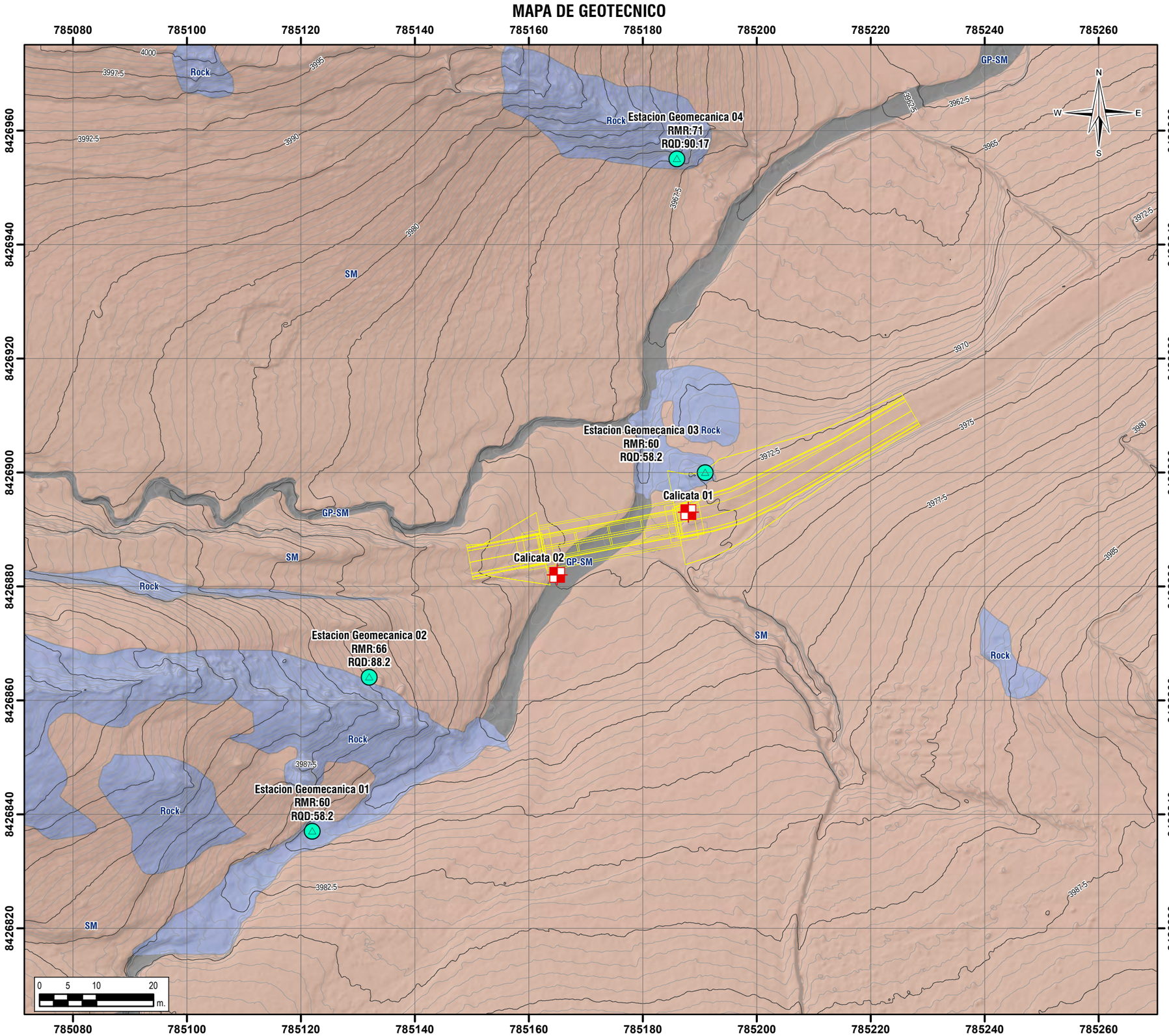


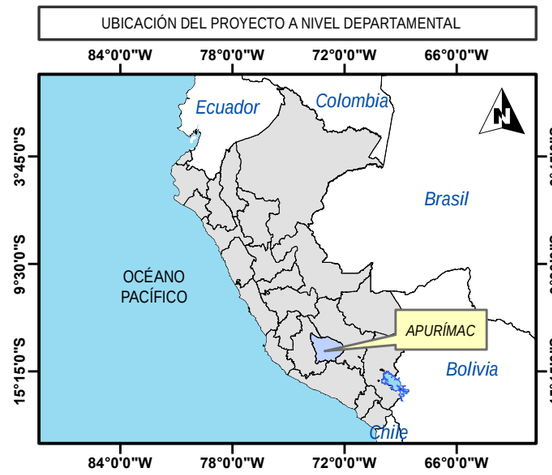
Simbologia

- Estaciones Geomecanicas
- Puente propuesto
- Rios

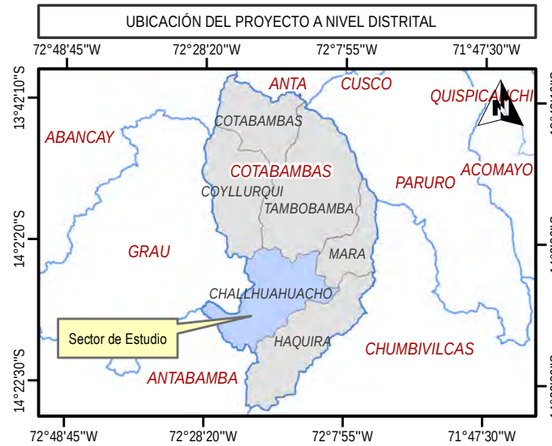
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	**TESIS:** ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC	**PLANO:** UBICACION DE ESTACIONES GEOMECANICAS	**SISTEMA DE COORDENADAS:** - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S **FECHA:** ENERO - 2025	**ESCALA:** 1/700 **CÓDIGO:** UBI-EG	**SECTOR:** Choccoyo	**ELABORADO POR:** Br. Yabar Casafranca Lisbeth, Br. Sotomayor Molina Yennyfer **ASESOR:** Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina	**UBICACION POLITICA:** **DISTRITO:** CHALLHUAHUACHO **PROVINCIA:** COTABAMBAS **REGION:** APURIMAC	**MAPA:** 29

MAPA DE GEOTECNICO









Simbologia

- Estaciones Geomecanicas
- Calicatas
- Puente propuesto
- Curvas de nivel 2.5m
- Curvas de nivel 0.5m

Leyenda

Unidades geotecnicas

- Rock, Roca
- SM, Arena Limosa
- GP-SM, Gravas con arenas limosas pobremente gradadas

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: MAPA GEOTECNICO

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/700

SECTOR: Choccoyo

FECHA: ENERO - 2025

CÓDIGO: GEOTEC

ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

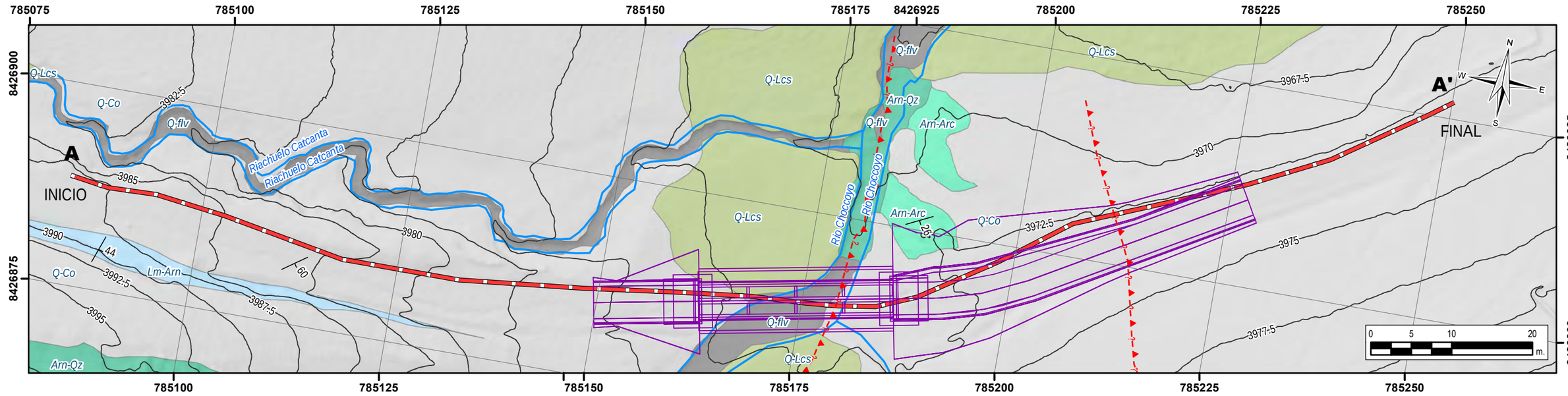
ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

MAPA: 30

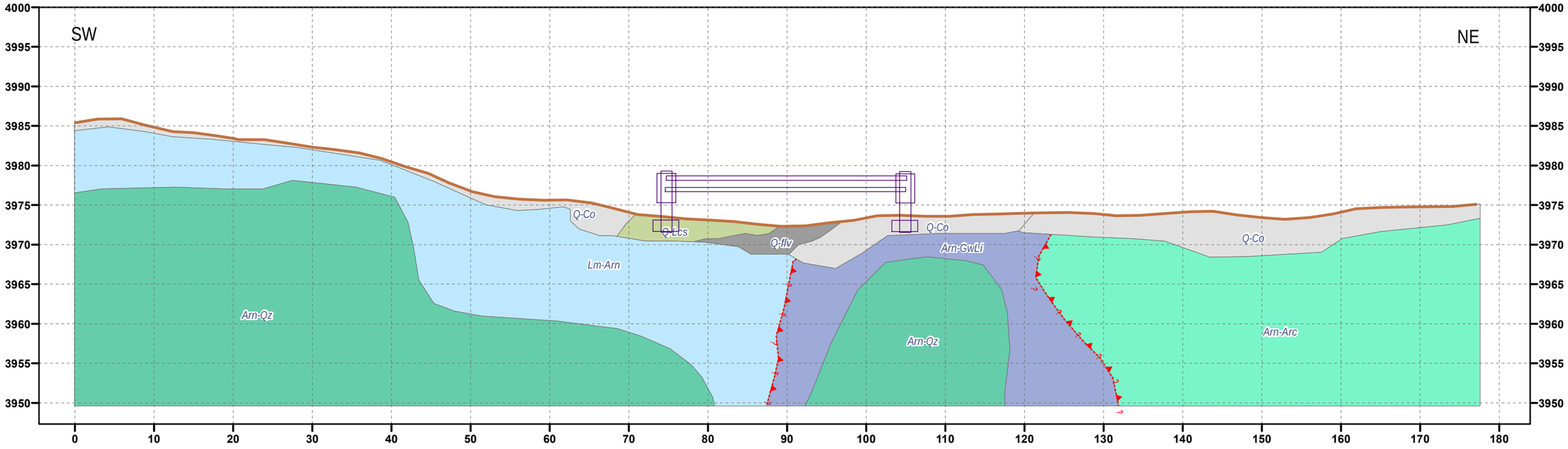
SECCIONES

SECCION GEOLOGICA LOCAL DE ACUERDO A TRE



VISTA EN PLANTA 2D

SECCION A-A'



Simbologia
- Estratificaciones
- ?Fallas
- Puente
- Curvas 2.5m
- Rios

Leyenda

Unidades Geologicas Locales
- Q-Co, Depositos Coluviales
- Q-Lcs, Depositos Lacustres
- Q-flv, Depositos Fluviales
- T-CL, Tuff de Ceniza y Lapilli

Areniscas
- Arn-Arc, Arcosas
- Arn-GwLi, Gravacas Liticas
- Arn-Qz, Cuarzoarenitas
- Lm-Arn, Litoarenitas

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

TESIS: ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

PLANO: SECCION GEOLOGICA

SISTEMA DE COORDENADAS: - UTM WGS 1984 - ZONA 18 S

ESCALA: 1/500

SECTOR: Choccoyo

FECHA: ENERO - 2025

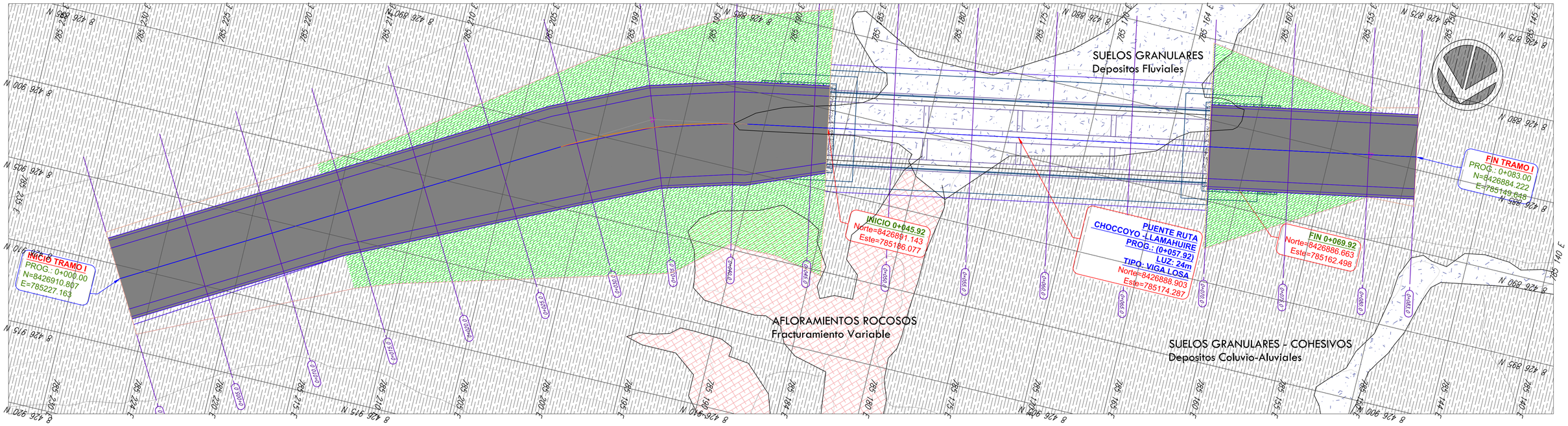
CÓDIGO: SEC1-GEO

ELABORADO POR: Br. Yabar Casafranca Lisbeth; Br. Sotomayor Molina Yennyfer

ASESOR: Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

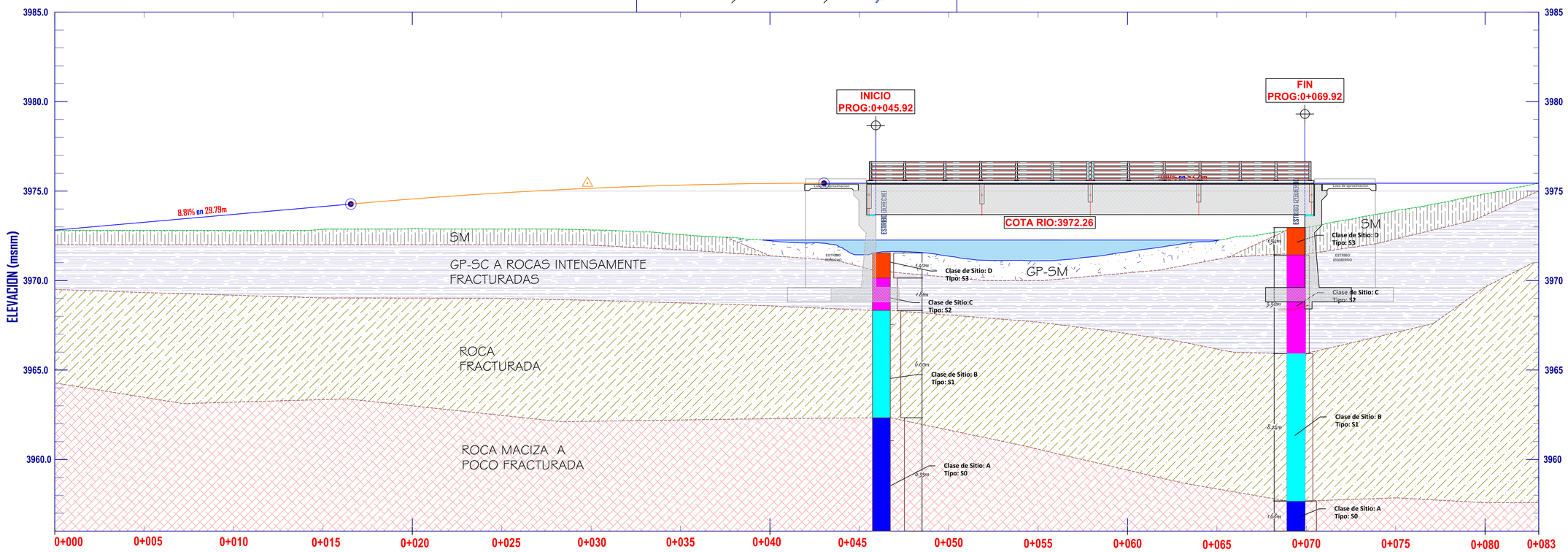
UBICACION POLITICA:
DISTRITO: CHALLHUAHUACHO
PROVINCIA: COTABAMBAS
REGION: APURIMAC

SECCION: 01



PERFIL GEOTECNICO

Esc. H = 1/200 - Esc. V = 1/200 → Exag. 1m



Secciones Transversales
Escala : 1/125

Metros
5 0 5 10
1:125

SECCION GEOTECNICA
Inferida a partir del estudio geofisico y Geotecnico

PLANO:
SECCION GEOTECNICA

PLANO
SG-01

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ASESOR:
Mgt. Escalante Gutiérrez Josefina

ELABORADO POR:
Br. Yabar Casafranca Lisbeth
Br. Sotomayor Molina Yennyfer

PROYECTO DE INVESTIGACION:
ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO E HIDROLÓGICO PARA LA UBICACIÓN DEL PUENTE CHOCCOYO-LLAMAHUIRE DE LA COMUNIDAD DE CHOCCOYO, DISTRITO DE CHALLHUAHUACHO, PROVINCIA COTABAMBAS, DEPARTAMENTO DE APURIMAC

CUADRO DE GEORREFERENCIADO
SISTEMA DE CORDENADAS: UTM
DATUM: WGS 84
ZONA UTM: 18 SUR
CUADRICULA: L

LOCALIZACION:
REGION : APURIMAC
PROVINCIA : COTABAMBAS
DISTRITO : CHALLHUAHUACHO

LUGAR: C.C. CHOCCOYO

FECHA: AGOSTO 2025

ESCALA: INDICADA