

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE
RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC,
DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE
CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. PAMELA SEGUNDO ARAUJO

Br. SOSHIRE MASHIEL TINAJEROS MARTINEZ

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

Dr. FREDY VÍCTOR BUSTAMANTE PRADO

CUSCO-PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Caracterización Geológica - Geotécnica para la Construcción de Reservorios del Sistema de Riego en la Comunidad de Callatiac, Distrito de Quiquijana, Provincia de Quispicanchi, Departamento de Cusco

Presentado por: Pamela Segundo Araujo DNI N° 73953041
presentado por: Soshire Mashel Tinajeros Martinez DNI N°: 72032799
Para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Geólogo

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

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

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

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

Cusco, 21 de Mayo de 2025

Fredy Víctor Bustamante Prado

Firma

Post firma Fredy Víctor Bustamante Prado

Nro. de DNI 29457667

ORCID del Asesor Orcid.org/0000-0001-6291-7541

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 272590442263896

Pamela Segundo

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE.pdf



Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:442263896

Fecha de entrega

24 mar 2025, 6:39 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

1 abr 2025, 12:42 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE.pdf

Tamaño de archivo

16.4 MB

218 Páginas

29.926 Palabras

199.619 Caracteres

10% Overall Similarity

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

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 10 words)

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 1%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Replaced Characters**
29 suspect characters on 14 pages
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.

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

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



DEDICATORIAS

Este presente trabajo está dedicado a mis padres, A mi mama Libia Araujo Gamarra por inculcarme valores, integridad y sobre todo darme el ejemplo de la Pureza, a mi papa Benjamín Segundo Pinto por enseñarme a creer en uno mismo, constancia y perseverancia, a pesar de que las personas crean todo lo contrario y las dificultades persistan.

Agradezco a DIOS y a mi novio Fernando por ser mi soporte emocional, espiritual, por nunca dejarme sola, por ser mi fuente de vida, por cuidarme, protegerme y sobre todo darme Amor incondicional.

Atte. Pamela Segundo Araujo

Quiero dedicar unas palabras de agradecimiento a cada uno de ustedes, quienes han sido mi apoyo incondicional a lo largo de este camino académico.

Primero que nada, quisiera agradecer a Dios. Él me ha dado fuerza y aliento durante todos los momentos difíciles de completar esta tesis. Estoy verdaderamente agradecido por Su amor, misericordia y gracia incondicionales e infinitos.

A mis queridos padres, Gloria Martinez Barazorda y Roger Tinajeros Zavala, agradezco infinitamente su amor, paciencia, constante motivación, ser mi ejemplo de perseverancia y arduo trabajo. Ustedes siempre creyeron en mí. Su presencia y sus palabras de aliento han sido el motor que me impulsó a continuar, sin ustedes no habría llegado tan lejos. Este logro también es de ustedes.

A mis hermanas, quienes fueron mi apoyo en este transcurso de mi vida, sus consejos y las palabras de aliento me ayudaron a mantenerme enfocado en mis objetivos y han sido un recordatorio constante de cuánto me aman y se preocupan por mi éxito.



A mi esposo Deyvis, agradezco tu apoyo incondicional y tus palabras de aliento cuando la carga se volvía pesada. Siempre supe que podía contar contigo.

A mi querido hijo David, a quien amo con todas mis fuerzas fue mi máxima motivación para salir adelante, tu compañía, tus risas y tus llantos me dieron fuerza a seguir cumpliendo mis objetivos, gracia hijo mío por llegar a mi vida, eres y siempre serás mi mayor motivación y el gran amor de mi vida.

A todos ustedes, mi amada familia, les dedico este fruto. Esta investigación no solo es la consecuencia de mi empeño, sino que además es por su amor incondicional, dedicación y creencia en mí. No hay palabras adecuadas para manifestar mi agradecimiento por todo lo que han hecho por mí.

Con todo mi amor y agradecimiento.

Atte. Soshire Tinajeros Martinez



AGRADECIMIENTOS

Mi reconocimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco mi alma mater, a toda la escuela profesional de Ingeniería Geológica, a mis docentes, quienes con su formación han hecho posible que me desarrolle cada día como un gran profesional. Al Mgt. Ing. Fredy Victor Bustamante Prado, asesor de tesis, por su apreciada guía y asesoramiento en la realización del presente trabajo de estudio.

A mi compañera de tesis Pamela Segundo Araujo y al Ingeniero Carlos Lopez De La Torre por su apoyo constante en el desarrollo de la tesis.

Atte. Soshire Tinajeros Martinez



RESUMEN

El lugar de estudio con respecto a la geomorfología regional se ubica en la cordillera oriental, mientras que en la geomorfología local: Laderas de montaña con pendiente muy empinada a escarpada (Ldm-PmeE), Laderas de montaña con pendiente moderada a empinada (Ldm-Pme), Laderas de montaña con pendiente llano a inclinado (Ldm-Plli) y Cauce de Drenaje (Cd/Cdr). Con respecto a la geología regional se localiza sobre la Formación Ananea, por otra parte, en la geología local se identificaron 5 unidades predominantes en la zona de estudio, que son: Pizarras (Rmet-Pzr) pertenecientes a la Formación Ananea, Depósitos Coluvio Aluviales(Q-CoAl), Depósitos Coluviales(Q-Co), Depósitos Lacustres(Q-lcs) y Depósitos Fluviales (Q-flv). En cuanto a la geología estructural regional el área de proyecto se ubica entre el sistema de falla Urcos y Pitucancha, mientras que en cuanto a la geología estructural local se identificó 1 falla, por medio de 1 estación estructural, identificado por indicadores cinemáticos como estrías de fallas, que describen movimiento de rumbo Dextral y con cinemática vertical Inversa. Esta manifestación de microfalla se encuentra al Sur dentro de la calicata 04 en el área proyectada para el reservorio 04 también se infirieron fallas geológicas por medio de las tomografías eléctricas. Las esquistosidades se describieron por medio del análisis estereográfico, donde los planos de esquistosidad son variables, y por la roseta estructural poseen un rumbo NE-SW, finalmente podemos concluir que los planos de esquistosidad se subcategorizan en 5 agrupaciones diferentes. De acuerdo a la clasificación de 4 macizos rocosos, se determinó que poseen media a mala calidad en el RMR básico de Bieniawski con valores de 40 y 44, GSI con valores de 24.08 y 30.08. Los fenómenos de geodinámica externa para este proyecto son erosiones fluviales, asentamientos de terreno y deslizamientos.

Palabras claves: Recurso hídrico, capacidad admisible, reservorios, parámetros geotécnicos.



ABSTRACT

The study area with respect to regional geomorphology is located in the eastern mountain range, while in local geomorphology: Mountain slopes with very steep to steep slopes (Ldm-PmeE), Mountain slopes with moderate to steep slopes (Ldm-Pme), Mountain slopes with flat to inclined slopes (Ldm-Plli) and Drainage Channel (Cd/Cdr). Regarding regional geology, it is located on the Ananea Formation, on the other hand, in local geology, 5 predominant units were identified in the study area, which are: Slates (Rmet-Pzr) belonging to the Ananea Formation, Colluvio-Alluvial Deposits (Q-CoAl), Colluvial Deposits (Q-Co), Lacustrine Deposits (Q-lcs) and Fluvial Deposits (Q-flv). Regarding the regional structural geology, the project area is located between the Urcos and Pitucancha fault systems, while regarding the local structural geology, 1 fault was identified, by means of 1 structural station, identified by kinematic indicators such as fault striations, which describe Dextral strike-slip movement and with Inverse vertical kinematics. This microfault manifestation is located to the South within borehole 04 in the area projected for reservoir 04. Geological faults were also inferred by means of electrical tomography. The schistosity planes were described by means of stereographic analysis, where the schistosity planes are variable, and by the structural rosette they have a NE-SW direction. Finally, we can conclude that the schistosity planes are subcategorized into 5 different groups. According to the classification of 4 rock masses, it was determined that they have medium to poor quality in the basic RMR of Bieniawski with values of 40 and 44, GSI with values of 24.08 and 30.08.

The external: geodynamic phenomena for this project are river erosion, ground settlements and landslides.

Keywords: Water resources, allowable capacity, reservoirs, geotechnical parameters.



CONTENIDO

RESUMEN	5
Capítulo I.....	19
Generalidades.....	19
1.1. Ubicación	19
1.1.1. Ubicación Política y Geográfica	19
1.2. Accesibilidad	20
1.3. Planteamiento Del Problema.....	22
1.3.1. Descripción del Problema	22
1.3.2. Formulación del Problema General	22
1.3.3. Formulación de Problemas Específicos.....	22
1.4. Objetivos	23
1.4.1. Objetivo General.....	23
1.4.2. Objetivos Específicos.....	23
1.5. Hipótesis	23
1.5.1. Hipótesis General	23
1.5.2. Hipótesis Especificas	23
1.6. Importancia y Justificación	24
1.7. Variables e Indicadores de Investigación.....	25
1.7.1. Variables Independientes	25
1.7.2. Variables Dependientes.....	25
1.7.3. Operacionalización de variables	25
1.8. Metodología del trabajo.....	25
1.8.1. Enfoque de la investigación:.....	26
1.8.2. Nivel de la investigación	26
1.8.3. Diseño de la Investigación	26
1.9. Fases de Elaboración del Estudio.....	26
1.9.1. Fase de pre Campo	27
1.9.2. Fase de Campo	27
1.9.3. Fase de Gabinete	27
1.10. Antecedentes	28



1.10.1.	Antecedentes Regionales	28
1.10.2.	Antecedentes Nacionales.....	29
1.10.3.	Antecedentes Internacionales	30
1.11.	Materiales y Equipos	31
1.11.1	Material Cartográfico.....	31
1.11.2	Materiales de Campo.....	31
1.11.3	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.	31
Capítulo II.....		32
Marco Teórico		32
2.1.	Marco Conceptual	32
2.1.1.	Capacidad de Carga	32
2.1.2.	Capacidad de carga en las rocas	32
2.1.3.	Presión Admisible	33
2.1.4.	Estaciones Geomecánicas	33
2.1.5.	Compresión Simple de la Matriz Rocosa	34
2.1.6.	Grado de Fracturación del Macizo Rocoso (RQD)	34
2.1.7.	Índice RMR de Bieniawski	35
2.1.8.	Cuencas Hidrográficas.....	35
2.1.9.	Criterios Para Clasificación de Cuencas Hidrográficas Según el Sistema de Codificación Pfafstetter	35
2.1.10.	Geología.....	36
2.1.11.	Formación Geológica	36
2.1.12.	Geomorfología.....	37
2.1.13.	Parámetros Fisiográficos o Geomorfológicos de la Cuenca.....	37
2.1.14.	Fallas Geológicas.....	38
2.1.15.	Indicadores Cinemáticos	41
Capítulo III.....		43
Geomorfología		43
3.1.	Geomorfología Regional	43
3.1.1.	Vertiente con Depósito de Deslizamiento (V-dd)	44
3.1.2.	Montaña en Roca Sedimentaria (Rm-rs)	44
3.2.	Geomorfología Local.....	46



3.2.1. Unidades Geomorfológicas Locales	46
3.2.2.1. Laderas de Montaña con Pendiente muy Fuerte (muy Empinada) a Escarpada (Ldm-PmeE)	46
3.2.2.2. Laderas de Montaña con Pendiente Moderada a Fuerte (Empinada) (Ldm-Pme)	46
3.2.2.3. Laderas de Montaña con Pendiente Llana a Inclinado (Ldm-Plli).....	46
3.2.2.4. Cauce de Drenaje (Cd/Cdr)	46
3.2.2. Pendientes.....	53
3.2.1.1. Pendiente Llana.....	55
3.2.1.2. Suavemente Inclínada	55
3.2.1.3. Moderada	55
3.2.1.4. Fuerte	55
3.2.1.5. Muy Fuerte	55
3.2.1.6. Muy Escarpada	55
Capítulo IV	57
Geología	57
4.1. Geología Regional	57
4.1.1. Formación Ananea (SD-a).....	59
4.1.2. Grupo Cabanillas (D-c).....	60
4.1.3. Grupo Copacabana (PEC-c).....	61
4.1.4. Formación Paucarbamba (Ki-pau).....	62
4.1.5. Formación Huancané (Ki-hua).....	62
4.1.6. Deposito Coluvial (Q-cl).....	65
4.2. Geología Local.....	66
4.2.1. Pizarras (Rmet-Pzr).....	66
4.2.2. Depósitos Coluvio Aluviales (Q-CoAl).....	69
4.2.3. Depósitos Coluviales (Q-Co)	70
4.2.4. Depósitos Lacustres (Q-lcs).....	71
4.2.5. Depósitos Fluviales (Q-flv).....	72
4.2.6. Modelo Geológico 3D del Sector del Reservoirio 01	74
4.2.7. Modelo Geológico 3D del Sector del Reservoirio 02	75
4.2.8. Modelo Geológico 3D del Sector del Reservoirio 03	76
4.2.9. Modelo Geológico 3D del Sector del Reservoirio 04	77



4.3. Geología Estructural Regional	82
4.4. Geología Estructural Local.....	83
4.4.1. Esquistosidades (Ss)	83
4.4.2. Fallas	86
Capítulo V	90
Hidrología.....	90
5.1. Parámetros Hidromorfológicos de la Microcuenca	91
5.2. Información Hidrometeorológica	95
5.2.1. Análisis de Consistencia	95
5.2.1.1. Análisis Visual de la Serie Histórica.....	96
5.2.1.2. Análisis de doble masa (Método del Vector Regional)	100
5.2.1.3. Análisis estadístico y tendencias	101
a. Análisis Estadístico.....	101
b. Análisis de Tendencias.....	101
5.2.2. Generación de Caudales	102
5.2.3. Cédulas de Cultivo.....	103
5.2.4. Evapotranspiración potencial.....	105
5.2.5. Caudal Ecológico.....	106
5.2.6. Balance Hídrico	107
5.2.6.1. Oferta Hídrica 107	
5.2.6.2. Demanda Hídrica.....	107
5.3. Hidrogeología.....	109
5.3.1. Recarga artificial de Acuíferos	110
5.3.1.1. Zanjales de Infiltración.....	110
5.3.1.2. Reforestación 112	
Capítulo VI	113
Geofísica.....	113
6.1. Geofísica teórica	113
6.1.1. Método Resistividad Eléctrica.....	113
6.1.2. Conductividad Electrolítica.....	115
6.1.3. Dispositivos Tetraelectrodicos Lineales Básicos	118



6.1.3.1. Dispositivo Wenner-Schlumberger	118
6.1.4. Metodología Para la Adquisición de Datos de Campo.....	120
6.1.4.1. Equipo Utilizado Para la Tomografía Eléctrica	120
a) Transmisor	121
b) Receptor.....	122
c)Otros.....	122
d) Transmisor de corriente.....	122
e) Accesorios.....	123
f) Equipo humano	123
6.1.5. Metodología de Estudio Para la Tomografía Eléctrica.....	124
6.1.5.1 Base de Datos 124	
6.1.5.2 Revisión de Datos.....	125
6.1.5.3 Procesos de Inversión	126
6.1.5.4 Interpretación de los Resultados	127
6.2. Geofísica Aplicada	129
6.2.1 Metodología de Trabajos de Campo.....	129
6.2.2 Resultados del Método Eléctrico	129
6.2.2.1 Perfil de Tomografía Eléctrica 01-Reservorio 01	129
6.2.2.2 Perfil de Tomografía Eléctrica 02-Reservorio 02	131
6.2.2.3 Perfil de Tomografía Eléctrica 03-Reservorio 03	133
6.2.2.4 Perfil de Tomografía Eléctrica 04-Reservorio 04	134
Capítulo VII	137
Geotecnia.....	137
7.1. Estación Geomecánica 01	137
7.2. Estación Geomecánica 02	141
7.3. Estación Geomecánica 03	145
7.4. Estación Geomecánica 04	149
7.5. Carga Última de Apoyo en Macizos Rocosos.....	153
7.5.1. Método de Serrano y Olalla (2001).....	153
7.6. Asentamientos (Cimentaciones Rocosas)	166
Capitulo VIII	168



Análisis de Estabilidad de Taludes	168
8.1. Métodos de Equilibrio Limite	168
8.2. Método de Morgenstern y Price	170
8.3. Análisis de Estabilidad de Taludes Bajo Acción Sísmica	171
8.4. Cálculos de Factores de Seguridad en los Taludes Analizados.....	174
8.5. Remediación de la amenaza y el riesgo a los deslizamientos	179
Capítulo IX	182
Peligros Geológicos	182
9.1. Erosión Fluvial.....	182
9.2. Asentamiento del Terreno	183
9.3. Deslizamientos.....	184
Capítulo X	187
Resultados	187
Capítulo XI	190
Conclusiones y Recomendaciones	190
10.1. Conclusiones.....	190
10.2. Recomendaciones	191
Referencias Bibliográficas.....	192
ANEXOS	194

INDICE FIGURAS

Figura 1. Imagen satelital de los Reservorios propuestos en la comunidad de Callatiac.....	19
Figura 2. Imagen satelital referencial de la accesibilidad al sector de estudio en la C.C. Callatiac.....	20
Figura 3. Estaciones Geomecánicas Definidas para la Caracterización de nueve Zonas Geomecánicas.....	34
Figura 4. Cuenca hidrología e hidrográfica	36
Figura 5. Tipos de fallas geológicas según su movimiento	38
Figura 6. Clasificación de fallas basada en el buzamiento del plano de falla y el cabeceo.....	39
Figura 7. Zona de daño en la pared a una falla normal.....	40
Figura 8. Relaciones entre la orientación de las tensiones principales (regímenes de tensión) y los regímenes tectónicos según Anderson (1951).....	40
Figura 9. Criterios cinemáticos a lo largo de una falla dextral con fracturas subordinadas o irregularidades.	41



Figura 10. Tectoglíficos - Criterios de sentido de movimiento de fallas	42
Figura 11. Unidades geomorfológicas regionales del cuadrángulo del Cusco	43
Figura 12. Unidades geomorfológicas regionales del sector de estudio	44
Figura 13. Unidades geomorfológicas en el sector del reservorio 01	46
Figura 14. Unidades geomorfológicas en el sector del reservorio 02.....	47
Figura 15. Unidades geomorfológicas en el sector del reservorio 01	48
Figura 16. Esquema de pendientes en función de porcentajes por área	53
Figura 17. Pendientes del reservorio 01 en dirección NE	56
Figura 18. Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales	57
Figura 19. Columna estratigráfica de la Formación Ananea	59
Figura 20. Columna estratigráfica de la Formación Cabanillas	60
Figura 21. Columna estratigráfica del Grupo Copacabana	61
Figura 22. Columna estratigráfica de la Formación Paucarbamba.....	63
Figura 23. Columna estratigráfica de la Formación Huancané levantada en Huacarpay y Huambutio.....	64
Figura 24. Afloramiento de pizarras de la Formación Ananea, en un corte de un camino de herradura	65
Figura 25. Afloramiento de pizarras de la Formación Ananea, en una ladera de montaña	66
Figura 26. Afloramiento de pizarras correspondiente a la Formación Ananea	67
Figura 27. Afloramientos de pizarras en el sector del reservorio 01 correspondiente a la Formación Ananea	68
Figura 28. Afloramiento de pizarras en el sector del reservorio 02	68
Figura 29. Depósitos Coluvio aluviales en el Reservorio 03	69
Figura 30. Depósitos coluviales abajo de una ladera de pendiente escarpada.....	70
Figura 31. Depósitos coluviales en el sector del reservorio 02 con 1.5m de profundidad	71
Figura 32. Depósitos lacustres en el sector del reservorio 02.....	72
Figura 33. Depósitos Fluviales en el área de estudio vista al SE	73
Figura 34. Modelo Geológico 3D del Reservorio 01.....	74
Figura 35. Modelo Geológico 3D del Reservorio 02.....	75
Figura 36. Modelo Geológico 3D del Reservorio 03.....	76
Figura 37. Modelo Geológico 3D del Reservorio 04.....	77
Figura 38. Mapa estructural que muestra la dirección de esquistosidad S2. Tomado de Carlotto (1998).....	82
Figura 39. Análisis estereográfico de las esquistosidades del sector de estudio	85
Figura 40. Estrías de falla 01 que evidencia una cinemática Dextral Inversa.	87



Figura 41. Interpretación cinemática mediante diedros rectos de la falla 01.....	87
Figura 42. Modelo estructural 3D reservorio 01	88
Figura 43. Modelo estructural 3D reservorio 02	88
Figura 44. Modelo estructural 3D reservorio 03	89
Figura 45. Modelo estructural 3D reservorio 04	89
Figura 46. Imagen satelital de la microcuenca Añilmayo	90
Figura 47. Curva Hipsométrica de la microcuenca Añilmayo	93
Figura 48. Polígono de frecuencias de la microcuenca Añilmayo	93
Figura 49. Serie histórica de precipitación de la estación Combapata	96
Figura 50. Serie histórica de precipitación de la estación Ocongate	97
Figura 51. Serie histórica de precipitación de la estación Acomayo.....	97
Figura 52. Serie histórica de precipitación de la estación Urcos	98
Figura 53. Serie histórica de precipitación de la estación Ccatca	98
Figura 54. Serie histórica de precipitación de la estación Kcayra	99
Figura 55. Serie histórica de precipitación de la estación Paruro.....	99
Figura 56. Serie histórica de precipitación de la estación Pomacanchi.....	100
Figura 57. Curva de dobles acumulados de las estaciones de estudio.....	100
Figura 58. Índices anuales de las estaciones de estudio	101
Figura 59. Modelo hidrológico de las microcuencas en WEAP	102
Figura 60. Descargas mensuales generados en la Microcuenca Añilmayo	103
Figura 61. Porcentajes de cédulas de cultivo de la microcuenca Añilmayo	104
Figura 62. Evapotranspiración potencial empleando el método Penman Monteith aplicando el software CROPTWAT 8.0.	105
Figura 63. Caudal ecológico de la microcuenca Añilmayo	106
Figura 64. Balance Hídrico Microcuenca Añilmayo	108
Figura 65. Gráfica entre la permeabilidad (K) y RQD.....	109
Figura 66. Diseños preliminares de Zanjas de Infiltración.....	111
Figura 67. Principio de medición de resistividad con una matriz de tetra electrodica.....	113
Figura 68. Valores de resistividad más comunes en rocas y minerales	114
Figura 69. Influencia de ciertos procesos geológicos sobre la resistividad de las formaciones.	115
Figura 70. Disposición de los electrodos mediante el dispositivo Wenner-Schlumberger.....	119



Figura 71. Diagrama de puntos de adquisición para el arreglo Wenner-Schlumberger Geomative Studio.....	119
Figura 72. Representación simplificada de la técnica de Tomografía Eléctrica	120
Figura 73. Equipo Geomative GD10 SUPREME.....	121
Figura 74. Datos crudos obtenidos del equipo geofísico.....	125
Figura 75. Control de calidad y exterminación de datos.....	126
Figura 76. Etapas del proceso de inversión	127
Figura 77. Distribución de líneas geofísicas sobre la superficie del bofedal	128
Figura 78. Perfil de resistividades en correlación con mapeo geológico.....	128
Figura 79. Perfil interpretado de la tomografía 01	131
Figura 80. Perfil interpretado de la tomografía 02	132
Figura 81. Perfil interpretado de la tomografía 03	134
Figura 82. Perfil interpretado de la tomografía 03	136
Figura 83. Estereografía de 3 familias de fracturas encontradas en campo en estación geomecánica 01	138
Figura 84. Roseta de Fracturas en estación geomecánica 01	139
Figura 85. Clasificación geomecánica 01 de afloramiento rocoso de pizarra moderadamente meteorizada.	140
Figura 86. Estereografía de 3 familias de fracturas encontradas en campo en estación geomecánica 02.	142
Figura 87. Roseta de Fracturas en estación geomecánica 02.	143
Figura 88. Clasificación geomecánica 02 de afloramiento rocoso de pizarra moderadamente meteorizada.	144
Figura 89. Estereografía de 4 familias de fracturas encontradas en campo en estación geomecánica 03	146
Figura 90. Roseta de Fracturas en estación geomecánica 03	147
Figura 91. Clasificación geomecánica 03 de afloramiento rocoso de pizarra moderadamente meteorizada.	148
Figura 92. Estereografía de 3 familias de fracturas encontradas en campo en estación geomecánica 04.	150
Figura 93. Roseta de Fracturas en estación geomecánica 04.	151
Figura 94. Clasificación geomecánica 04 de afloramiento rocoso de pizarra moderadamente meteorizada.	152
Figura 95. Clasificación roca Hoek y Brown.....	153
Figura 96. Factor $N\beta$ Pendiente 0°	155
Figura 97. Factor $N\beta$ Pendiente 5°	156
Figura 98. Factor $N\beta$ Pendiente 15°	157
Figura 99. Representación zonas de estudio de Serrano y Olalla.....	158
Figura 100. Factor F_p	159
Figura 101. Propiedades geotécnicas inferidas a partir de Rocdata 4.0	160



Figura 102. Cálculo de Factor $N\beta$ (Pendiente 15° para el sector de estudio.....	163
Figura 103. Cálculo de factor F_p	164
Figura 104. Perfil de deformación típico bajo una base flexible, de forma rectangular y carga uniforme.....	167
Figura 105. Métodos de análisis de estabilidad de taludes	168
Figura 106. Acciones en la i-ésima rebanada según las hipótesis de Morgenstern y Price y representación del conjunto	170
Figura 107. Mapa de zonificación sísmica	172
Figura 108. Valores utilizados en el análisis de estabilidad SLIDE. Pizarra.....	173
Figura 109. Corte A-A' Reservoirio 01.....	174
Figura 110. Corte B-B' Reservoirio 01.....	175
Figura 111. Corte A-A' Reservoirio 02.....	175
Figura 112. Corte B-B' Reservoirio 02.....	176
Figura 113. Corte A-A' Reservoirio 03.....	176
Figura 114. Corte B-B' Reservoirio 03.....	177
Figura 115. Corte A-A' Reservoirio 04.....	177
Figura 116. Corte B-B' Reservoirio 04.....	178
Figura 117. La conformación de un talud requiere de un análisis para determinar las pendientes, terracedos etc.	180
Figura 118. Reconformación de talud para factor de seguridad estable	181
Figura 119. Imagen satelital del reservorio 03 proyectado.....	182
Figura 120. Corte SE-NW del reservorio 03 proyectado	183
Figura 121. Fisuras desarrolladas por asentamientos en el reservorio antiguo en el área del nuevo reservorio 04 proyectado	184
Figura 122. Corte A-A' del reservorio 03	185
Figura 123. Corte B-B' del reservorio 04	185
Figura 124. Análisis de estabilidad de taludes a lo largo del corte A-A' del reservorio 03 proyectado.....	185
Figura 125. Análisis de estabilidad de taludes a lo largo del corte B-B' del reservorio 04 proyectado.....	186



INDICE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM y ubicación geográfica de las áreas propuestas para los reservorios en la comunidad de Callatiac	19
Tabla 2. Accesibilidad a las áreas de estudio	20
Tabla 3. Indicadores de investigación para la caracterización geológica-geotécnica	25
Tabla 4. Clasificación de pendientes en grados de la zona de estudio.....	53
Tabla 5. Datos de campo de Esquistosidades.....	84
Tabla 6. Datos de campo de estación estructural 01	86
Tabla 7. Parámetros Morfométricos de la Microcuenca Añilmayo	91
Tabla 8. Tiempo de concentración por diferentes autores Microcuenca Añilmayo	92
Tabla 9. Cálculo de áreas parciales para curva hipsométrica y polígono de frecuencias Mc. Añilmayo.....	92
Tabla 10. Estaciones hidrometereológicas del sector de estudio para la microcuenca Añilmayo.....	95
Tabla 11. Generación de Caudales en Ríos sin Estaciones de Aforo.....	103
Tabla 12. Cédulas de cultivo en la microcuenca de Añilmayo	104
Tabla 13. Calendario de siembra en las microcuencas.....	105
Tabla 14. Caudal ecológico por diferentes métodos hidrológicos de la microcuenca Añilmayo	106
Tabla 15. Disponibilidad Hídrica en la microcuenca Añilmayo.....	107
Tabla 16. Demanda Hídrica en la microcuenca Añilmayo.....	107
Tabla 17. Balance Hídrico en la microcuenca Añilmayo	108
Tabla 18. Clasificación de terrenos por permeabilidad según Benítez (1963)	110
Tabla 19. Especies forestales recomendadas	112
Tabla 20. Valores de resistividad de tipos de agua y roca	116
Tabla 21. Variación de la resistividad de aguas naturales	117
Tabla 22. Ubicación de los ensayos de tomografía eléctrica	129
Tabla 23. Datos estructurales de fracturas de campo en estación geomecánica 01	137
Tabla 24. Datos estructurales de fracturas de campo procesado de estación geomecánica 01.....	138
Tabla 25. Datos estructurales de fracturas de campo en estación geomecánica 02	141
Tabla 26. Datos estructurales de fracturas de campo procesado de estación geomecánica 02.....	141
Tabla 27. Datos estructurales de fracturas de campo en estación geomecánica 03	145
Tabla 28. Datos estructurales de fracturas de campo procesado de estación geomecánica 03.....	146
Tabla 29. Datos estructurales de fracturas de campo en estación geomecánica 04.	149



Tabla 30. Datos estructurales de fracturas de campo procesado de estación geomecánica 04.....	150
Tabla 31. Datos geotécnicos obtenidos de Roc Data 4.0	161
Tabla 32. Valores promedio	161
Tabla 33. Datos de entrada para cálculo de Factor $N\beta$	162
Tabla 34. Cálculo de Asentamiento para los reservorios	167
Tabla 35. Métodos de análisis de estabilidad de taludes características por equilibrio limite	169
Tabla 36. Factor de la zona	171
Tabla 37. Factores de seguridad según distinta normativa	173
Tabla 38. Pendientes típicas para taludes en materiales tropicales.....	179



Capítulo I

Generalidades

1.1. Ubicación

1.1.1. Ubicación Política y Geográfica

El sector de estudio se halla ubicada en la comunidad indígena de Callatiac, distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, departamento del Cusco.

Por otra parte, dentro del área de estudio del proyecto, se subcategorizan 4 sectores para la realización de 4 reservorios (Figura 1), que se encuentran en la zona 19L, con Datum WGS 1984, que a su vez presentan coordenadas UTM, que se detallan a continuación:

Tabla 1. Coordenadas UTM y ubicación geográfica de las áreas propuestas para los reservorios en la comunidad de Callatiac

Este	Norte	Altura (msnm)	Sector	Distrito	Provincia	Departamento
225988.55	8476382.43	3979	R01	Quiquijana	Quispicanchi	Cusco
227077.03	8476113.09	3892	R02			
227923.46	8477340.19	3727	R03			
227502.91	8476800.57	3827	R04			

Figura 1. Imagen satelital de los Reservorios propuestos en la comunidad de Callatiac



Fuente: Google Earth



1.2. Accesibilidad

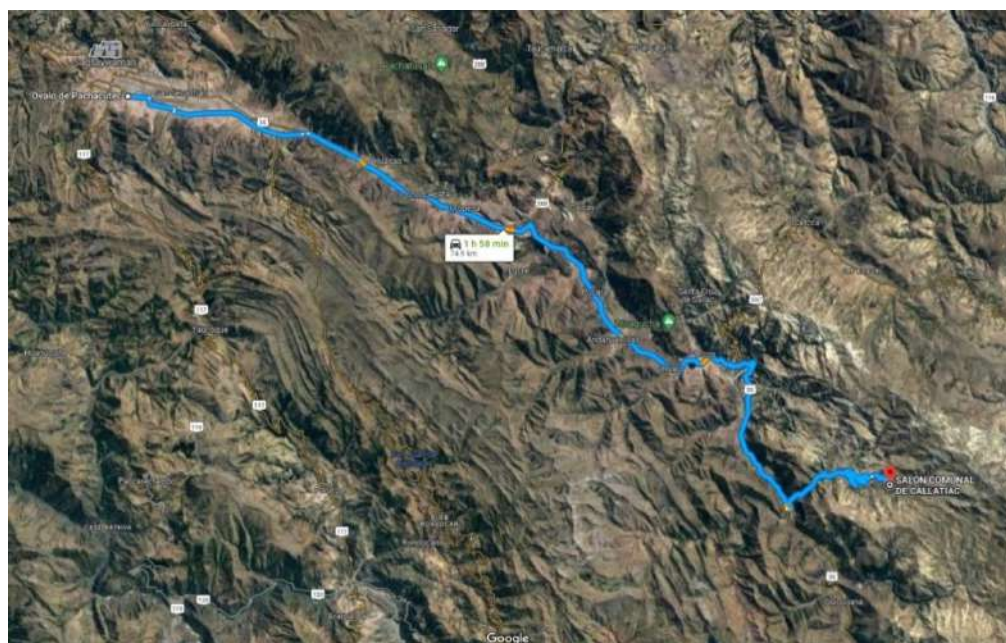
Para llegar a las áreas del proyecto se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2. *Accesibilidad a las áreas de estudio*

Inicio	Hasta	Tiempo en Vehículo
Ovalo Pachacútec	C.P. Ttio	1 hora 10 min
C.P. Ttio	C.C. Callatiac	48 min

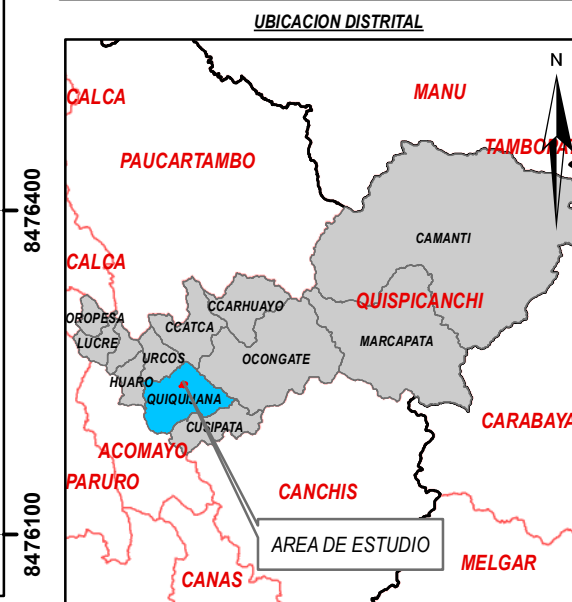
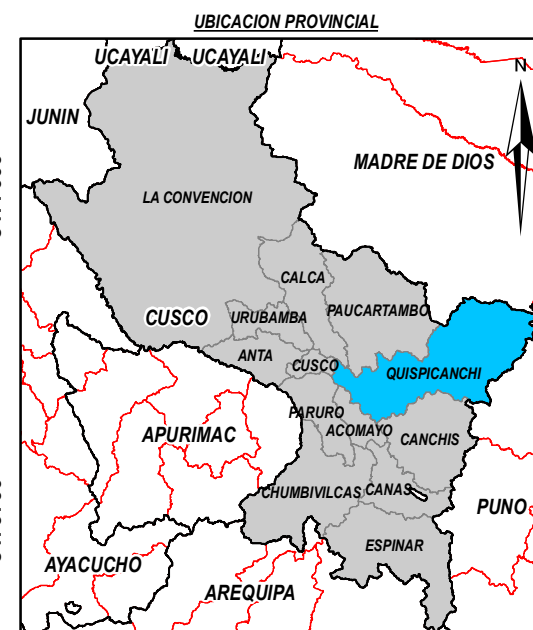
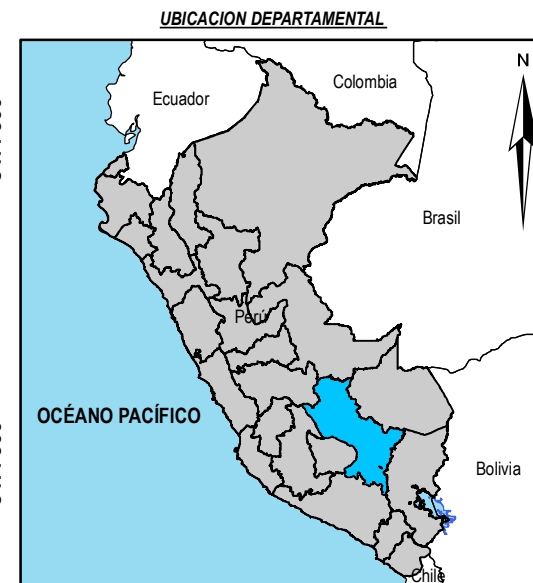
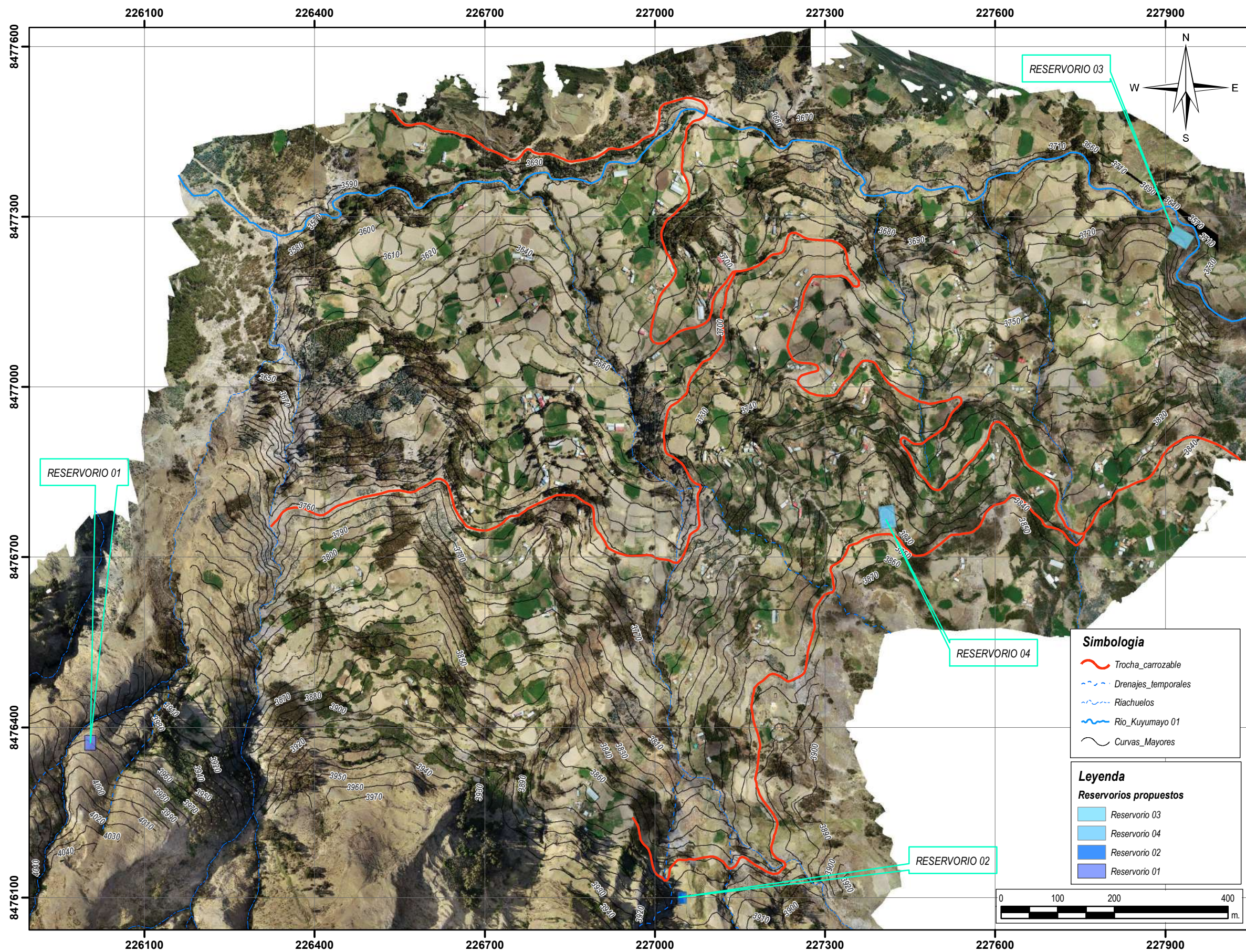
Para acceder las áreas proyectadas para los reservorios, se toma como referencia, el ovalo Pachacútec, siguiendo la vía asfaltada Cusco-Sicuani hasta el centro poblado de Ttio, a 61.5 km con un tiempo de 1 hora y 10 minutos, para luego tomar un desvío de trocha carrozable en dirección NE hacia la comunidad de Callatiac a 13.4 km, con un tiempo de 48 minutos aproximadamente.

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



Fuente: Google Maps.

MAPA DE UBICACION DEL SECTOR DE ESTUDIO



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	SISTEMA DE COORDENADAS	MAPA DE UBICACION	TESIS:	ESCALA: 1/7,000	SECTOR: CALLATIAC
		PROYECCION: UTM			FECHA: FEBRERO 2024	
		DATUM HORIZONTAL: WGS84	DISTRITO: QUIQUIJANA	"CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	
		HUSO Y ZONA: 19L Sur	PROVINCIA: QUISPICANCHI			
		ASESOR: Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	REGION: CUSCO			MAPA: MP-01
			ESCALA DE IMPRESION: A-3			



1.3. Planteamiento Del Problema

1.3.1. Descripción del Problema

En la presente zona de investigación que abarca la Comunidad de Callatiac inmersa en el trabajo de investigación, viene siendo afectada a nivel económico, técnico y social por el déficit hídrico, debido a la escasez de agua y la creciente a demanda agrícola y ganadera, causado por varios factores como el cambio climático y la contaminación del agua, adicionalmente la frecuencia de las precipitaciones ha disminuido, la temporada de lluvias se ha vuelto más seca. La zona de estudio cuenta con manantes, pero en efecto no son aprovechados por la falta de proyectos para tecnificar la ganadería y agricultura.

De continuar con esta problemática la comunidad tendrá un impacto negativo en el desarrollo economía, social y técnico del sector ya que la comunidad no puede acceder a una mejor disposición de agua para su agricultura y la ganadería.

La alternativa de solución es viabilizar la construcción de reservorios para el aprovechamiento de agua subterránea, para esto, se necesita realizar un estudio geológico - geotécnico en el diseño y construcción, con la finalidad de determinar el modelo más adecuado de los estratos subterráneos con sus parámetros geotécnicos, puesto que las rocas del sector están muy fracturadas y se evidencio muchas fallas, representando un alto riesgo geotécnico de construcción. Así poder dar solución a una mejor disposición de agua, asegurar el abastecimiento de agua potable para la población y tecnificar la agricultura y la ganadería.

1.3.2. Formulación del Problema General

¿En qué medida las condiciones geológicas y geotécnicas influyen en el diseño y construcción de los reservorios para el sistema de riego?

1.3.3. Formulación de Problemas Específicos

- ¿De qué manera las condiciones geomorfológicas, litologicas y geodinámicas influyen en el diseño y construcción de los reservorios de agua?



- ¿De qué manera los parámetros geotécnicos influyen en el diseño y construcción de los reservorios?
- ¿De qué manera los ensayos geofísicos determinaran las características geológicas-geotécnicas en el diseño y construcción de los reservorios?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Examinar y determinar las condiciones geológicas y geotécnicas necesarias para establecer el diseño y construcción de los reservorios del sistema de riego en la comunidad de Callatiac.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Establecer las características geomorfológicas, litológicas y geodinámicas que influyen en el diseño y construcción de los reservorios.
- Establecer los parámetros de resistencia del terreno mediante ensayos geotécnicos que influyen en el diseño y construcción de los reservorios.
- Interpretar las secciones geoelectricas, los cuales permitirán entender adecuadamente el ambiente geológico-geotécnico.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

Las condiciones geológicas y geotécnicas de las áreas de estudio serán apropiadas para la el diseño y construcción de los reservorios del sistema de riego en la comunidad de Callatiac.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- Al examinar las características geomorfológicas, litológicas y geodinámicas presentes en los sectores de estudio suministrara parámetros favorables para el diseño y construcción de los reservorios propuestos.



- Al examinar los ensayos geotécnicos se determinará los parámetros de resistencia que permitirá establecer el diseño y construcción de los reservorios.
- Al examinar los perfiles geoeléctricos se logrará inferir las litologías subterráneas.

1.6. Importancia y Justificación

El estudio Geológico- geotécnico de la zona de Callatiac es relevante para la construcción de los reservorios, y en consecuencia, tendrá como beneficiarios a los pobladores de la zona de estudio ya que podrán acceder a un sistema de riego eficiente y tecnificado y poder mejorar su nivel social, económico y técnico.

Este proyecto es importante ya que tendrá un impacto a nivel social, económico y técnico, mejorando condiciones de trabajo y se generará desarrollo así resolverá los costos de abastecimiento y producción agropecuaria.

Nuestras implicancias practicas es que, a futuro, las personas beneficiadas tendrán un mejor estilo vida, pudiendo asegurar la operatividad hidráulica del sistema y el sostenimiento de un servicio útil y también se verá un crecimiento económico

Al generar mejores condiciones de trabajos se podría ver un crecimiento económico con mejores oportunidades y generar un impacto social. A su vez posteriormente dar paso a otras posibilidades de proyecto para un crecimiento de mejora continua. Siempre a favor de un agricultura y ganadería tecnificada.

Este estudio traerá aportes al campo de conocimientos ya que se podrá precisar las propiedades mecánicas del suelo para la construcción del reservorio y también gracias a este estudio geológico -geotécnico podremos prevenir futuros desastres naturales que pueden causar daños a las obras realizadas y a la población que vive en la zona.



1.7. Variables e Indicadores de Investigación

1.7.1. Variables Independientes

Como variables independientes se han definido:

- Caracterización geológica - geotécnica

1.7.2. Variables Dependientes

Como variables dependientes se han definido:

- Construcción de reservorios del sistema de riego

1.7.3. Operacionalización de variables

Tabla 3. Indicadores de investigación para la caracterización geológica-geotécnica

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<u>VARIABLE INDEPENDIENTE:</u> <u>CARACTERIZACION</u> <u>GEOLOGICA- GEOTECNIA</u>	GEOTECNIA	CLASIFICACION GEOMECANICA
		ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES
		CAPACIDAD PORTANTE
	GEOLOGIA	ESTRATIGRAFIA
		PETROLOGIA
	GEOLOGIA ESTRUCTURAL	FALLAS
		FRACTURAS
	GEOMORFOLOGIA	TIPOS DE GEOFORMAS
		PENDIENTES
	HIDROLOGIA	PRECIPITACION
		TEMPERATURA
		DEMANDA HIDRICA
		EVAPOTRANSPIRACION
BALANCE HIDRICO		
GEOFISICA	TOMOGRAFIA ELECTRICA	
<u>VARIABLE DEPENDIENTE:</u> <u>CONSTRUCCION DE</u> <u>RESERVORIOS DEL</u> <u>SISTEMA DE RIEGO</u>	DISEÑO DE TALUDES	RESISTENCIA DE CARGA
	ANALISIS DE CIMENTACION	RESISTENCIA DE LA ROCA



1.8. Metodología del trabajo

1.8.1. Enfoque de la investigación:

Mixto: Utiliza aspectos de enfoques cuantitativos y cualitativos para maximizar sus fortalezas y equilibrar sus limitaciones (Metodología de la investigación de Hernández - Collado- Baptista)

1.8.2. Nivel de la investigación

Exploratorio: El objetivo es examinar un tema poco estudiado, que no ha sido abordado previamente o sobre el que existen muchas preguntas. (Metodología de la investigación de Hernández - Collado- Baptista)

Descriptivo: Detallar como son los fenómenos, situaciones o contextos, especificando propiedades, características de todo que se someta a un análisis. (Metodología de la investigación de Hernández - Collado- Baptista). Este es el alcance que utilizaremos ya que recogeremos datos de acuerdo a las variables que nos hemos planteado.

1.8.3. Diseño de la Investigación

No experimental: Para analizarlos se contemplan los fenómenos tal como ocurren en su entorno natural. (Metodología de la investigación de Hernández - Collado- Baptista)
Utilizamos este tipo de diseño ya que observamos situaciones ya existentes.

Transaccionales correlacionales: Describen las correlaciones existentes entre dos o más variables en cierto tiempo. Sin precisar sentido de casualidad o pueden analizar relaciones de casualidad. (Metodología de la investigación de Hernández - Collado- Baptista).

1.9. Fases de Elaboración del Estudio

Las fases del proyecto de investigación se dividen básicamente en tres etapas.



1.9.1. Fase de pre Campo

Esta etapa implicará la recopilación, selección y evaluación de la información técnica y bibliográfica disponible en el campo de estudio, ya sea de estudios previos o de otras fuentes.

Los detalles son los siguientes:

- Revisión del Boletín 138 serie A, geología del cuadrángulo del Cusco.
- Revisión de bibliografía relacionada a geomorfología, geotecnia, y geofísica.
- Recopilación de mapas o cartas nacionales para ubicar el área de influencia del estudio.
- Realización de mapas topográficos del área de estudio, para los respectivos mapeos de campo.
- Revisión de imágenes satelitales del área del área de influencia.

1.9.2. Fase de Campo

En esta etapa se visitó el área de estudio, para así evaluar las condiciones Geológico - Geotécnicas de los reservorios que se detalla a continuación:

- Reconocimiento de las unidades geológicas, geomorfológicas y estructurales.
- Mapeo geomecánico para la clasificación de macizos rocosos, mediante RMR y GSI.
- Codificación y toma de muestras de rocas para diferentes realizar los ensayos, con lo cual se determinó los parámetros de resistencia.

1.9.3. Fase de Gabinete

En esta etapa se ha procesado e interpretado la información de campo, así como se ha analizado las propiedades geotécnicas del terreno.

- Reconocimiento macroscópico y microscópico de rocas
- Resistencia a la compresión simple MTC E 123
- Análisis de propiedades geotécnicas
- Análisis de estabilidad de taludes según la norma CE020.



1.10. Antecedentes

Se tomo en cuenta estudios similares:

1.10.1. Antecedentes Regionales

Chirinos J. y Alfaro M. (2019), Estudio geotécnico para la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo, Espinar - Cuzco), Investigación para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas, Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Continental, Arequipa, Perú.

La actual investigación geotécnico de represión de almacenamiento de agua en Huayllumayo-Espinar-Cuzco se ubica en la isla de Huayllumayo, que se halla en la parte alta del distrito de la provincia de Espinar y departamento de Cuzco. Su objetivo es identificar la geología local del área y las propiedades geotécnicas para la represión del almacenamiento de agua. La metodología de investigación se desarrolló a partir de dos particularidades básicas: a) Búsqueda de información: Se efectuó una exploración exhaustiva de la documentación existente sobre el fenómeno de Huayllumayo y de los estudios geotécnicos y geo científicos realizados por expertos locales. b) Trabajo de campo: Se realizó la investigación de los estudios geotécnicos, considerando trabajos geotécnicos, sondas de perforación diamantina directa, excavaciones de calicata y análisis en el lugar de empleo. Además, se efectuaron los análisis apropiados en el laboratorio de Suel, incluyendo pruebas mecánicas de Suel, mecánicas de roca y químicas para determinar la calidad del agua empleada en la elaboración de concreto. El propósito de la investigación geotécnica en la zona de Huayllumayo es analizar y evaluar los parámetros geotécnicos para determinar las características del macizo rocoso. Esto se logra mediante el uso de levantamientos topográficos, litológicos, geológicos y geodinámicos.

El objetivo del proyecto de investigación fue desarrollar el estudio geotécnico para la construcción del depósito de agua en Huayllumayo, Espinar-Cuzco

Según los resultados obtenidos, la zona del vaso y el eje de presa es adecuado a un tipo de valle maduro que, por su superficie y geomorfología, supone una zona ideal para la



aglutinación de recursos hídricos de esta manera. El tipo de presa propuesto se amolda a las disposiciones geomorfológicas de la presa de cierre.

La investigación permitió determinar que la ubicación elegida para la construcción de la presa es la más adecuada, ya que permitirá la acumulación óptima de recursos hídricos.

Aporte: determinar el lugar más adecuado para el emplazamiento del dique y vaso de la presa.

1.10.2. Antecedentes Nacionales

Adauto C. y Chueyling J. (2018), ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DE LACIMENTACIÓN DE UN RESERVORIO DE CABECERA DE 20.000 M³ EN EL SECTOR 330 VILLA MARÍA DEL TRIUNFO – LIMA, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.

El propósito general de esta investigación es identificar los parámetros que se utilizarán para determinar el tipo de sedimentación que se utilizarán en la construcción de un reservorio de agua de 20.000 m³ que abastecerá al distrito de Villa María del Triunfo. De conformidad con la norma E.050 de Suelos y Cimentaciones y la norma E.050 de Sismorresistencia, se realizaron trabajos de campo y pruebas de laboratorio durante el desarrollo de la presente investigación. De acuerdo con los parámetros especificados en la normativa, se recopiló, representó gráficamente y analizó la información obtenida, los resultados y las recomendaciones sobre la cimentación a realizar. Estas se basaron en el tipo de suelo presente en dicho distrito.

Su objetivo fue evaluar la prevalencia del estudio geotécnico para el diseño de la cimentación de un embalse de cabecera de 20.000 m³ en el sector 330 de Villa María del Triunfo.

Según el análisis geotécnico, se determinaron la profundidad (1,20 m), la longitud (158 m), el ancho (1,20 m), el ángulo de fricción (30°), la cohesión (0°) y el tipo de cemento empleado en el diseño de la cimentación del embalse en el sector 330 de Villa María del Triunfo.



Aporte: Definir la localización más adecuada del emplazamiento de la infraestructura, mediante el análisis geotécnico para el dimensionamiento de la cimentación para a infraestructura del reservorio.

1.10.3. Antecedentes Internacionales

Pinilla R. (2016), FACTIBILIDAD GEOTÉCNICA DEL PROYECTO EMBALSE EL ROSARIO PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL LITORAL CENTRAL CORDILLERA DE LA COSTA DE CHILE CENTRAL, Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

Este proyecto se inició a mediados de la década de 1970. El estudio consideró inicialmente la ubicación de al menos cuatro pequeños embalses en las zonas más relevantes de la región como forma de abordar la falta de suministro de agua potable en las cuencas del Litoral Central, cuya administración estaba entonces bajo el control del Departamento de Sanitarias (DOS) y posteriormente del organismo que lo sucedió, el Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS), dependiente del Ministerio de Obras Públicas. Tras la privatización del sistema de salud, el proyecto perdió prioridad, considerando la inversión que implica un proyecto de esta magnitud. Próximos proyectos de abastecimiento de agua, ordenamiento económico y ordenamiento ecológico en las comunidades que conforman la comunidad de Cachimayo. Desde una perspectiva geotécnica y geológica, la zona se presenta regular, fundamentada en la buena característica de la roca granítica y la ausencia de reacción ante las falacias que han afectado a las rocas postmiocénicas.

La investigación tiene por objetivo definir las condiciones geológico geotécnicas existentes en el área, donde se podría ubicar un embalse de agua, de pequeñas dimensiones, en el Estero El Rosario.

Se concluye que el valle del estero del Rosario ofrece excelentes perspectivas para la ubicación de un pequeño embalsamiento con las siguientes particularidades: un muro de 80



metros de ancho y 20 metros de alto, que acumula 6 millones de metros cúbicos de agua y crea un área de inundación que cubre una zona de 2 kilómetros en el transcurso de los 3 kilómetros del valle. Se ha determinado el sector contiguo a la ubicación designada. La Capellanía se encuentra a 5.000 metros bajo el nivel del mar, 75 metros bajo el nivel del mar y 1.000 metros por debajo de la convergencia de los estros El Rosario y Carvajal. Es un lugar donde el valle se distingue por un curso sinuoso, angular y escarpado, donde la roca de agua dulce está expuesta en la base del valle con una pendiente del 0,1 %.

Aporte: Establecer el lugar más adecuado para la propuesta de embalse en el valle del Estero del Rosario, mediante el análisis geotécnico.

1.11. Materiales y Equipos

1.11.1 Material Cartográfico

- Mapas base (topográfico, hidrográficos y satelitales)

1.11.2 Materiales de Campo

- Tablero
- Formatos geomecánicos
- Libretas de campo

1.11.3 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

- Equipos de campo (GPS, brújula geológica, tablas de colores, ácido clorhídrico, rayador, lupas de 10x y 20x, y flexómetro)
- Computadora portátil y resistivímetro – tomógrafo eléctrico GD-10 Supreme Geomative.
- Software (ArcGIS, Faultkin, Stereonet, Dips, Res2DINV, Adobe Ilustrador, Sas Planet, Slide, Phase, Civil3D y Autocad 2D).



Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Marco Conceptual

La construcción de los reservorios requiere un análisis de las propiedades geomecánicas del suelo en la zona del proyecto. La estabilidad y funcionamiento a largo plazo de los reservorios están en determinados en función de las características geotécnicas del suelo o roca sobre el cual se cimentarán.

2.1.1. Capacidad de Carga

Santana, R. (2013), La carga tolerable en una cimentación es aquella que puede utilizarse sin causar problemas en la edificación de soporte y tiene un factor de seguridad determinado por la medida de seguridad implementada. El peso aceptable depende no solo del terreno, sino también de la cimentación, las características estructurales y el coeficiente de seguridad utilizado en cada caso.

2.1.2. Capacidad de carga en las rocas

Gallardo, R. (2013), Los conglomerados rocosos son materiales discontinuos que, en sentido estricto, no pueden analizarse como materiales uniformes y continuos en ciertas situaciones. Por lo cual, su desempeño deficiente ciertas cargas depende principalmente de sus características, así como de la resistencia y las deformabilidades encontradas en las irregularidades y en la roca compacta estudiada en el laboratorio.

A pesar de esto, es oportuno implementar un modo de actuar isotrópico en casos de diseño específicos debido a la falta de avances en la estimación de las propiedades de los medios anisotrópicos. Por lo tanto, esta propiedad se considera en muchos de los métodos que se cree que existen, al igual que en la investigación de suelos o materiales que no son absolutamente isotrópicos. Los datos obtenidos mediante estos procedimientos han sido reconocidos por la



Sociedad Internacional de Rocas Mecánicas (ISMR) y se han aplicado a numerosos proyectos de ingeniería.

2.1.3. Presión Admisible

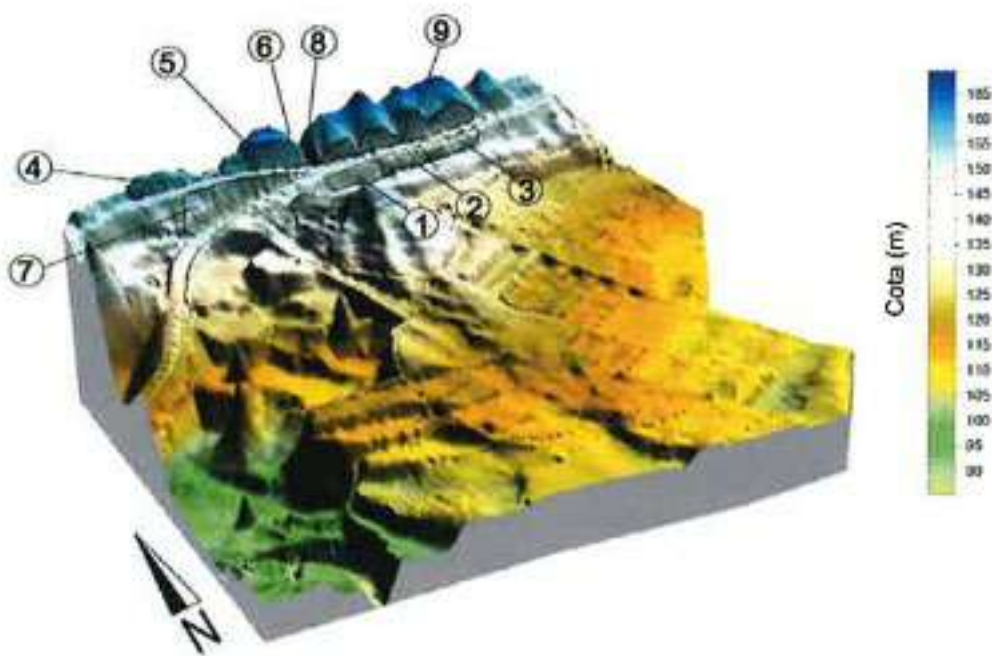
Santana, R. (2013), Es la presión superior que la sedimentación tiene la capacidad de comunicar al suelo sin causar asentamientos desproporcionados superiores a los permitidos. Al determinar la presión admisible, se considerarán los siguientes factores:

- Dimensión de los elementos de la cimentación.
- Profundidad de cimentación.
- Localización del nivel freático.
- Asentamientos tolerables de la estructura.
- Rasgos físico-mecánicas del suelo.

2.1.4. Estaciones Geomecánicas

Jorda, L. (2016), un centro de observación geomecánica es una secuencia organizada de mediciones (orientación de juntas, litologías, etc.) llevadas a cabo en un contexto dado con objeto de valorar las condiciones geomecánicas de una estructura pétreo. En un entorno que se encuentra a 5-10 metros del punto que estamos investigando, generalmente se observan discontinuidades y superficies rugosas. Estos estados geomecánicos, como zonas geomecánicas distintas o tipos relacionados con la construcción (sostenimientos, etc.), se ven o reconocen claramente.

Figura 3. Estaciones Geomecánicas Definidas para la Caracterización de nueve Zonas Geomecánicas



Fuente: Jorda, L., Tomas, R., Arlandi, M. y Abellán, A. (2016).

2.1.5. Compresión Simple de la Matriz Rocosa

Jorda, L. (2016), Es un parámetro esencial en el diagnóstico geomecánico de cuerpos rocosos, ya que proporciona la fuerza máxima de compresión que una roca puede soportar sin romperse. Es posible obtener la firmeza a la compresión simple de la formación rocosa, tanto en terreno como en pruebas de laboratorio.

2.1.6. Grado de Fracturación del Macizo Rocoso (RQD)

Jorda, L. (2016), El grado de fractura de una formación rocosa se relaciona con el número, la distancia y las condiciones de las discontinuidades que lo afectan. El número de discontinuidades que lo afectan, proporción de los fragmentos, la densidad de defectos estructurales o la distancia entre ellas pueden utilizarse para describir la fracturación del macizo



rocoso. Sin embargo, el indicador de fractura más utilizado en la práctica es el RQD(Rock Quality Designation) (Deere, 1967).

2.1.7. Índice RMR de Bieniawski

Jorda, L. (2016), Esta clasificación, desarrollada por el ingeniero Z.T., es un sistema para clasificar macizos rocosos que permite relacionar los indicadores de categoría con las especificaciones de diseño y soporte de los tuneles. Esta segmentación considera los siguientes parámetros:

- La estabilidad de la roca matriz
- Las condiciones de las irregularidades
- El efecto del agua (condiciones hidráulicas)
- La posición relativa de las discontinuidades en relación a la excavación.

La influencia de estos parámetros en el desempeño de la excavación se expresa mediante un índice de calidad nombrado Rock Mass Rating o, abreviadamente, RMR, cuyo valor se obtiene por suma de una serie de términos y está comprendido entre 0 (pésima calidad, Clase V) y 100 (óptima calidad, Clase I)

2.1.8. Cuencas Hidrográficas

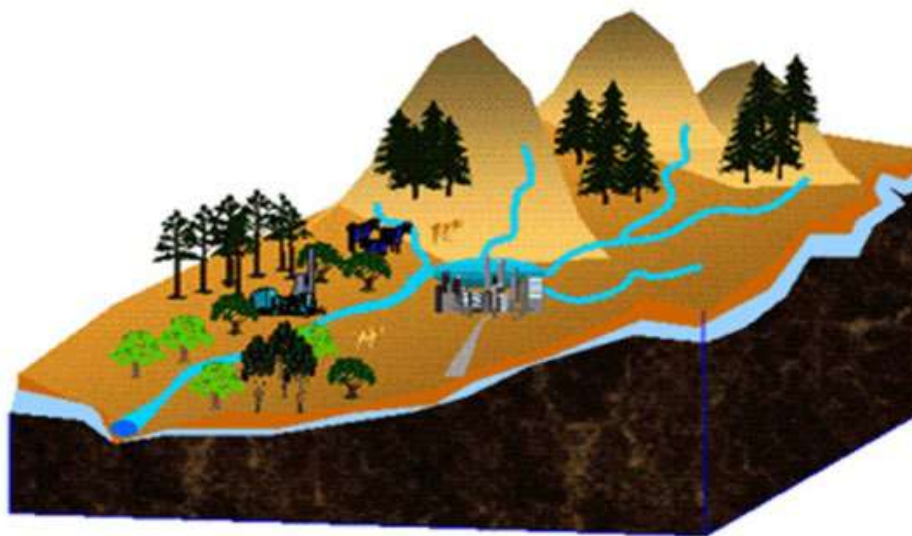
Absalón, V., et. al (2016), Según la óptica hidrológica, una cuenca hidrológica se define como la zona geográfica o unidad de territorio definido por una división topográfica (Divortium Aquarium), que registra las precipitaciones pluviales y conduce el flujo de agua hacia un colector conocido como río primario.

2.1.9. Criterios Para Clasificación de Cuencas Hidrográficas Según el Sistema de Codificación Pfafstetter

En 1989, Otto Pfafstetter creó el Sistema de Codificación Pfafstetter. El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) lo adoptó como lineamiento internacional tras su difusión por Verdin a partir de 1997. Este método consiste en adjudicar números de registro a las unidades

de drenaje según la topografía de la superficie terrestre; es decir, asignar identificadores a una cuenca de forma que pueda relacionarse con sus cuencas circundantes, domésticas o internas. (Otto Pfastetter, 1997).

Figura 4. Cuenca hidrología e hidrográfica



Fuente: Ordoñez, 2011

2.1.10. Geología

Mantilla H. (2017), La geología es la disciplina que analiza el planeta Tierra, su conformación, configuración, procesos naturales y desarrollo a lo largo del tiempo, su relación con otros planetas del universo y la evolución de la vida a través de los certificados encontrados en localizada en las formaciones rocosas.

2.1.11. Formación Geológica

Se define como una unidad estratigráfica con característica litológicas comunes que los diferencian de cuerpos adyacentes, este a su vez se asocia en componentes de mayor tamaño (grupos y supergrupos), subdivisiones (miembros) o unidades principales(capas) que se identifican por sus características.



2.1.12. Geomorfología

Es una rama de la geología, especialidad que examina la constitución interna y del exterior de la tierra teniendo en cuenta los materiales que la componen y las variaciones que se han observado desde su formación. **(Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado, 2018)**

2.1.13. Parámetros Fisiográficos o Geomorfológicos de la Cuenca

La morfología específica de cada vertiente hidrográfica está relacionada con opción de aprovechamiento hidrológica luego de condiciones meteorológicas extremas y la creación de una respuesta a ellos, como la escorrentía externa cuantificada en volúmenes de agua y la prevalencia del transporte de sedimentos y compuestos nutritivos a través de los ecosistemas que la conforman. **(Gaspari, 2012).**

La Morfometría de Cuencas es muy útil, ya que permite calcular la afinidad entre movimientos de fluidos de diferentes volúmenes (Ruiz, 2001). Su objetivo principal es aplicar los resultados de modelos a pequeña escala a prototipos a amplia magnitud y realizar las comparaciones necesarias. **(Chow et al., 1994).**

Área (A): Se conceptualiza como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido, directa o indirectamente, al mismo cauce natural. Es propio de la superficie de la zona de estudio, definida por la división hidrográfica; este parámetro suele expresarse en km². Este valor es muy importante, ya que un error de medición afecta directamente los resultados; por lo tanto, es necesario realizar mediciones comparativas para tener plena confianza en este valor. **(Cardona, 2016).**

Perímetro (P): es la proyección de la longitud en un plano horizontal que representa la división del agua. Esta magnitud se determina en unidades métricas de longitud y se indica comúnmente en metros o kilómetros. **(Cardona, 2016)**

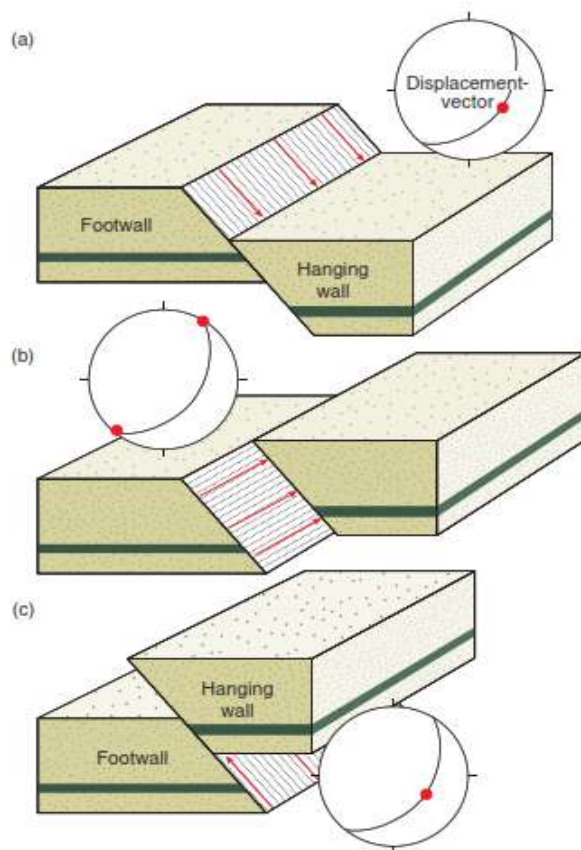
Longitud de la cuenca (L): se establece como la longitud proyectada desde la boca de la cuenca hasta otro sitio donde varía la trayectoria del cauce principal intersecta la línea de contorsión de la cuenca. **(Cardona, 2016)**

Ancho de la cuenca (B): Se define como el indicador que mide la proporción entre el tamaño y la longitud de la cuenca hidrográfica. **(Cardona, 2016)**

2.1.14. Fallas Geológicas

Fossen, H. (2010), Una falla geológica es cualquier plano o sector afectado con visible desplazamiento de corte a lo largo de la zona.

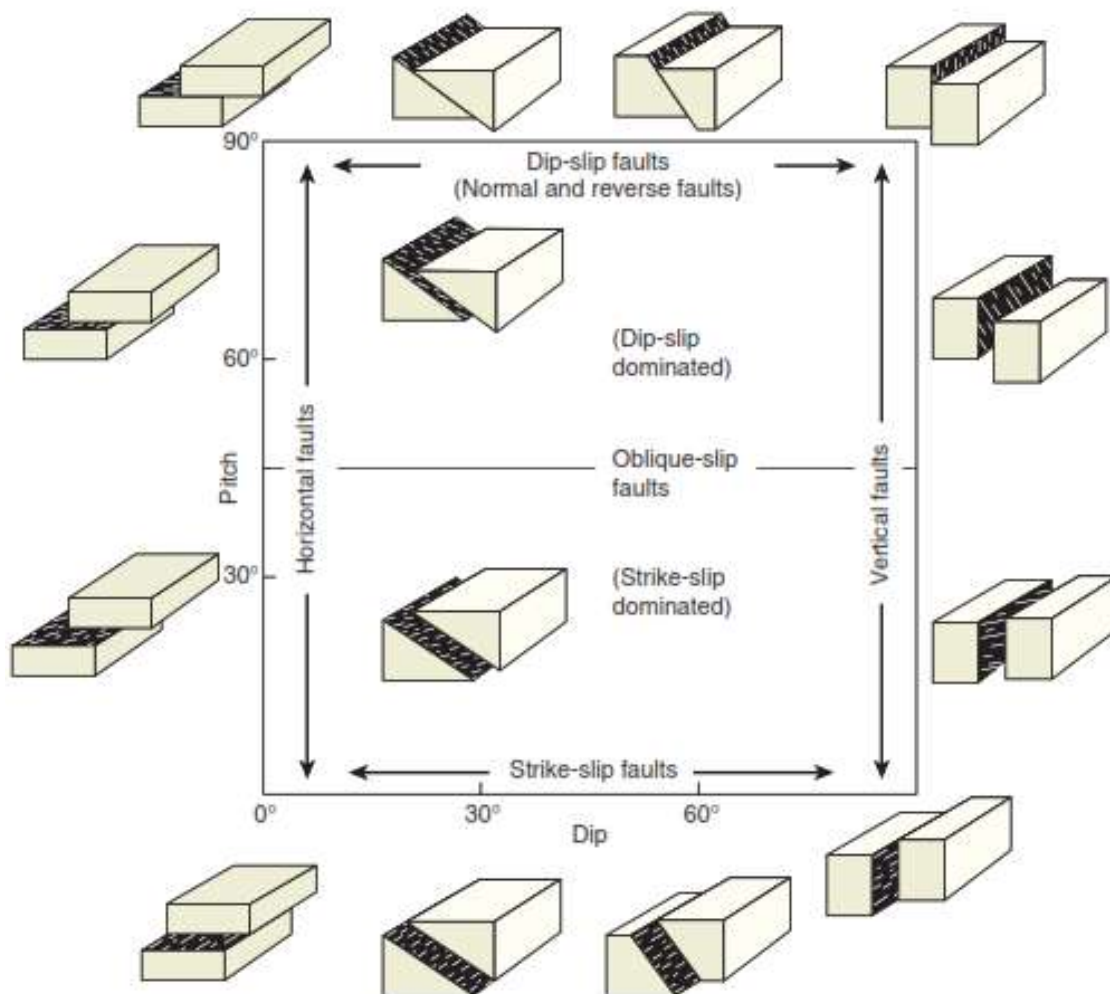
Figura 5. Tipos de fallas geológicas según su movimiento



Fuente: Fossen H. (2010). Structural Geology. Cambridge University Press.

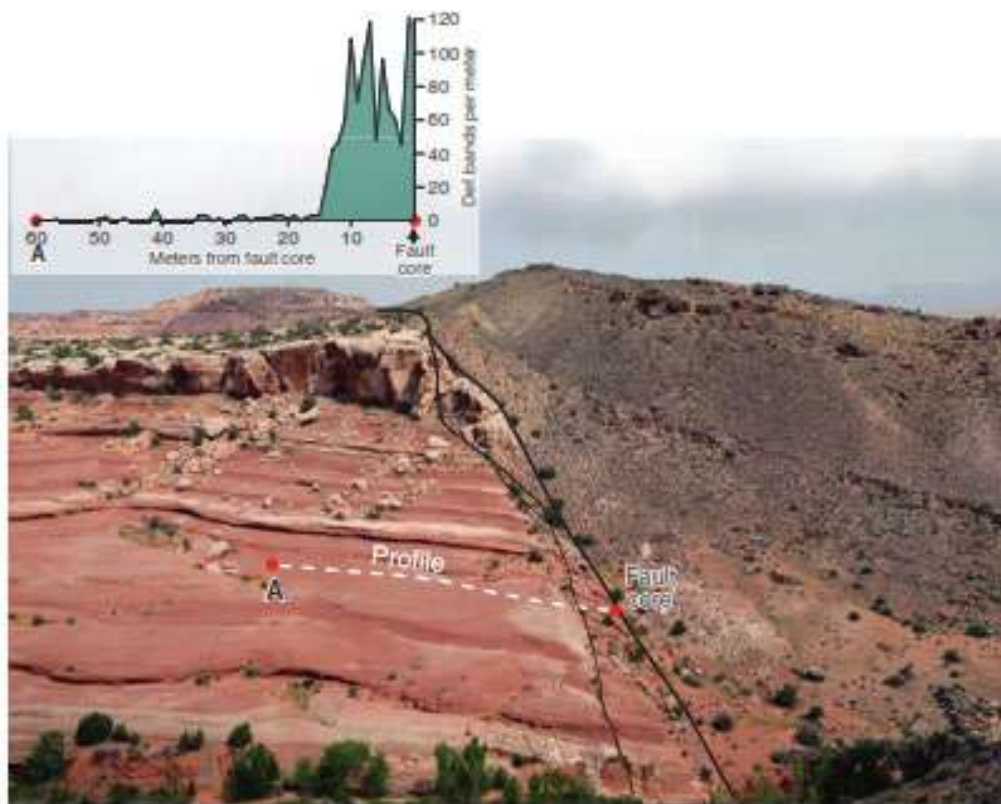


Figura 6. Clasificación de fallas basada en el buzamiento del plano de falla y el cabeceo



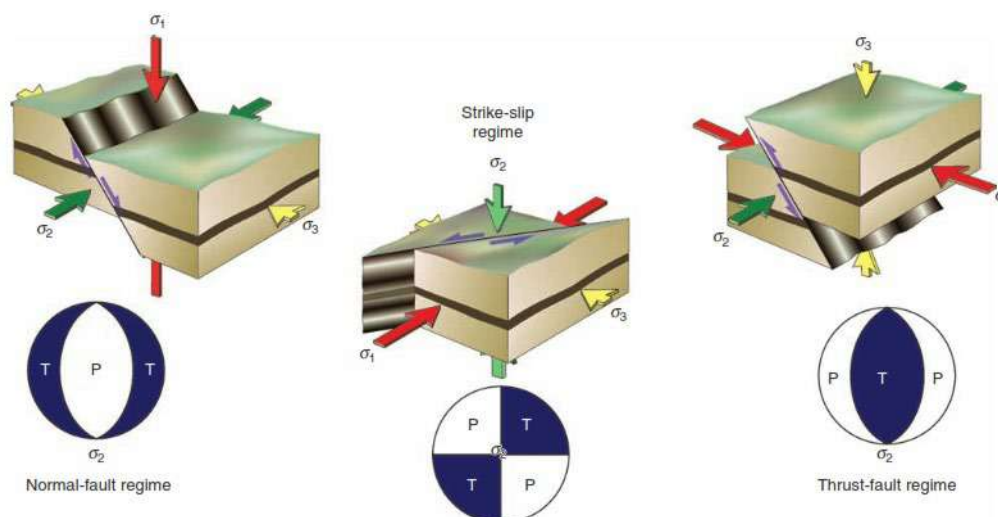
Fuente: Fossen H. (2010). *Structural Geology*. Cambridge University Press.

Figura 7. Zona de daño en la pared a una falla normal



Nota: Modificado de Fossen H. (2010). *Structural Geology*. Cambridge University Press.

Figura 8. Interacción entre la disposición de las tensiones fundamentales y los procesos tectónicos según Anderson (1951)

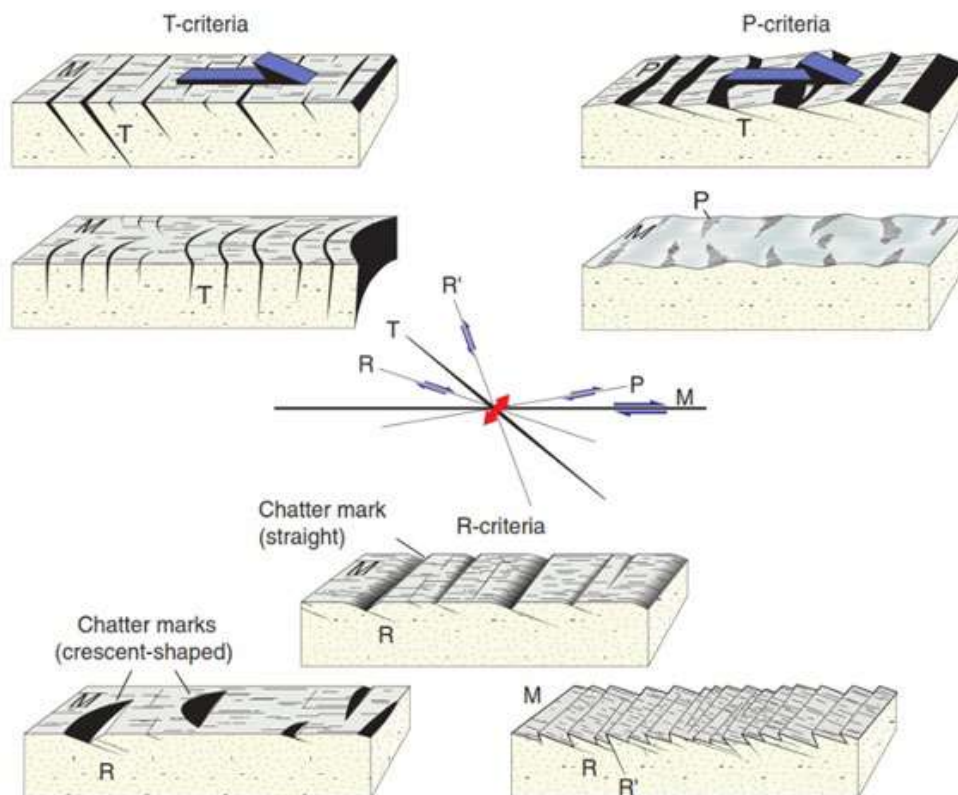


Fuente: Fossen H. (2010). *Structural Geology*. Cambridge University Press.

2.1.15. Indicadores Cinemáticos

Las siguientes pruebas físicas permiten comprender la movilidad de las estructuras falladas (cinemática) y su correspondencia geométrica con las deformaciones plegadas: riedels, antiriedels, estructuras S-C, fibras reconstituidas y escalones son los principales indicadores de jerarquía en el cine. Otros signos menos comunes de jerarquía inferior incluyen marcas de herramientas, estructuras de media luna, superficies de cizalla y brechas de caída.

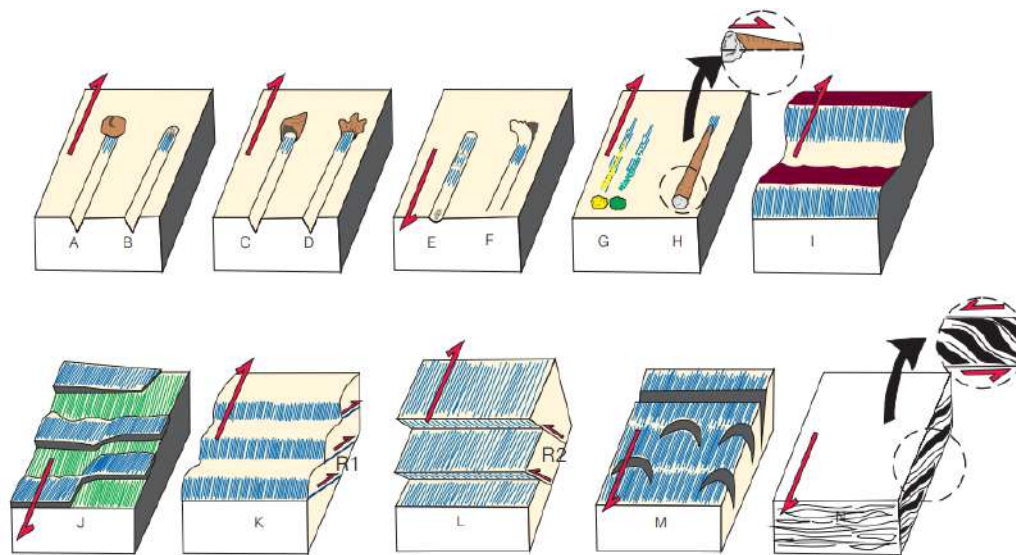
Figura 9. Criterios cinemáticos a lo largo de una falla dextral con fracturas subordinadas o irregularidades.



Fuente: Fossen H. (2010). *Structural Geology*. Cambridge University Press.



Figura 10. Tectoglífos - Criterios de sentido de movimiento de fallas



Nota: Modificado de Macharé, 2001.

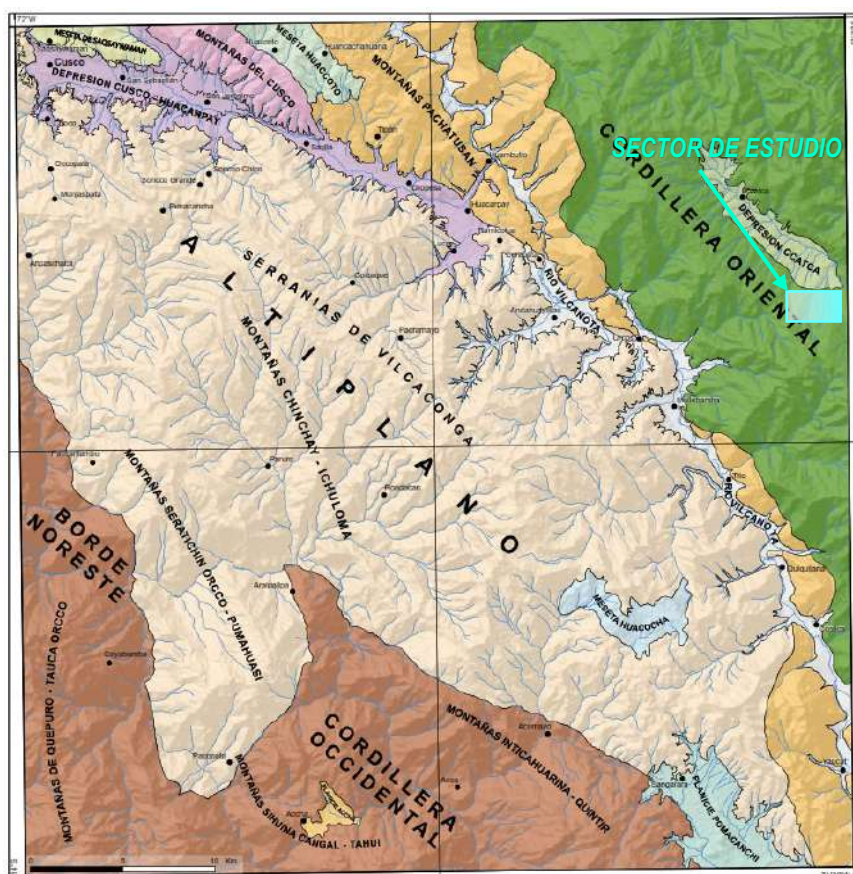
Capítulo III

Geomorfología

3.1. Geomorfología Regional

la ubicación del estudio corresponde a la Cordillera Oriental de los Andes peruanos, que sirve como ubicación principal para los resultados actuales de las formas del relieve. La principal unidad geomorfológica, los Andes, se tuvo en cuenta al definir las unidades geomorfológicas a nivel de las unidades morfoestructurales, con base en criterios morfológicos, litomorfológicos, de pendiente y estructurales. Geomorfológicamente, según el cuadrángulo 28-s, se posiciona en el sistema orográfico oriental, en contacto con la sierra de Pachatusan, conforme se evidencia en la figura adjunta.

Figura 11. Unidades geomorfológicas regionales del cuadrángulo del Cusco



Fuente : Carlotto, V., Cardénas, J. y Carlier, G. (2011) - Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p.

A nivel regional se identificaron las siguientes unidades geomorfológicas:

3.1.1. Vertiente con Depósito de Deslizamiento (V-dd)

Son acumulaciones de suelo en pendientes formados por mecanismos de movimiento de masa, prehistóricos, anteriores y contemporáneos, los cuales se subclasifican como deslizamientos propiamente dichos para suelos, desprendimientos rocosos y transformaciones estructurales (litología mixta).

3.1.2. Montaña en Roca Sedimentaria (Rm-rs)

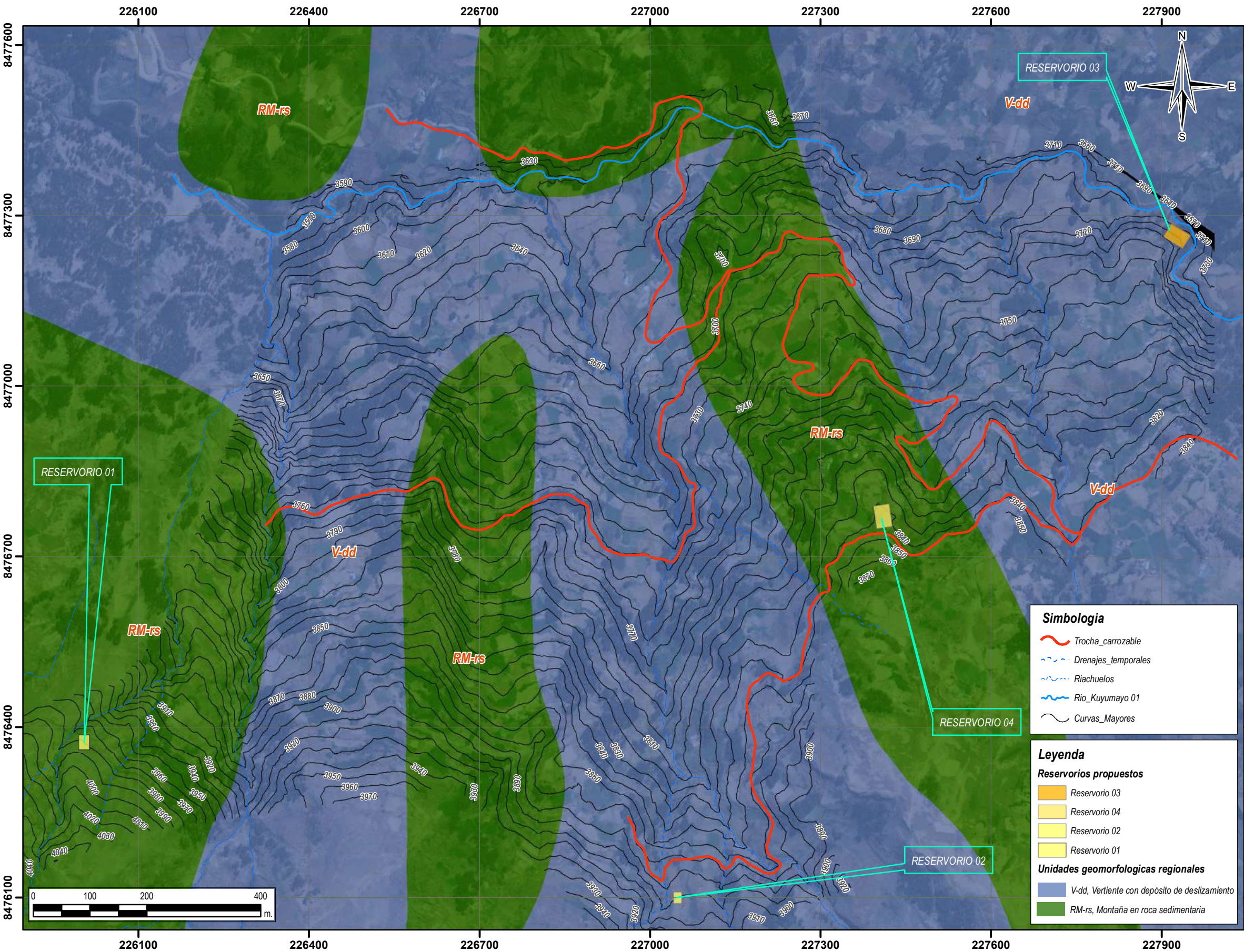
Se definen como cadenas montañosas con diferentes tipos de elevaciones que varían con pendientes de llanas hasta escarpadas, estas geoformas se desarrollan por el impacto de placas tectónicas, para el sector de estudio se localizan sobre rocas metamórficas.

Figura 12. Unidades geomorfológicas regionales del sector de estudio



Fuente: Google Earth

MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL DEL SECTOR DE ESTUDIO



Simbologia

- Trocha_carrozable
- Drenajes_temporales
- Riachuelos
- Rio_Kuyumayo 01
- Curvas_Mayores

Legenda

Reservorios propuestos

- Reservorio 03
- Reservorio 04
- Reservorio 02
- Reservorio 01

Unidades geomorfológicas regionales

- V-dd, Vertiente con depósito de deslizamiento
- RM-rs, Montaña en roca sedimentaria

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	SISTEMA DE COORDENADAS		MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ESCALA:	1/7,000	SECTOR: CALLATIAC	
		PROYECCION: UTM		DISTRITO: QUIQUIJANA		FECHA:	FEBRERO 2024		
		DATUM HORIZONTAL: WGS84		PROVINCIA: QUISPICANCHI		ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez			MAPA: MP-02
		HUSO Y ZONA: 19L Sur		REGION: CUSCO					
		ASESOR: Mgt. Fredy Víctor Bustamante Prado		ESCALA DE IMPRESION: A-3					



3.2. Geomorfología Local

Con el fin de poder obtener unidades geomorfológicas más detalladas, se recurrió a la categorización por medio de la interpolación entre las pendientes y unidades fisiográficas.

3.2.1. Unidades Geomorfológicas Locales

De acuerdo al mapeo realizado y las geoformas apoyados de pendientes, se determinó las siguientes unidades locales, que se describen a continuación de acuerdo a los mapas 04, 05, 06 y 07:

3.2.2.1. Laderas de Montaña con Pendiente muy Fuerte (muy Empinada) a Escarpada (Ldm-PmeE)

Equivale a un solo elemento geomorfológica que presenta una superficie con variaciones altimétricas fuertemente modificado por la degradación del terreno, sobre rocas metamórficas de pizarras y depósitos no consolidados, con pendientes mayores a 25 grados.

3.2.2.2. Laderas de Montaña con Pendiente Moderada a Fuerte (Empinada) (Ldm-Pme)

Se define como una unidad geomorfológica caracterizada por poseer un relieve accidentado por efectos de erosión, encima de rocas metamórficas de pizarras y depósitos no consolidados, con pendientes que oscilan entre 5 y 25 grados.

3.2.2.3. Laderas de Montaña con Pendiente Llana a Inclinado (Ldm-Plli)

Es una unidad geomorfológica que presenta una superficie con variaciones altimétricas suave por efectos de erosión, en rocas metamórficas de pizarras y depósitos no consolidados, con pendientes menores a 5 grados.

3.2.2.4. Cauce de Drenaje (Cd/Cdr)

es una unidad geomorfológica que se distingue por ser un sistema natural de transporte de agua constituido por sedimentos, depósitos de agua y residuos contaminantes formados por redes hidrográficas y depósitos naturales subterráneas (aportadas por la precipitación hídrica).

Figura 13. Unidades geomorfológicas en el sector del reservorio 01



Figura 14. Unidades geomorfológicas en el sector del reservorio 02

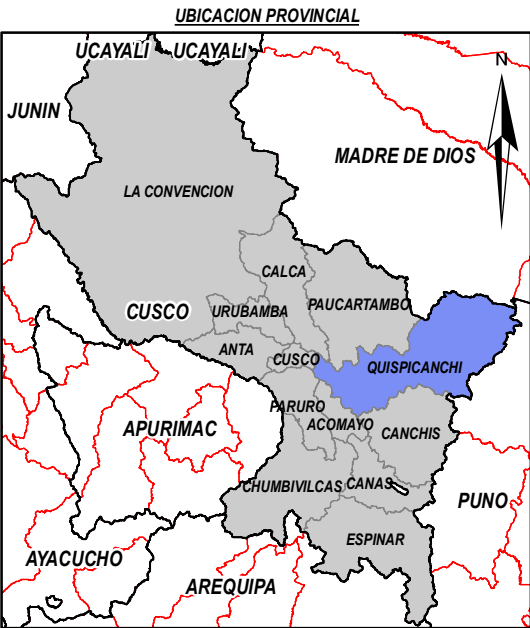
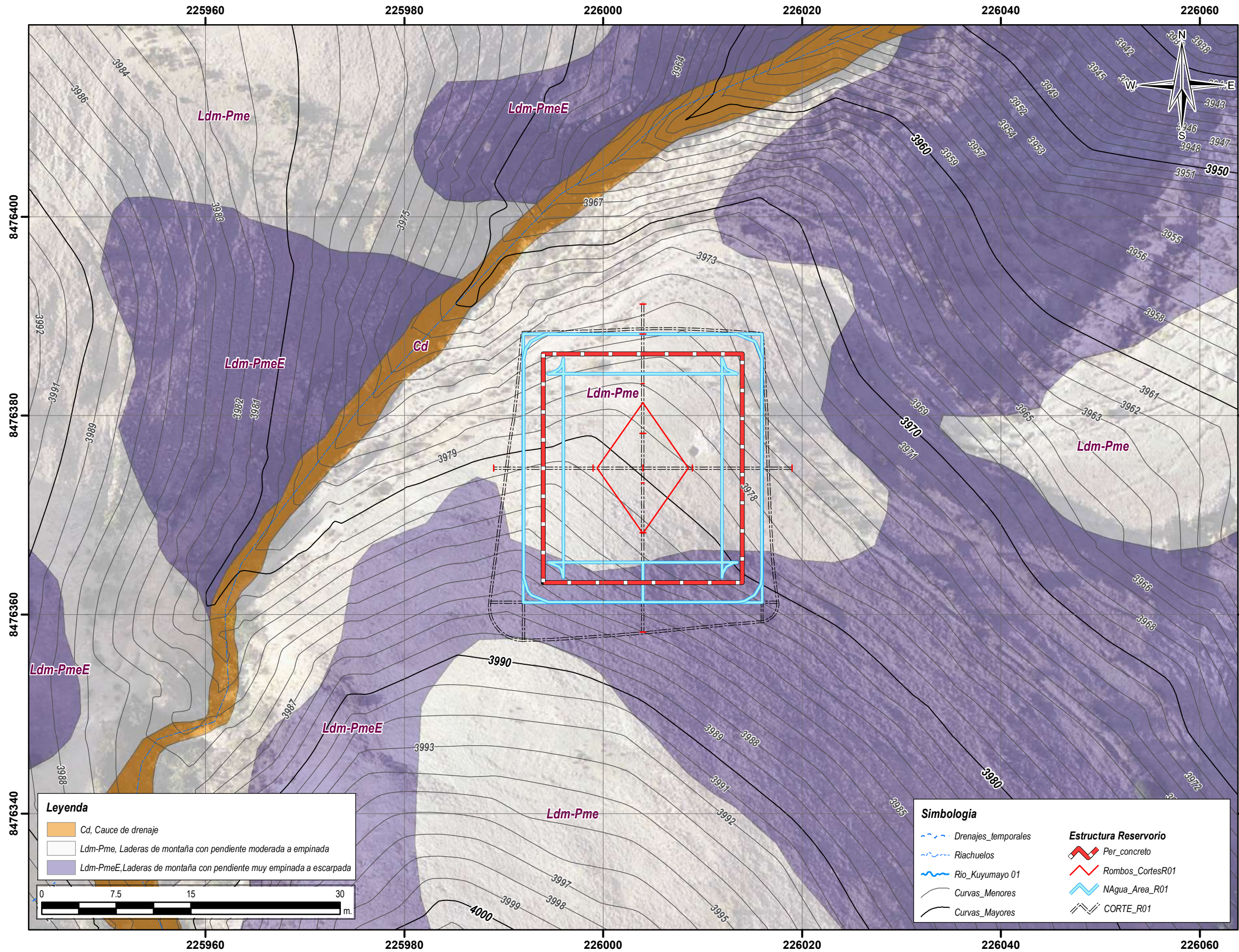




Figura 15. Unidades geomorfológicas en el sector del reservorio 01

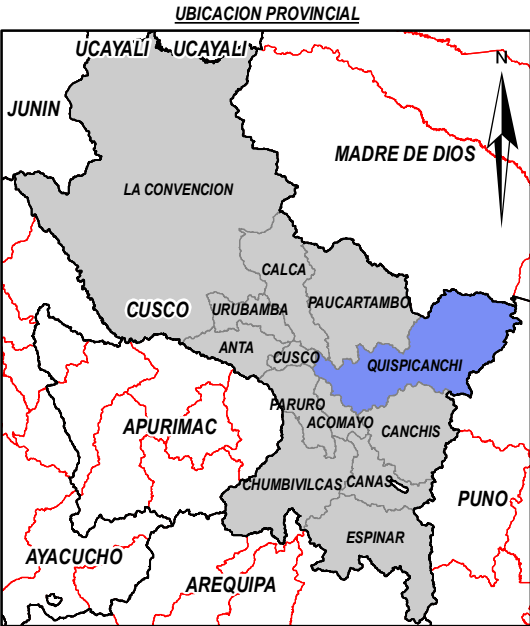
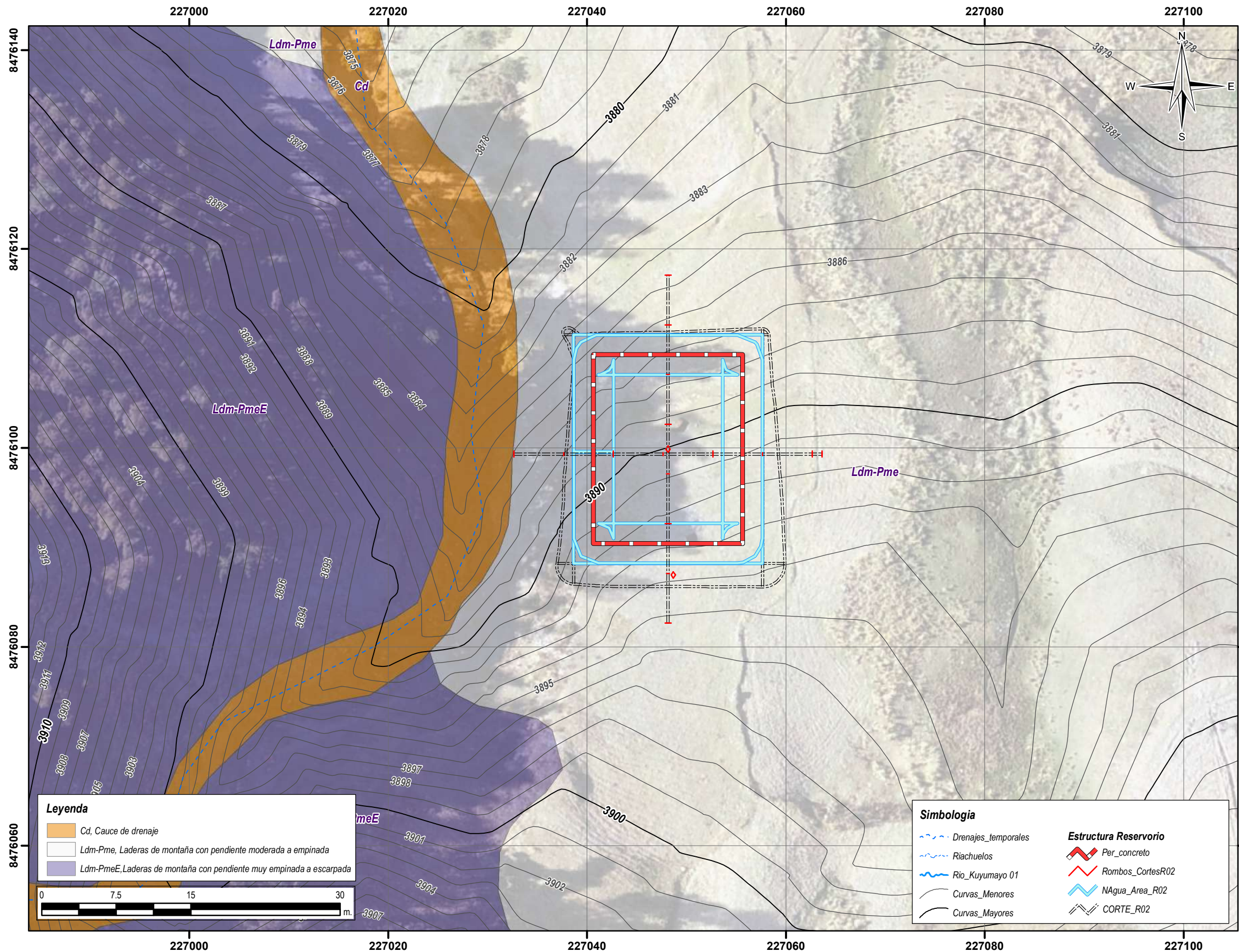


MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL DEL RESERVORIO 01



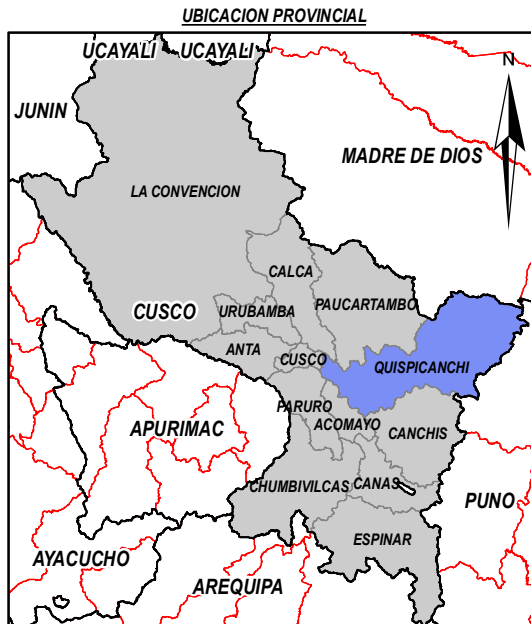
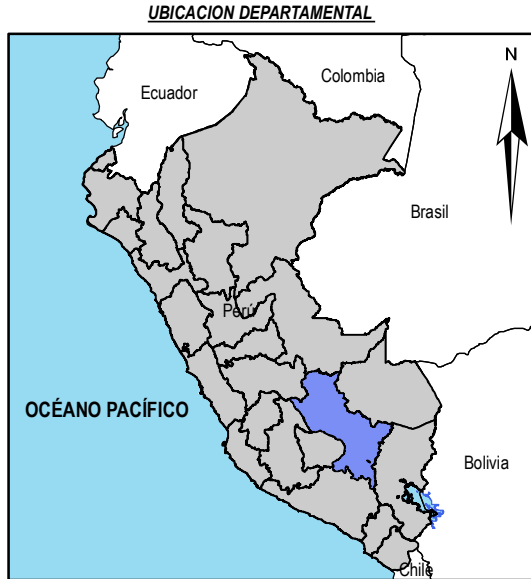
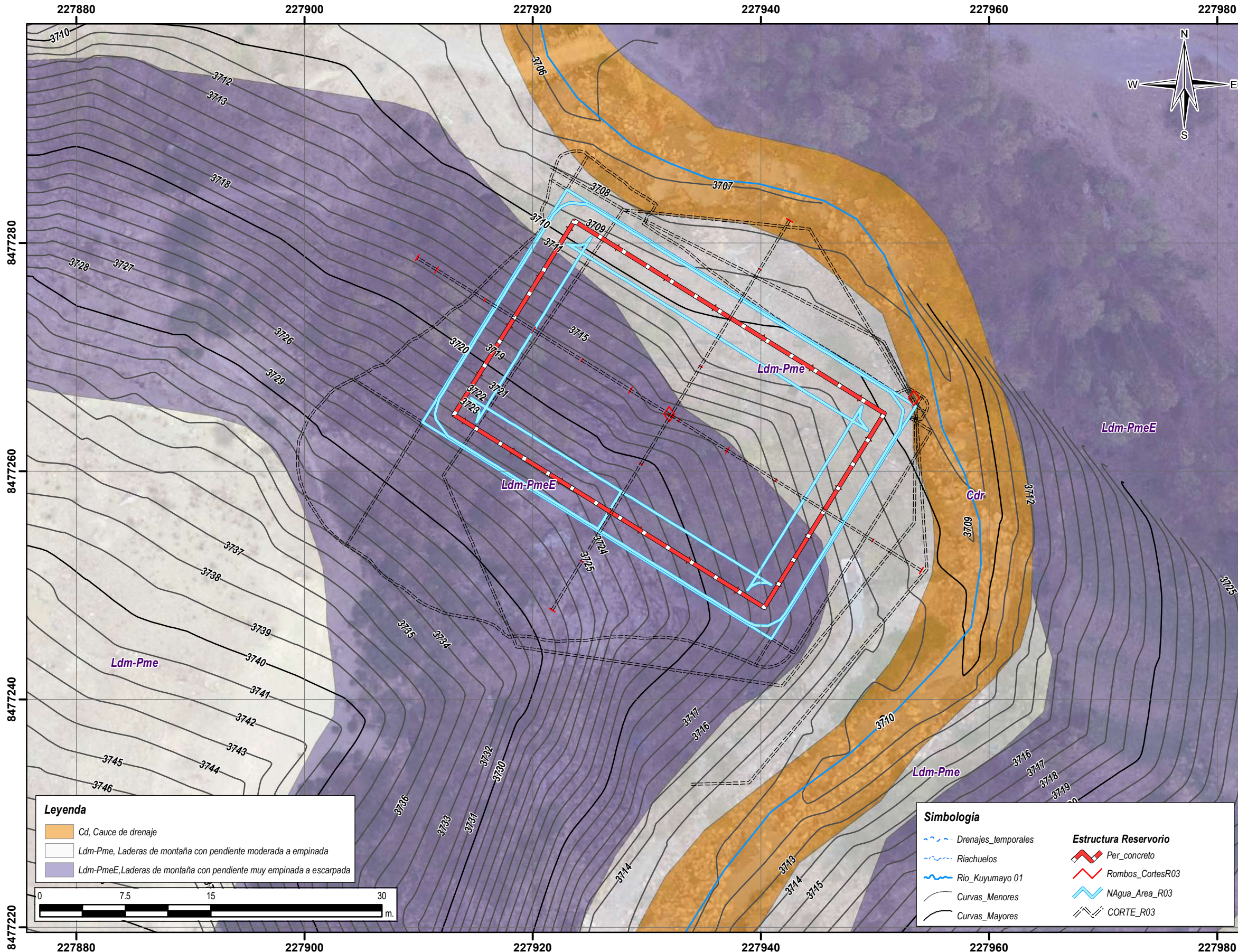
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	SISTEMA DE COORDENADAS		MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL RESERVORIO 01	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ESCALA:	1/400	SECTOR: CALLATIAC
		PROYECCION: UTM		DISTRITO: QUIQUIJANA		FECHA:	FEBRERO 2024	
		DATUM HORIZONTAL: WGS84		PROVINCIA: QUISPICANCHI		ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez		MAPA: MP-04
		HUSO Y ZONA: 19L Sur		REGION: CUSCO				
ASESOR:		Mgt. Fredy Víctor Bustamante Prado		ESCALA DE IMPRESION: A-3				

MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL DEL RESERVORIO 02



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	SISTEMA DE COORDENADAS		MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL RESERVORIO 02	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ESCALA:	1/400	SECTOR: CALLATIAC
		PROYECCION: UTM		DISTRITO:		QUIQUIJANA	FECHA:	
		DATUM HORIZONTAL: WGS84		PROVINCIA:		QUISPICANCHI	ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	MAPA: MP-05
		HUSO Y ZONA: 19L Sur		REGION:		CUSCO		
ASESOR:		Mgt. Fredy Víctor Bustamante Prado		ESCALA DE IMPRESION:	A-3			

MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL DEL RESERVORIO 03



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



**FACULTAD DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA GEOLÓGICA

SISTEMA DE COORDENADAS

PROYECCION: UTM
DATUM HORIZONTAL: WGS84
HUSO Y ZONA: 19L Sur

ASESOR:
Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado

**MAPA GEOMORFOLOGICO
LOCAL RESERVORIO 03**

DISTRITO:	QUIQUIJANA
PROVINCIA:	QUISPICANCHI
REGION:	CUSCO
ESCALA DE IMPRESION:	A-3

TESIS:

**"CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION
DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO
EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA,
PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"**

ESCALA: 1/350

FECHA: FEBRERO 2024

ELABORADO POR:

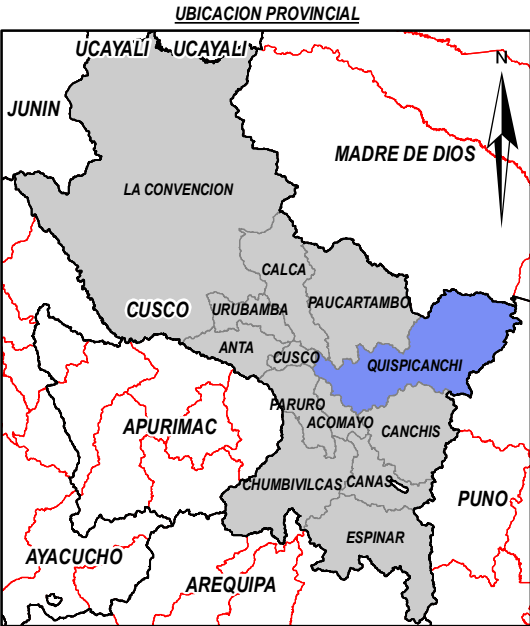
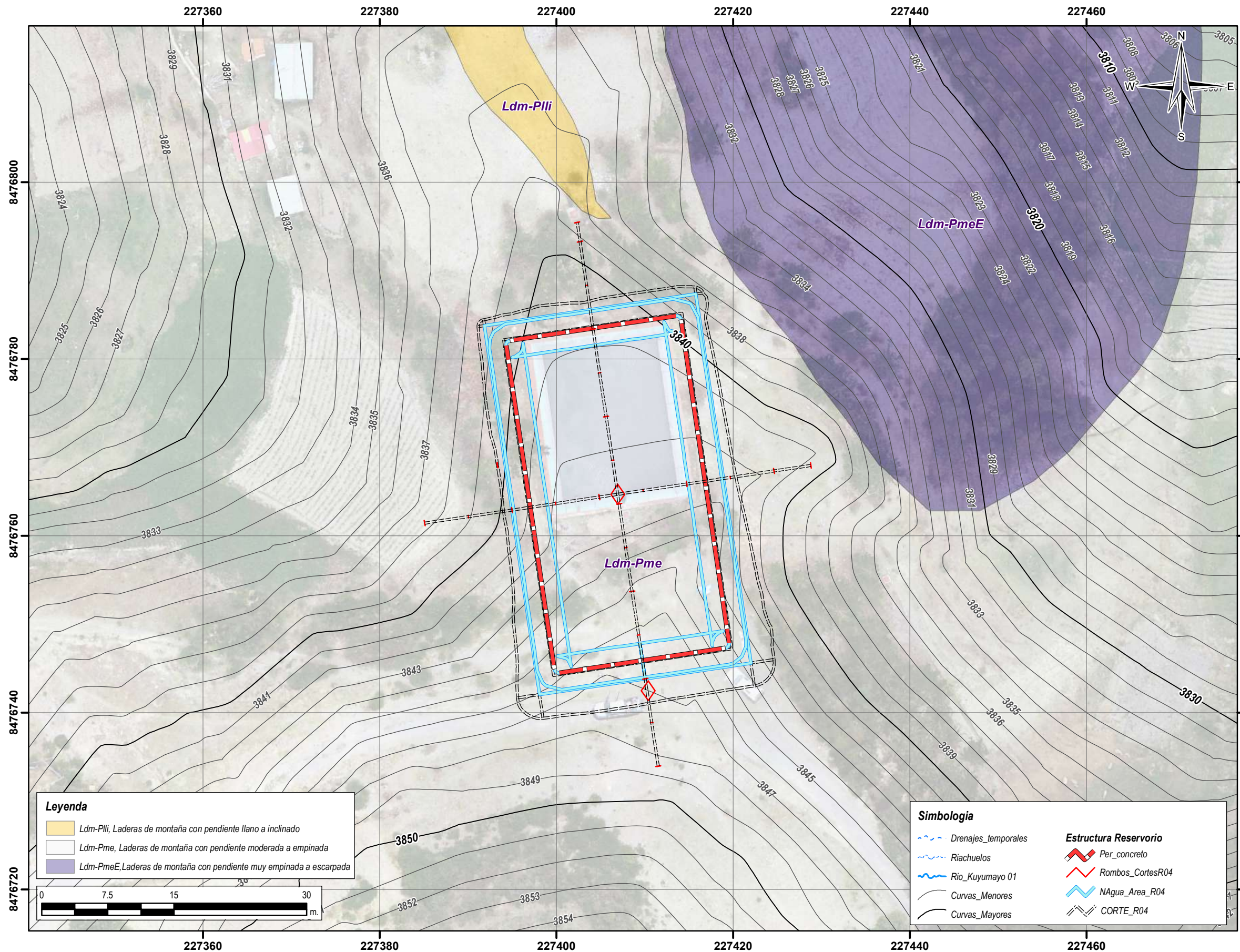
Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez

SECTOR: **CALLATIAC**

MAPA:

MP-06

MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL DEL RESERVORIO 04



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	SISTEMA DE COORDENADAS		MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL RESERVORIO 04	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ESCALA: 1/450	SECTOR: CALLATIAC
		PROYECCION: UTM		DISTRITO: QUIQUIJANA		FECHA: FEBRERO 2024	
		DATUM HORIZONTAL: WGS84		PROVINCIA: QUISPICANCHI		ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	MAPA: MP-07
		HUSO Y ZONA: 19L Sur		REGION: CUSCO			
ASESOR: Mgt. Fredy Víctor Bustamante Prado		ESCALA DE IMPRESION: A-3					



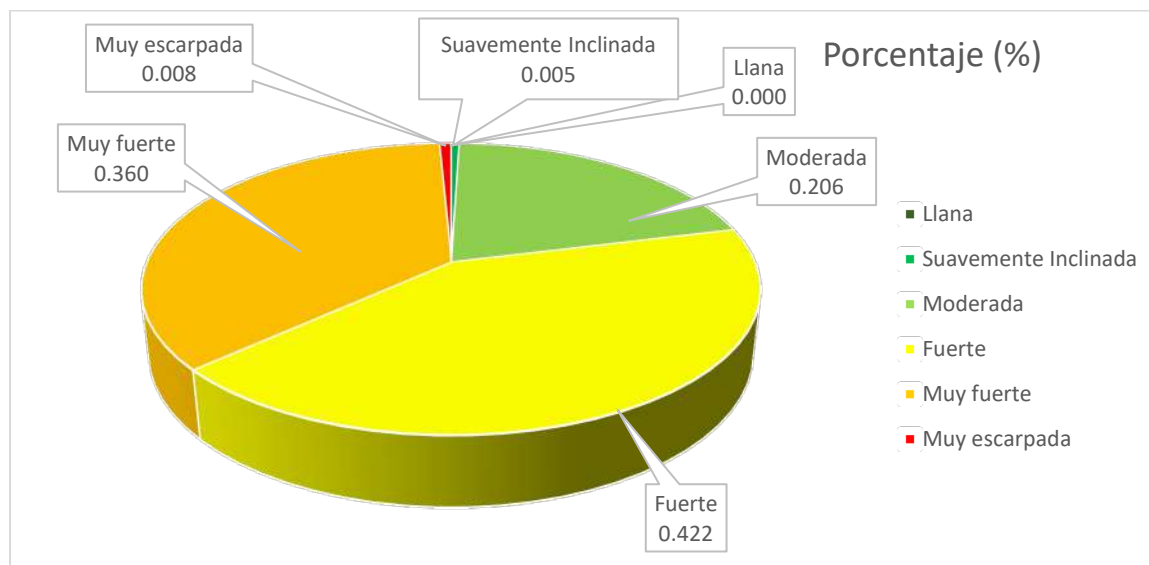
3.2.2. Pendientes

De acuerdo al levantamiento topográfico, se ha identificado y determinado las siguientes unidades de pendientes en función de grados:

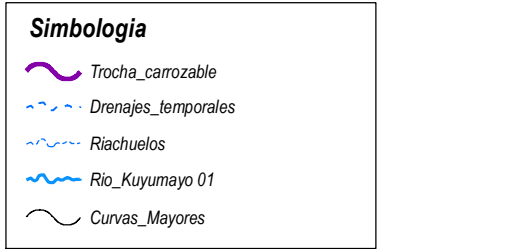
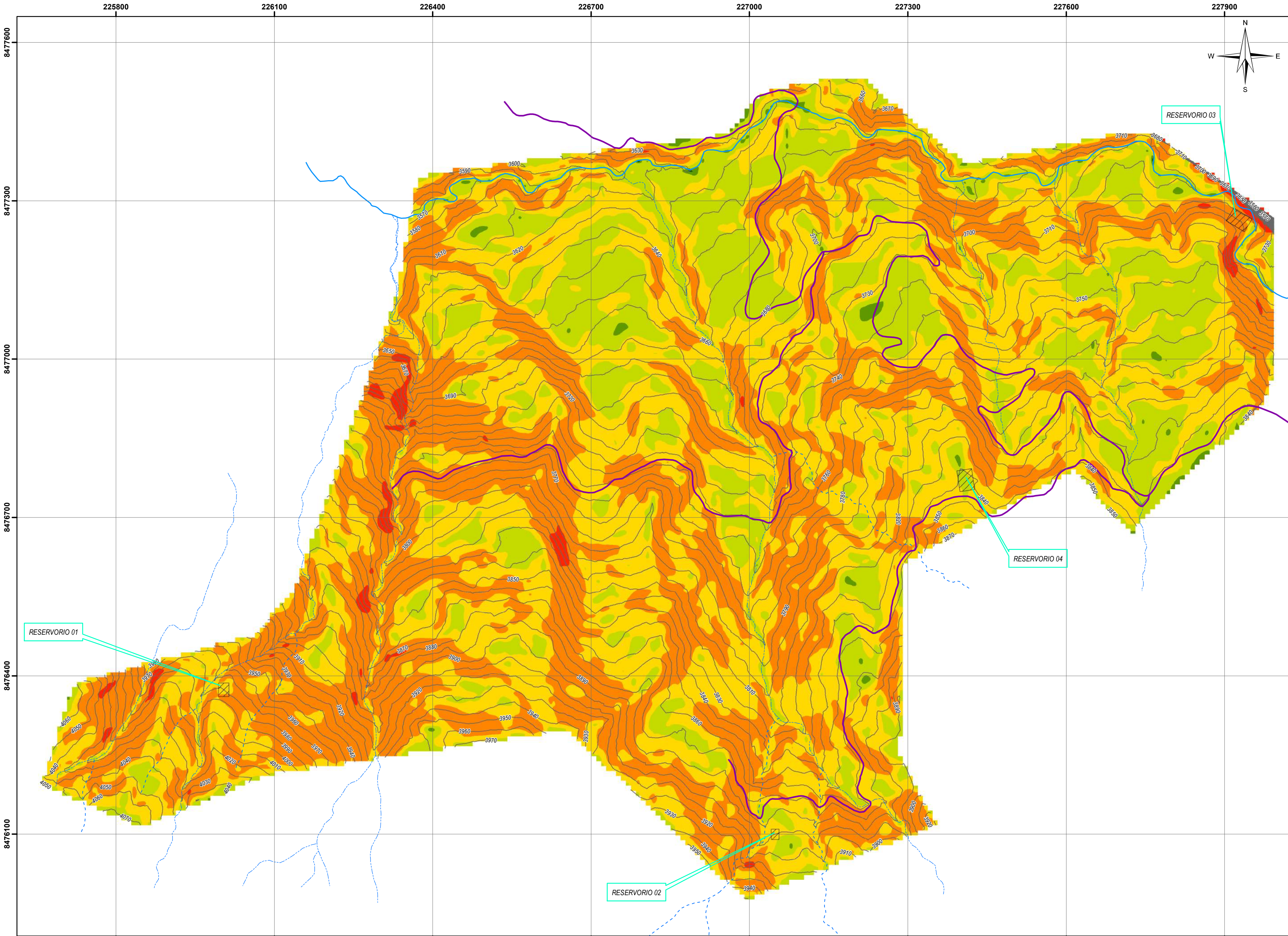
Tabla 4. Clasificación de pendientes en grados de la zona de estudio

Rangos en grados	Descripción	Área en km2	Áreas en m2	Porcentaje (%)
0°-1°	Llana	0.00014	143.88026	0.00752
1°-5°	Suavemente Inclínada	0.00941	9409.79608	0.49143
5°-15°	Moderada	0.39521	395204.55686	20.63916
15°-25°	Fuerte	0.80717	807168.86800	42.15354
25°-45°	Muy fuerte	0.68841	688411.23156	35.95153
>45°	Muy escarpada	0.01449	14492.45410	0.75683
Total		1.91483	1914830.78685	100.00000

Figura 16. Esquema de pendientes en función de porcentajes por área



MAPA DE PENDIENTES DEL SECTOR DE ESTUDIO





3.2.1.1. Pendiente Llana

Son pendientes que oscilan entre 0° a 1° , con 0.00014 Km^2 que representan el 0.00752% del área de estudio, localizadas sobre pequeños sectores en las laderas de montaña, definidos en el mapa 03 mediante un color verde oscuro intenso.

3.2.1.2. Suavemente Inclínada

Son pendientes que oscilan entre 1° a 5° , con 0.00941 Km^2 que representan el 0.49143% del área de estudio, localizadas sobre pequeños sectores en las laderas de montaña, definidos en el mapa 03 mediante un color verde.

3.2.1.3. Moderada

Son pendientes que oscilan entre 5° a 15° , con 0.39521 Km^2 que representan el 20.63916% del área de estudio, localizadas sobre las laderas de montaña, definidos en el mapa 03 mediante un color verde claro.

3.2.1.4. Fuerte

Son pendientes que oscilan entre 15° a 25° , con 0.80717 Km^2 que representan el 42.15354% del área de estudio, localizadas también sobre gran parte las laderas de montaña, definidos en el mapa 03 mediante un color amarillo.

3.2.1.5. Muy Fuerte

Son pendientes que oscilan entre 25° a 45° , con 0.68841 Km^2 que representan el 35.95153% del área de estudio, localizadas también sobre gran parte las laderas de montaña, definidos en el mapa 03 mediante un color anaranjado.

3.2.1.6. Muy Escarpada

Son pendientes mayores a 45° , con 0.01449 Km^2 que representan el 0.75683 % del área de estudio, localizadas también sobre una pequeña parte las laderas de montaña, definidos en el mapa 03 mediante un color rojo.



Figura 17. Pendientes del reservorio 01 en dirección NE



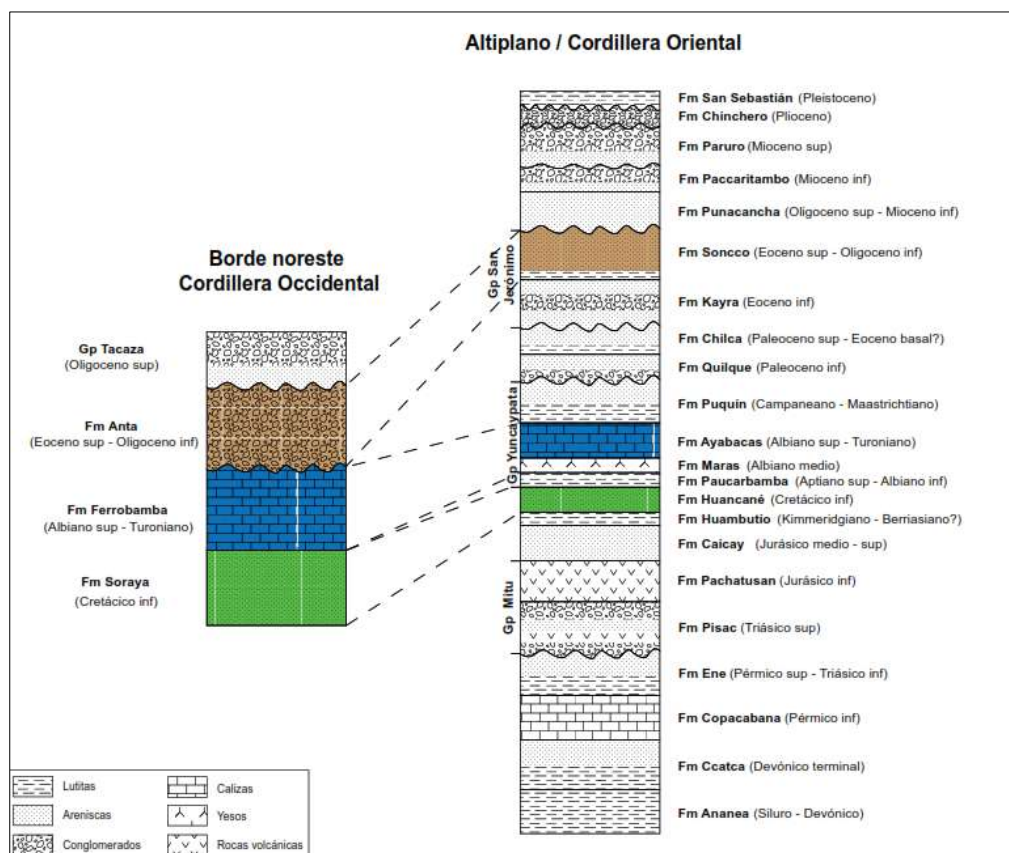
Capítulo IV

Geología

4.1. Geología Regional

Regionalmente el proyecto de investigación denominado como: “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO” se encuentra ubicado cuadrángulo Cusco 28-s, y las áreas de las infraestructuras proyectadas, que se encuentran regionalmente sobre la Formación Ananea (Mapa 08).

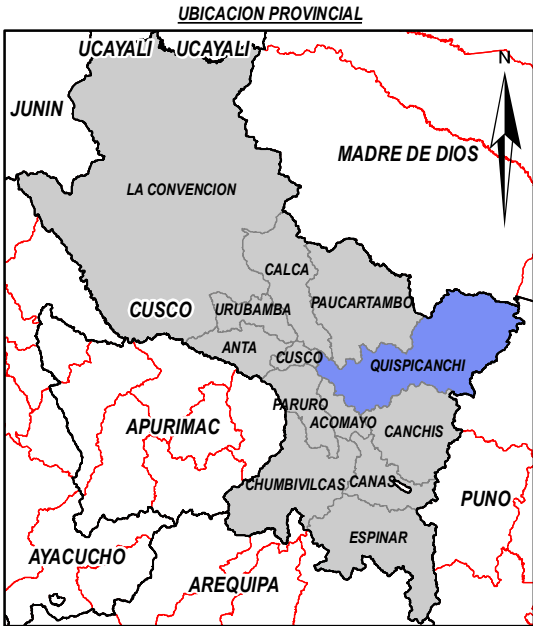
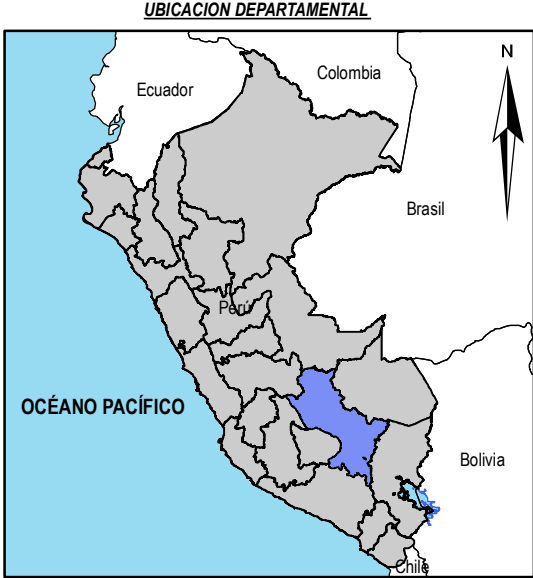
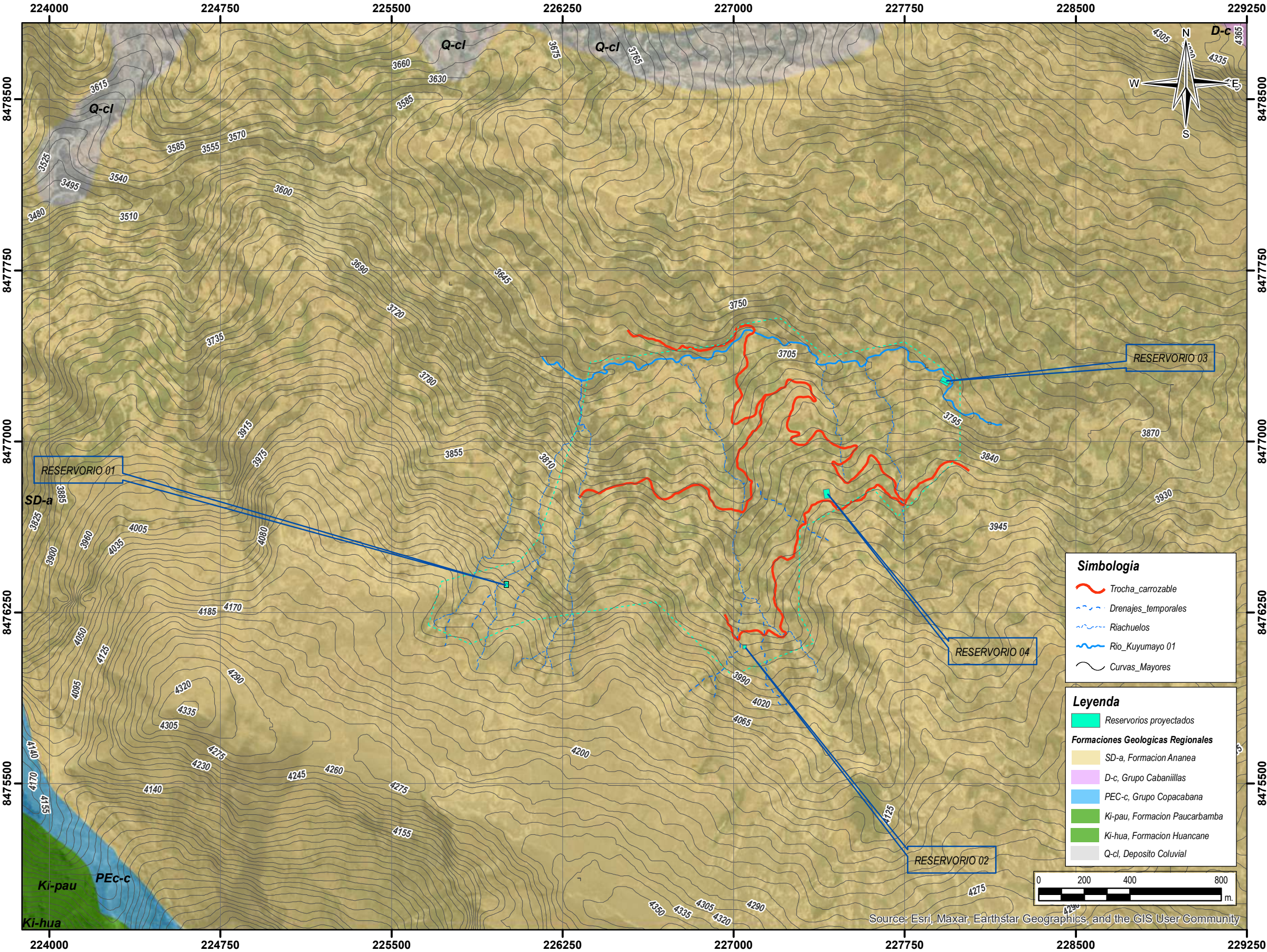
Figura 18. Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales



Fuente: Carlotto, V., Cardénas, J. y Carlier, G. (2011) - Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50

000 INGEMMET, Boletín, Serie A

MAPA GEOLOGICO REGIONAL DEL SECTOR DE ESTUDIO



Simbología

- Trocha_carrozable
- Drenajes_temporales
- Riachuelos
- Rio_Kuyumayo 01
- Curvas_Mayores

Leyenda

- Reservorios proyectados
- Formaciones Geológicas Regionales
 - SD-a, Formacion Ananea
 - D-c, Grupo Cabanillas
 - PEC-c, Grupo Copacabana
 - Ki-pau, Formacion Paucarbamba
 - Ki-hua, Formacion Huancane
 - Q-cl, Deposito Coluvial



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

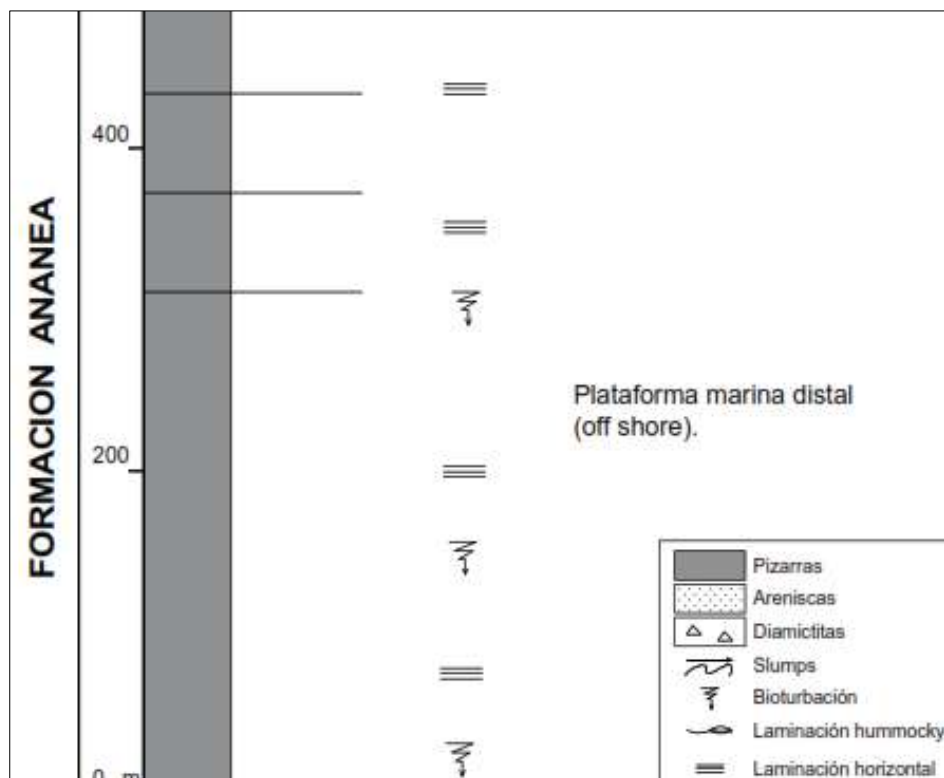
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	SISTEMA DE COORDENADAS		MAPA GEOLOGICO REGIONAL	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ESCALA:	1/17,500	SECTOR: CALLATIAC
						FECHA:	FEBRERO 2024	
						ELABORADO POR:		MAPA: MP-08
						Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez		
PROYECCION: UTM		DISTRITO: QUIQUIJANA						
DATUM HORIZONTAL: WGS84		PROVINCIA: QUISPICANCHI						
HUSO Y ZONA: 19L Sur		REGION: CUSCO						
ASESOR:		ESCALA DE IMPRESION: A-3						
Mgt. Fredy Víctor Bustamante Prado								

Las formaciones geológicas del mapa 08 se detallan a continuación:

4.1.1. Formación Ananea (SD-a)

De acuerdo a **Carlotto et. al., (2011)**, Es una unidad que muestra una composición homogénea en casi todas las flores; presenta una composición de pizarras y filitas de color negro a grisáceo sin estructura aparente, y se aprecia mejor cuando se intercala con pequeños bancos de cuarcita, cuyo tamaño varía de 5 a 20 cm. Estas rocas sugieren un medio marino silicoclástico más alejado. Su altura aproximada es de 1500 metros, lo que puede deberse a que la tectónica repite las secuencias. Las rocas se encuentran severamente afectadas por deformación y con laminación esquistosa que muestran al menos dos etapas de deformación. La direccionalidad de las esquistosidades S1 y S2 es NO-SE y NE-SO, respectivamente, y es bastante similar a la de la serie mesocenozoica.

Figura 19. Columna estratigráfica de la Formación Ananea



Fuente: Carlotto, V., Cardénas, J. y Carlier, G. (2011) - Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50

000 INGEMMET, Boletín, Serie A

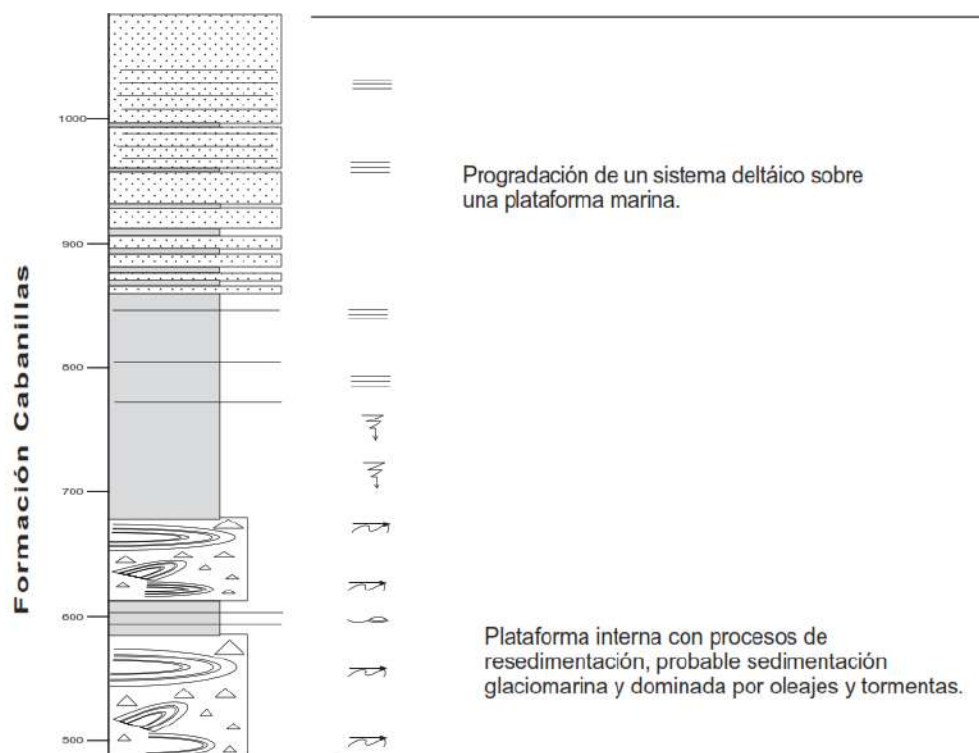


4.1.2. Grupo Cabanillas (D-c)

De acuerdo a **Carlotto V. y J. Cárdenas (2003)**, Litológicamente, está formado por pizarrosos y esquistos oscuros con variaciones de gris a negro, sin estratificación evidente, y es bastante consistente en casi todas las floras. Se distingue por su intercalación con pequeñas cuarcitas alargadas de entre 5 y 20 cm de tamaño. Estas rocas sugieren un medio marino silicoclástico más alejado. Su distancia aproximada es de 1500 metros.

Junto con los pliegues, las rocas se encuentran severamente fracturadas y presentan esquistosidades.

Figura 20. Columna estratigráfica de la Formación Cabanillas

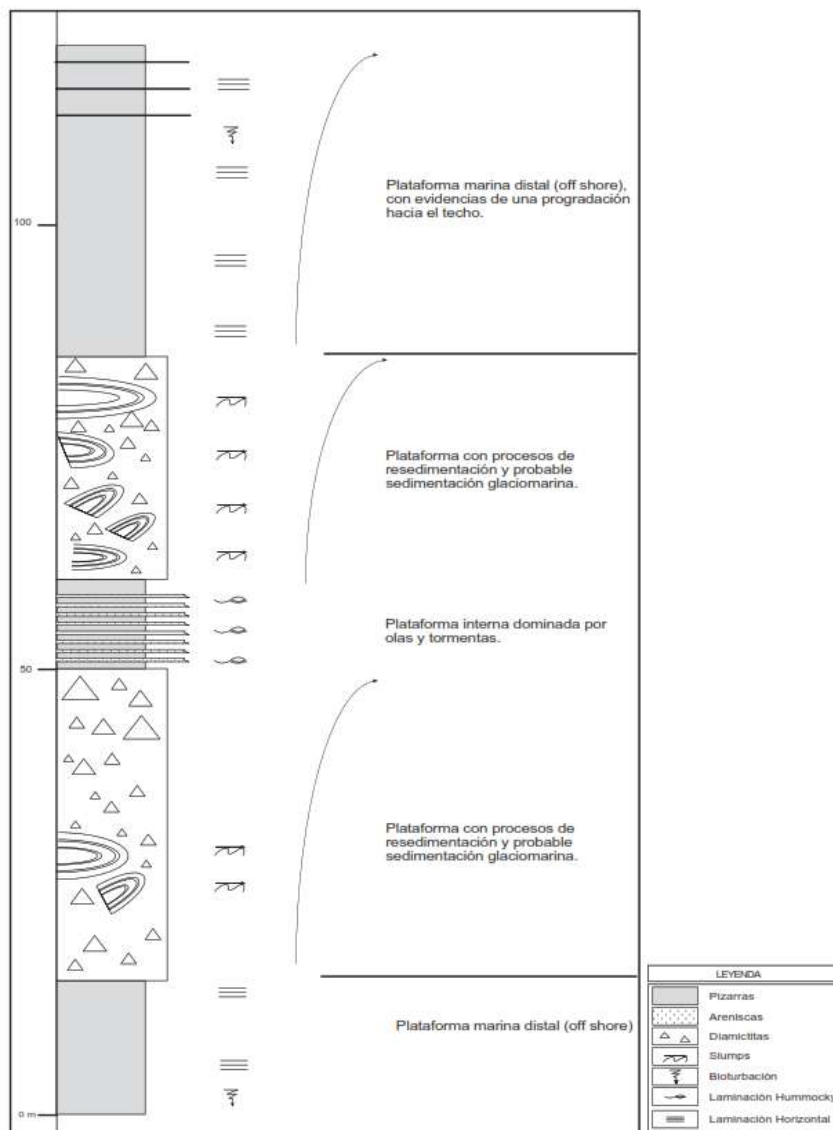


Fuente: Carlotto, V. y Cárdenas, J. (2003) – *Revisión y Actualización del cuadrángulo de cusco (28-s) - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A*

4.1.3. Grupo Copacabana (PEC-c)

De acuerdo a **Carlotto V. y J. Cárdenas (2003)**, La estructura se conforma predominantemente por lutitas marinales y calizas. De composición fina, con características oolíticas o en forma de nódulos, las calizas varían en color del negro al negro. Estas rocas se distinguen por la presencia de coral silicificado, braquiópodos y fósiles de fusulina. Las lutitas son negras e incluyen restos vegetales.

Figura 21. Columna estratigráfica del Grupo Copacabana



Fuente: Carlotto, V. y Cárdenas, J. (2003) – Revisión y Actualización del cuadrángulo de cusco (28-s) - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A



4.1.4. Formación Paucarbamba (Ki-pau)

De acuerdo a **Carlotto et. al., (2011)**, La formación consiste en una variedad de calcárea verde, margas, amarilla, rojiza y areniscas que se alternan para crear secuencias grano-estrato ubicadas sobre una zona de plataforma continental. Los depósitos primarios de la Formación Paucarbamba se ubican en la superficie alterada por oxidación que interviene en la región árida final de la Formación Huancané. Al parecer, los yesos y lutitas de la Formación Maras se están desplazando gradualmente hacia la zona de alta tecnología. La medición en Paucarbamba (Cuadrángulo de Urubamba 27-r) es de 50 metros, pero puede experimentar variaciones en sentido horizontal y alcanzar los 100 metros.

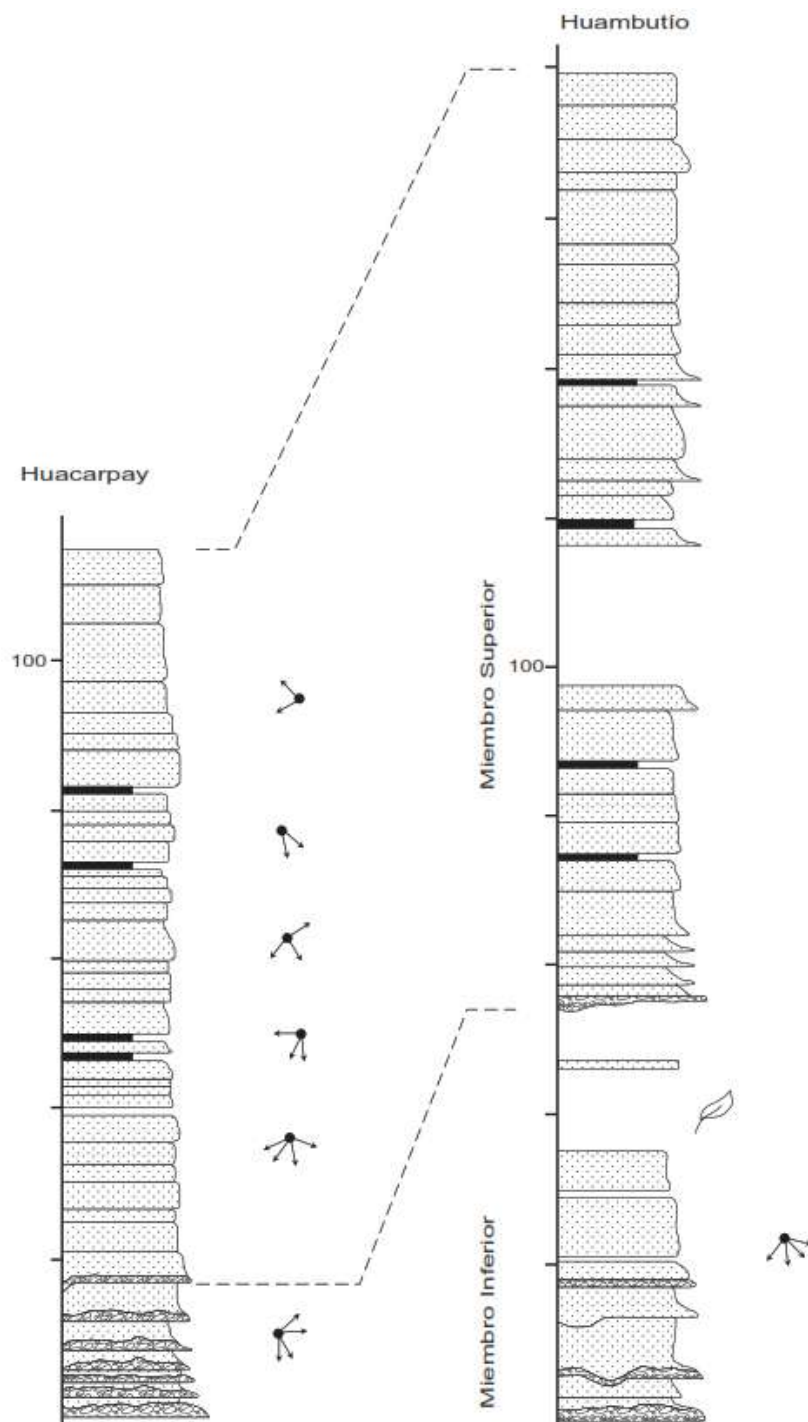
4.1.5. Formación Huancané (Ki-hua)

De acuerdo a **Carlotto V. y J. Cárdenas (2003)**, Dos miembros conforman la Formación Huancané. Conglomerados, areniscas conglomeradas y cuarzosas blancas conforman la cara inferior. De acuerdo con las secuencias fluviales, las bases de las riberas presentan canales y la granulometría en gradación descendente. El Miembro Superior está conformado por pequeñas lutitas rojas o negras o un nivel calcáreo (Queqayoc, la parte alta de Huancalle y la parte norte de Pisac, Cuadrángulo de Calca). La segunda unidad está compuesta principalmente por grandes barras isnosas con laminaciones oblicuas, que son únicas por extenderse a lo largo de varios kilómetros. Se interpretan como resultado de la yuxtaposición de capas y unificación de conjuntos de corrientes fluviales alimentados por el procedimiento NE, también conocido como el escudo brasileño.

[illegible]

Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez

Figura 23. Columna estratigráfica de la Formación Huancané levantada en Huacarpay y Huambutio



Fuente: Carlotto, V. y Cárdenas, J. (2003) – Revisión y Actualización del cuadrángulo de cusco (28-s) - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A

4.1.6. Depósito Coluvial (Q-cl)

De acuerdo a **Carlotto V. y J. Cárdenas (2003)**, Corresponden a los materiales depositados pendientes donde se incluyen los deslizamientos. Se han mapeado los deslizamientos más significativos, con especial énfasis en San Lorenzo, un megadeslizamiento que representaba el río Apurímac. También se destaca un número significativo de cascadas siguiendo el trayecto del río Apurímac, incluyendo la cascada activa de Yaurisque. Diversos deslizamientos en rocas pizarrosas se encuentran en la Cordillera Oriental.

Figura 24. Afloramiento de pizarras de la Formación Ananea, en un corte de un camino de herradura



Figura 25. Afloramiento de pizarras de la Formación Ananea, en una ladera de montaña



4.2. Geología Local

De acuerdo al cartografiado realizado en campo, se ha identificado las siguientes unidades litoestratigráficas(geológicas) locales (MAPAS 09, 10,11 y 12), en los sectores de los reservorios propuestos:

4.2.1. Pizarras (Rmet-Pzr)

En los sectores de los reservorios propuestos se ha identificado afloramientos de rocas metamórficas foliadas que corresponden específicamente a pizarras, ubicadas a lo largo todos los cimientos de las infraestructuras planteadas, que poseen una alteración media y a su vez la resistencia posible varía entre valores de rocas R3, consideradas como rocas medianamente fuertes, debido a su resistencia que varía entre 25-50 Mpa. Su alteración es media, agregando a lo anterior poseen rellenos de óxidos y/o calcita en sus fracturas, asimismo están constituidas



de 3 a 4 familias de fracturas dependiendo del sector. (Ver anexo B, descripciones macroscópicas de muestras de mano).

Figura 26. Afloramiento de pizarras correspondiente a la Formación Ananea



Figura 27. Afloramientos de pizarras en el sector del reservorio 01 correspondiente a la Formación Ananea



Figura 28. Afloramiento de pizarras en el sector del reservorio 02





4.2.2. Depósitos Coluvio Aluviales (Q-CoAl)

Se trata de productos de decardenas no consolidados que son alterados y transportados a lo largo de las laderas por macizos rocosos, ubicados bastante cerca de las desembocaduras permanentes de las corrientes fluviales con pequeñas plataformas. Generalmente, están compuestos por gravas insolubles (guijarros, cantos y bloques) angulosas con suelos arcillosos, movilizadas por el agua y las fosas en forma de derrubios. Estos depósitos no consolidados tienen una envergadura que oscila entre 1,5 y 4 metros.

Figura 29. Depósitos Coluvio aluviales en el Reservorio 03



4.2.3. Depósitos Coluviales (Q-Co)

Son formaciones sedimentarias no consolidados resultantes de la modificación y el reciclaje in situ de los macizos rocosos a través de las laderas. Generalmente, están compuestos por gravas insolubles (guijarros, cantos y bloques) angulosas con suelos arcillosos, transferidas por el agua y las fosas en forma de derrubios. Estos depósitos no consolidados poseen un espesor que varía entre 0.2 a 2.5 metros aproximadamente

Figura 30. Depósitos coluviales abajo de una ladera de pendiente escarpada.



Figura 31. Depósitos coluviales en el sector del reservorio 02 con 1.5m de profundidad



4.2.4. Depósitos Lacustres (Q-lcs)

Forman parte de acumulaciones de partículas finas, por lo que pueden disponer de una alta cantidad de compuestos orgánicos. Su matriz contiene principalmente una fina capa de limo y arcilla, que forma la capa blanda. Como suelo, son materiales inadecuados para trabajos de construcción debido a su poca resistencia. Dichos depósitos no consolidados poseen un espesor que varía entre 0.2 a 1.4 m aproximadamente.

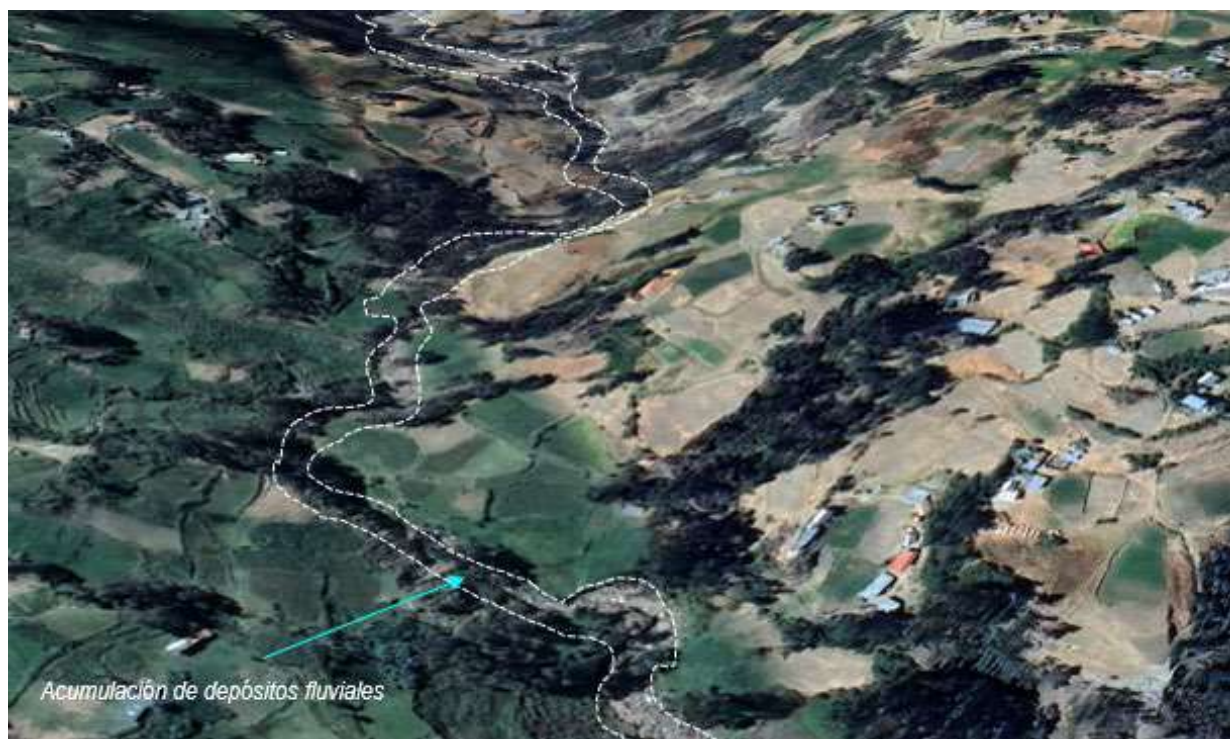
Figura 32. *Depósitos lacustres en el sector del reservorio 02*



4.2.5. Depósitos Fluviales (Q-flv)

Corresponden a depósitos de agua y precipitaciones, dando lugar a la acumulación de fragmentos de roca y lodos., los cuales están compuestos principalmente de arenas, gravas y cantos. Como suelo, son materiales con un alto grado de fricción interna pero nula cohesión, dichos depósitos no consolidados poseen un espesor que varía entre 2 a 3 m aproximadamente.

Figura 33. Depósitos Fluviales en el área de estudio vista al SE



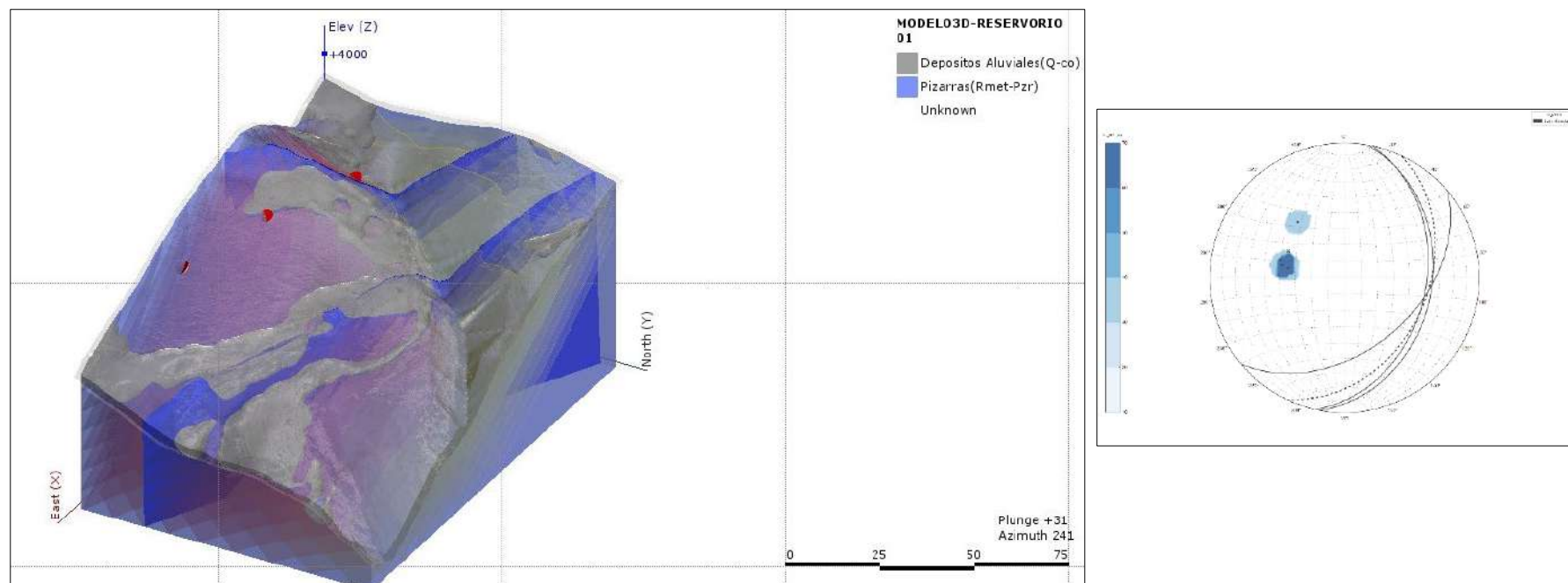
Nota: Modificado de Google Earth

Para un mejor comprendimiento de las diferentes áreas de estudio se realizaron modelos geológicos 3D mediante Leapfrog Geo 4.0, tomando como base los mapeos geológicos superficiales, dando como resultado las siguientes figuras y secciones geológicas referenciales (ver en anexos) de los reservorios propuestos, los cuales son modelos geológicos inferidos, y detalla la aproximación de las litologías del subsuelo. Los espesores de los suelos son variables de 20 centímetros a máximo 3 metros, mas no en toda su extensión.

Este modelamiento nos dará un mejor comprendimiento de la distribución de las litologías mas no un detalle optimo y real debido a estar basado solo en mapeo superficial.

4.2.6. Modelo Geológico 3D del Sector del Reservorio 01

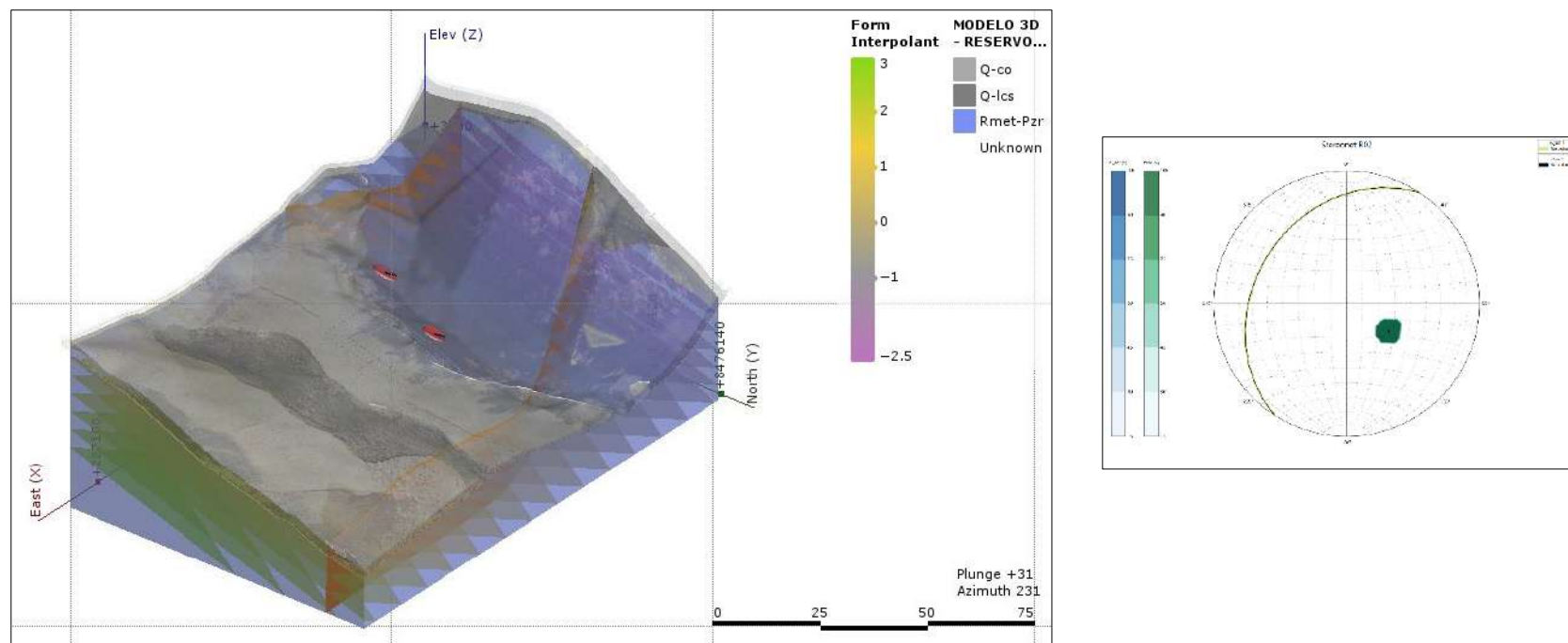
Figura 34. Modelo Geológico 3D del Reservorio 01



Se observa de acuerdo a la figura 21, afloramientos de rocas metamórficas foliadas (Pizarra) en diversos sectores, asimismo presenta pequeñas acumulaciones de suelos coluviales constituidas de fragmentos de pizarras y arcillas como matriz, la dirección e inclinación de las esquistosidades son similares (esquistosidad promedio: Azimut N25, con buzamiento 37SE). La infraestructura propuesta se encontrará sobre afloramientos de pizarras, puesto que los suelos en este sector no son potentes, siendo inferiores a 1 metro aproximadamente en su mayor zona de acumulación.]

4.2.7. Modelo Geológico 3D del Sector del Reservoirio 02

Figura 35. Modelo Geológico 3D del Reservoirio 02

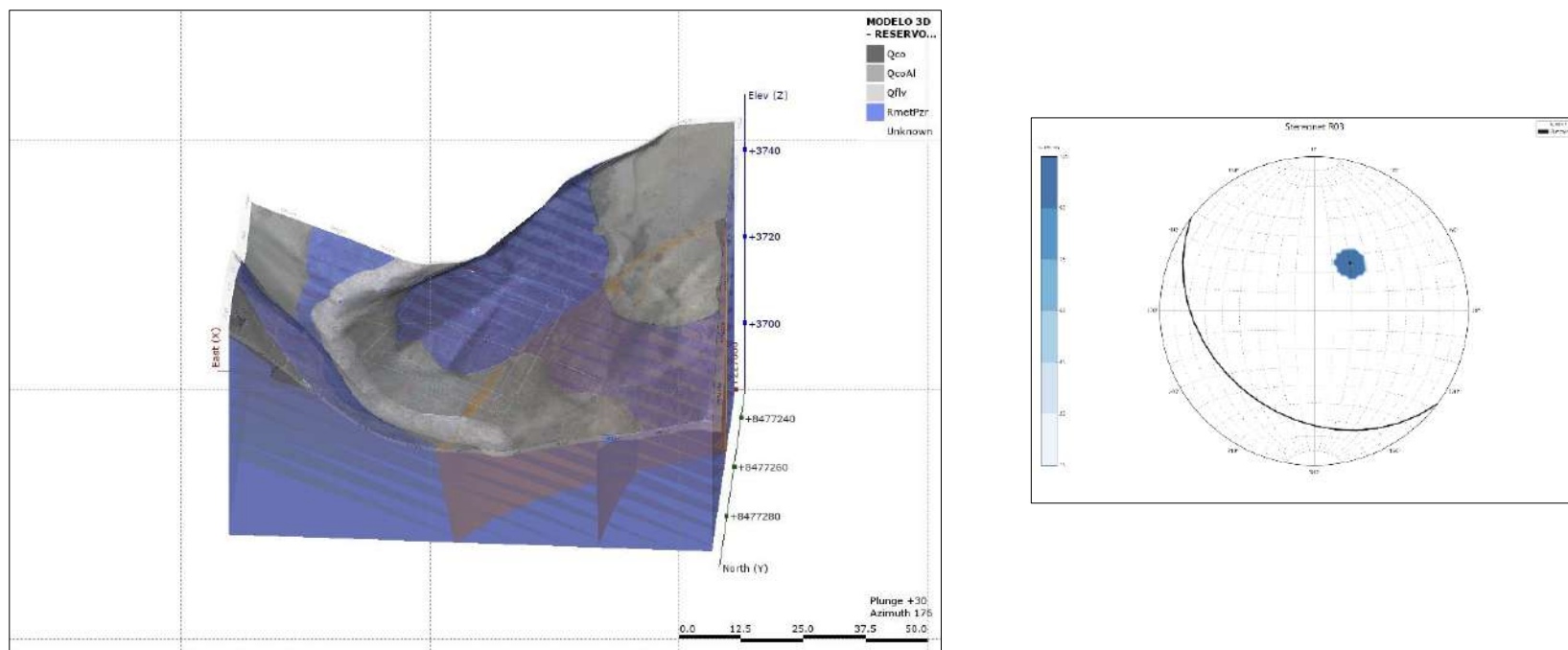


Se observa de acuerdo a la figura 22, afloramientos de rocas metamórficas foliadas (Pizarra) al Este, asimismo presenta pequeñas acumulaciones de suelos coluviales constituidas de fragmentos de pizarras y arcillas como matriz, así como depósitos lacustres con mayor contenido de arcillas y componentes orgánicos, por otro lado, la dirección e inclinación de las esquistosidades son similares (esquistosidad promedio: Azimut N213, con buzamiento 31NW). La infraestructura propuesta se encontrará sobre afloramientos de pizarras, puesto que los suelos en este sector no son potentes, siendo inferiores a 1.5 metros aproximadamente en su mayor zona de acumulación.



4.2.8. Modelo Geológico 3D del Sector del Reservorio 03

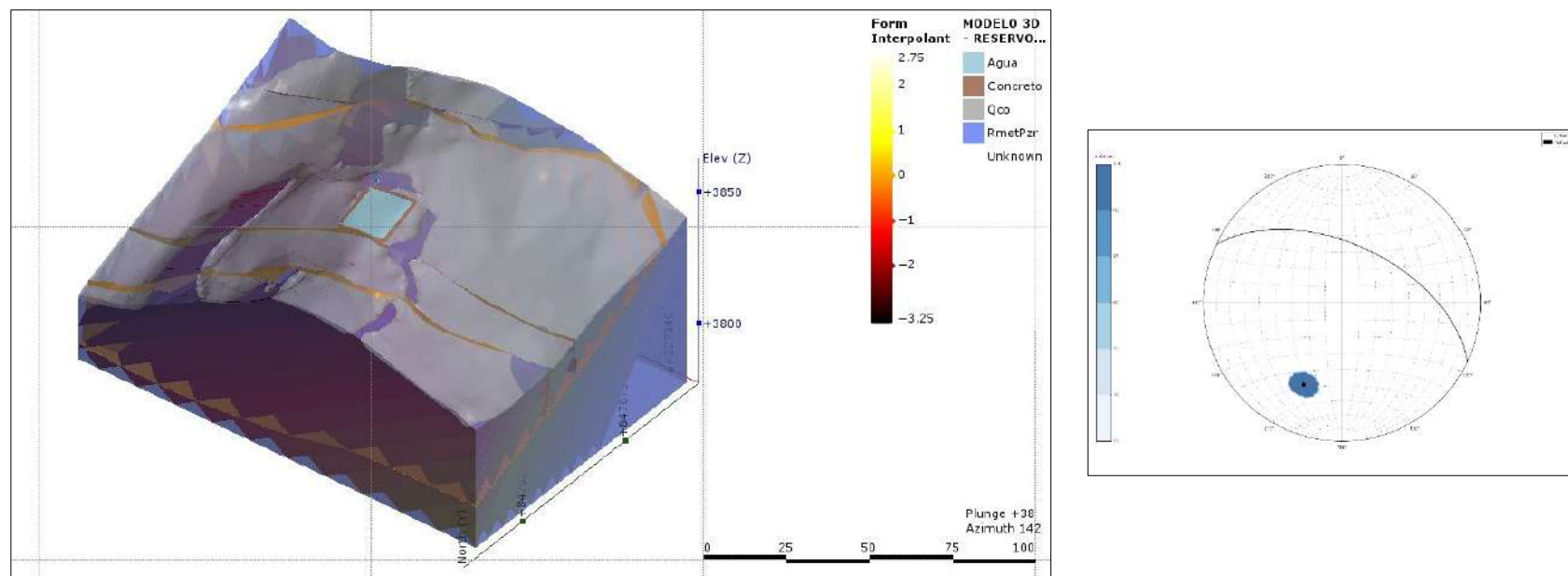
Figura 36. Modelo Geológico 3D del Reservorio 03



Se observa de acuerdo a la figura 23, afloramientos de rocas metamórficas foliadas (Pizarra) en diversos sectores del área propuesta para el reservorio 03, asimismo se observa acumulaciones de suelos coluviales-aluviales en dirección SW/NE constituidas de fragmentos de pizarras y arcillas como matriz, así como depósitos fluviales con mayor contenido de arenas, gravas, cantos bloques de rocas(cuarcitas, pizarras), asimismo, la dirección e inclinación de las esquistosidades son similares (esquistosidad promedio: Azimut N127, con buzamiento 32SW). La infraestructura propuesta se encontrará sobre afloramientos de pizarras, puesto que los suelos en este sector no son potentes, siendo inferiores a 2.5 metros aproximadamente en su mayor zona de acumulación.

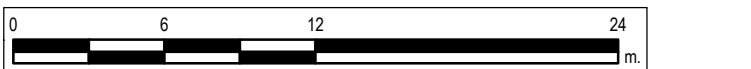
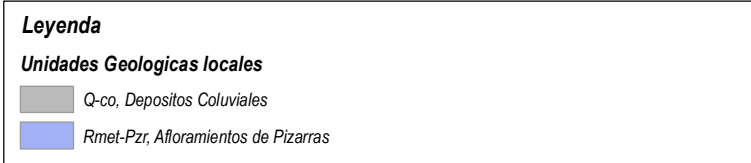
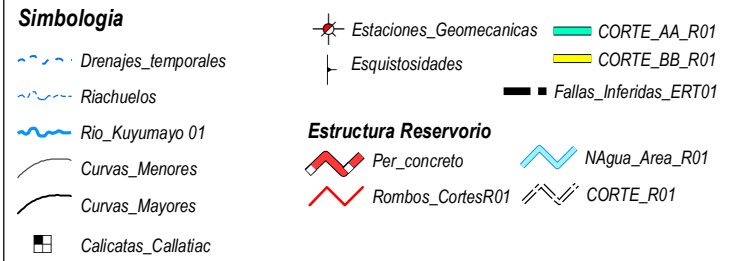
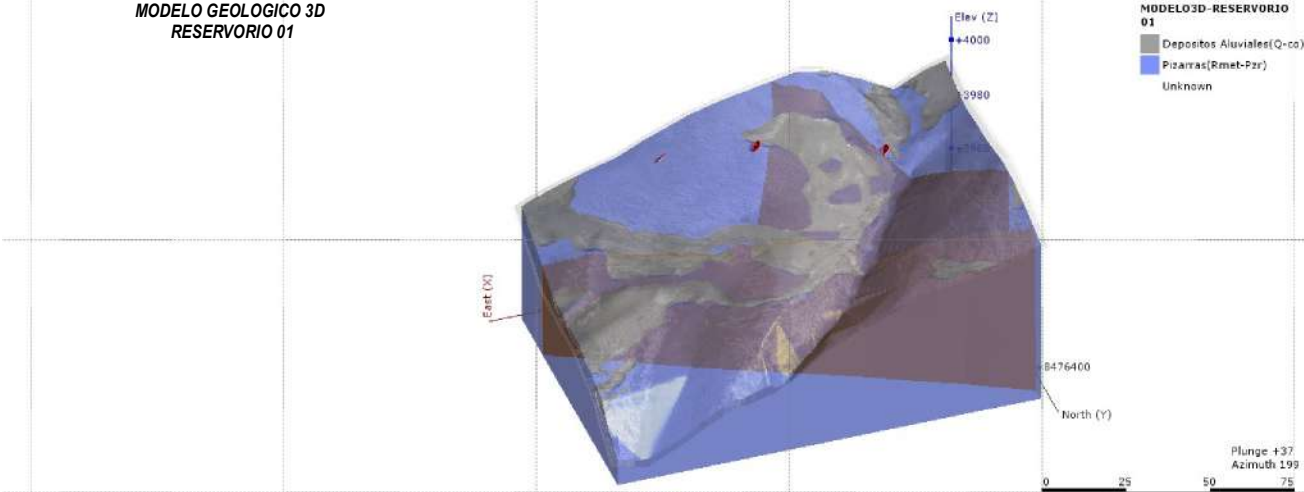
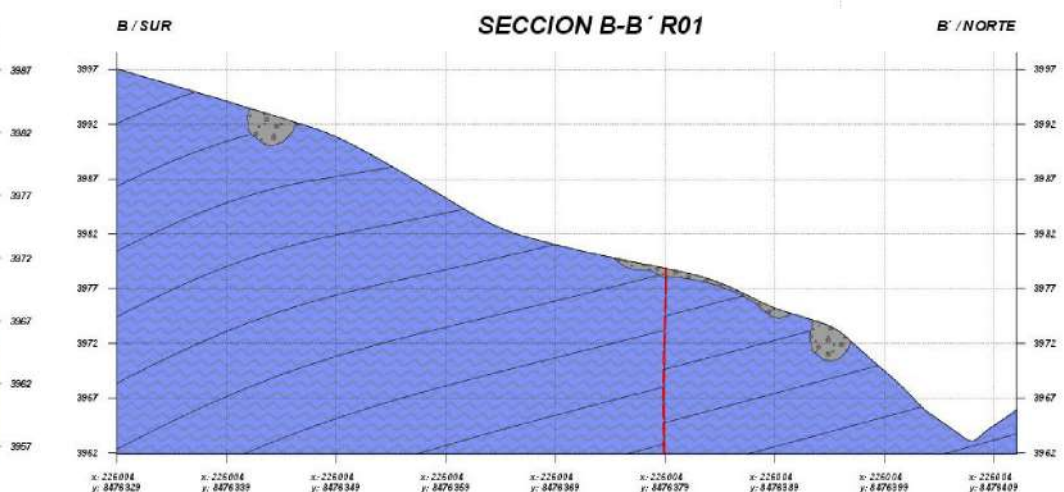
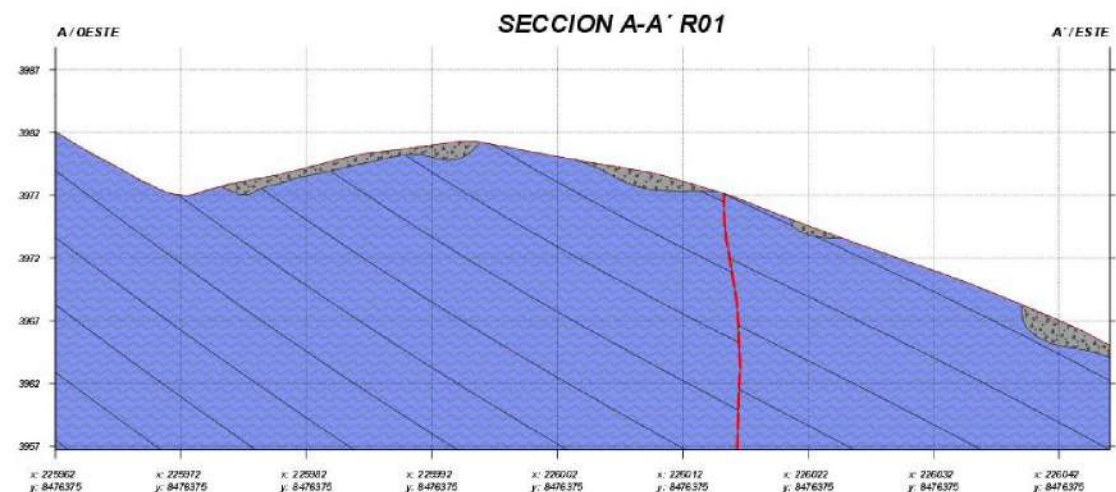
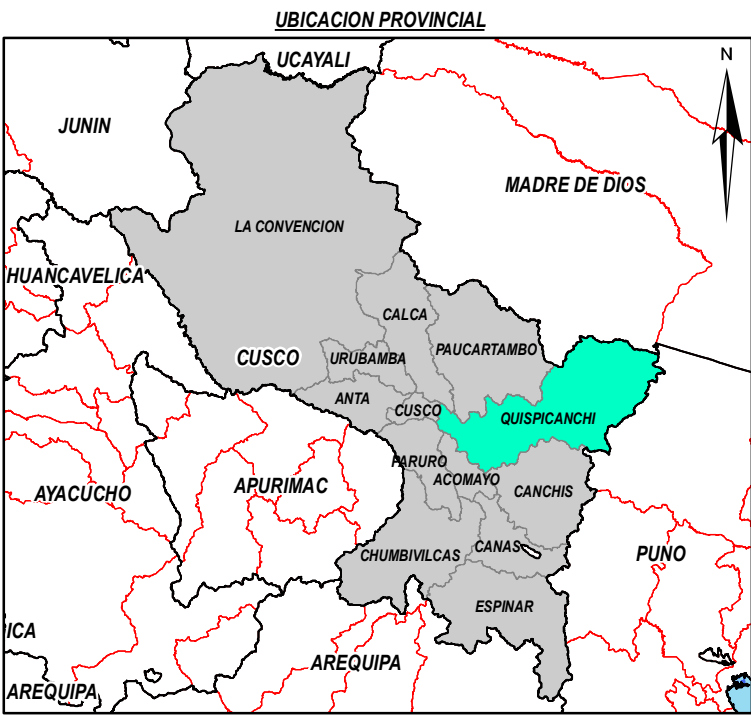
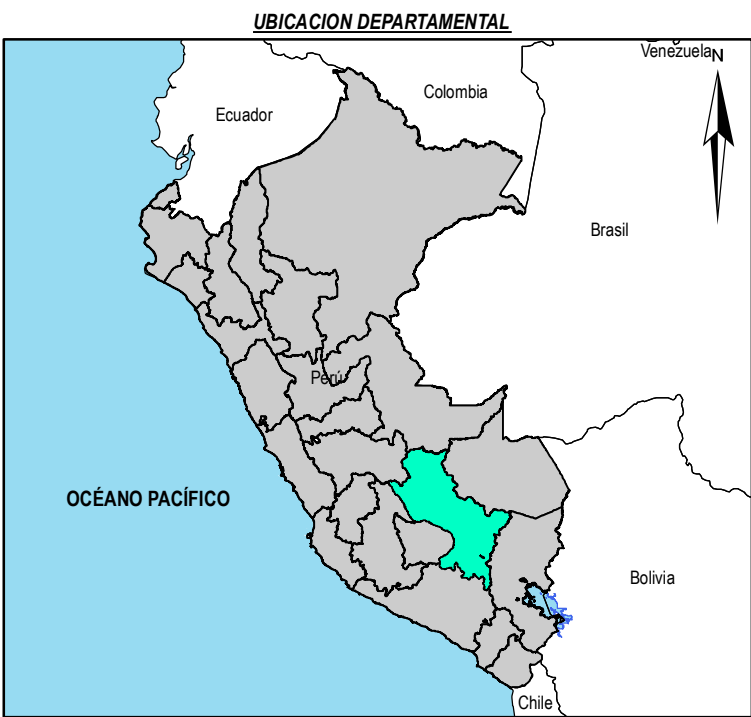
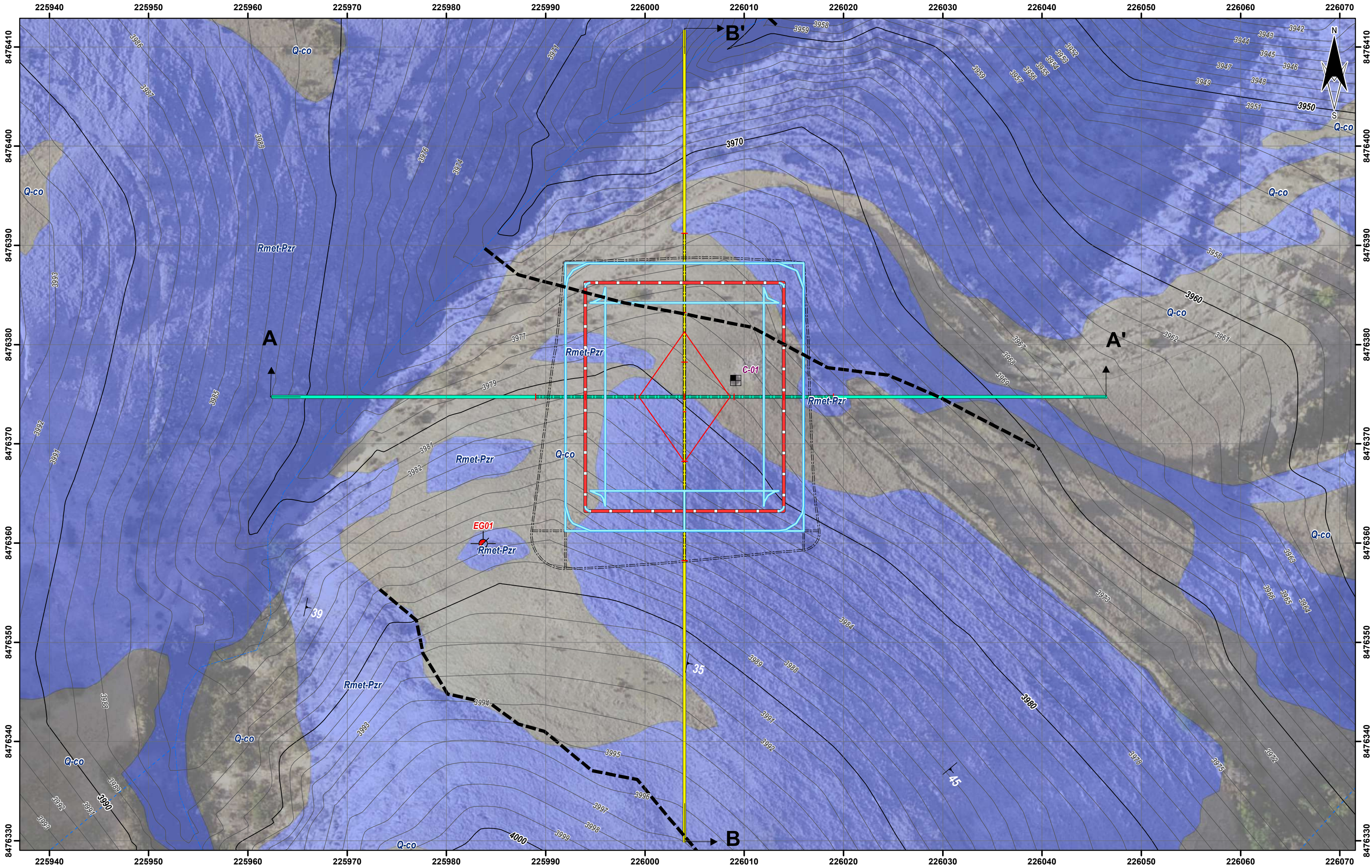
4.2.9. Modelo Geológico 3D del Sector del Reservorio 04

Figura 37. Modelo Geológico 3D del Reservorio 04



Se observa de acuerdo a la figura 24, afloramientos de rocas metamórficas foliadas (Pizarra) en diversos sectores del área propuesta para el reservorio 04, asimismo también se observa acumulaciones de suelos coluviales constituidas de fragmentos de pizarras y arcillas como matriz, así como un reservorio de concreto anteriormente construido que presenta fisuras por fallas de asentamientos, por otro lado, la dirección e inclinación de las esquistosidades son Azimut N295, con buzamiento 55NE. La infraestructura propuesta se encontrará sobre afloramientos de pizarras, puesto que los suelos en este sector no son potentes, siendo inferiores a 1.5 metros aproximadamente en su mayor zona de acumulación.

MAPA GEOLOGICO LOCAL DEL RESERVORIO 01



Nº	DESCRIPCION	DISEÑO	DIBUJO	REVISO	APROB.
1	MAPA GEOLOGICO LOCAL RESERVORIO 01	PSA&MTM	PSA&MTM	FVBP	FVBP
2					
SISTEMA DE COORDENADAS		ESCALA DE IMPRESION:			
PROYECCION: DATUM HORIZONTAL: HUSO Y ZONA:		UTM WGS84 19L Sur A-2			

TESIS:

"CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"

ELABORADO POR:

Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martínez

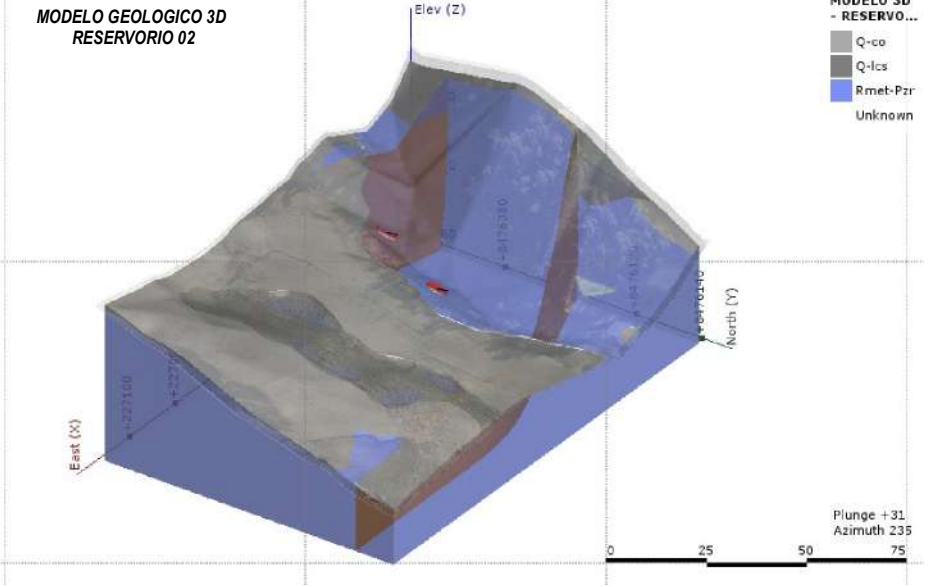
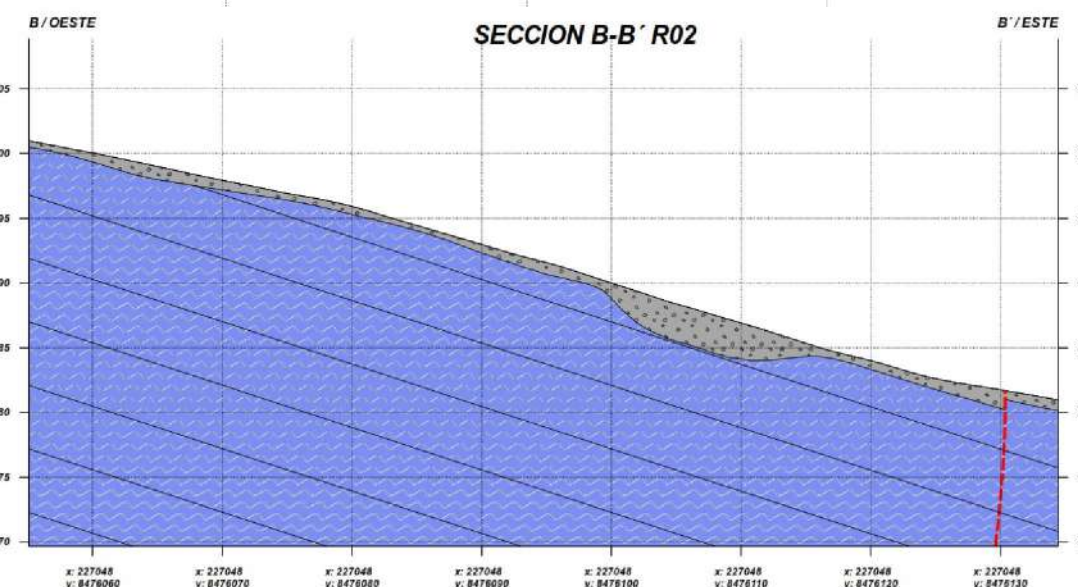
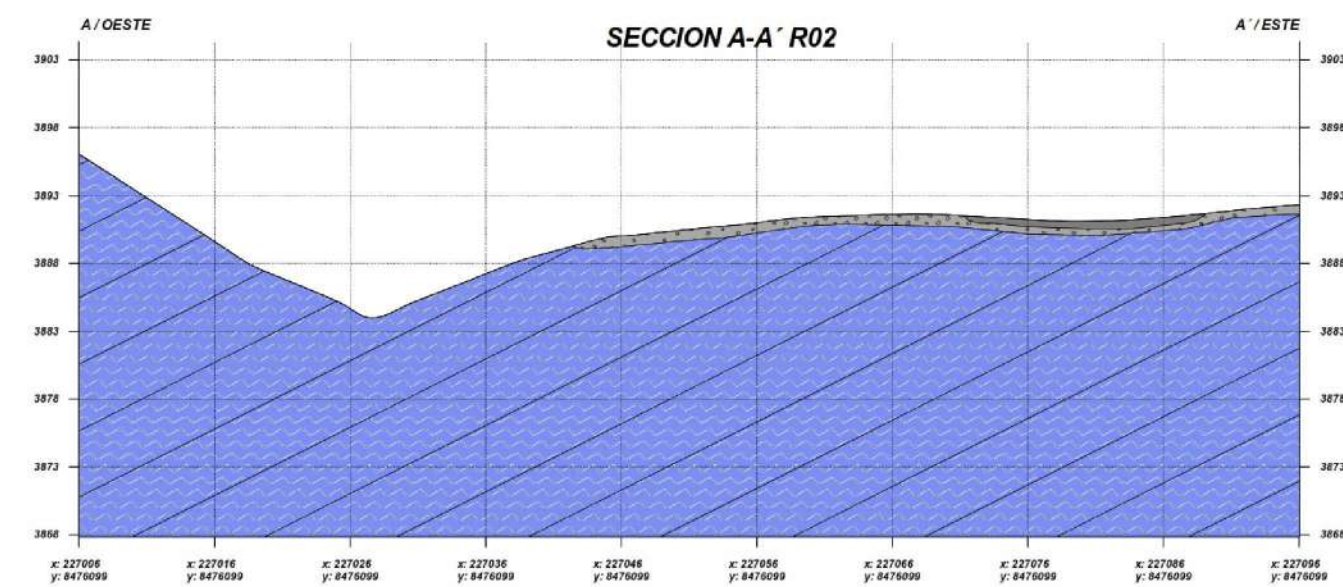
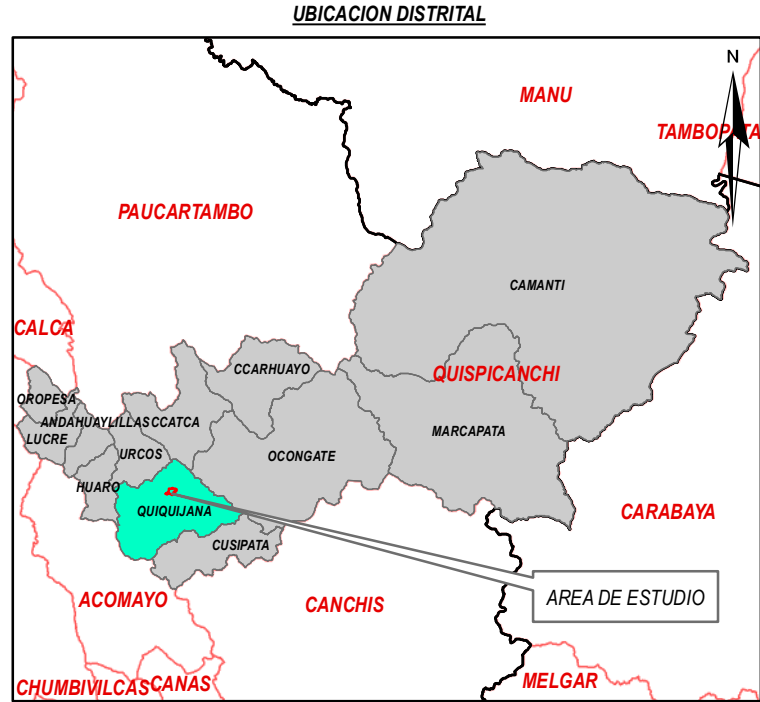
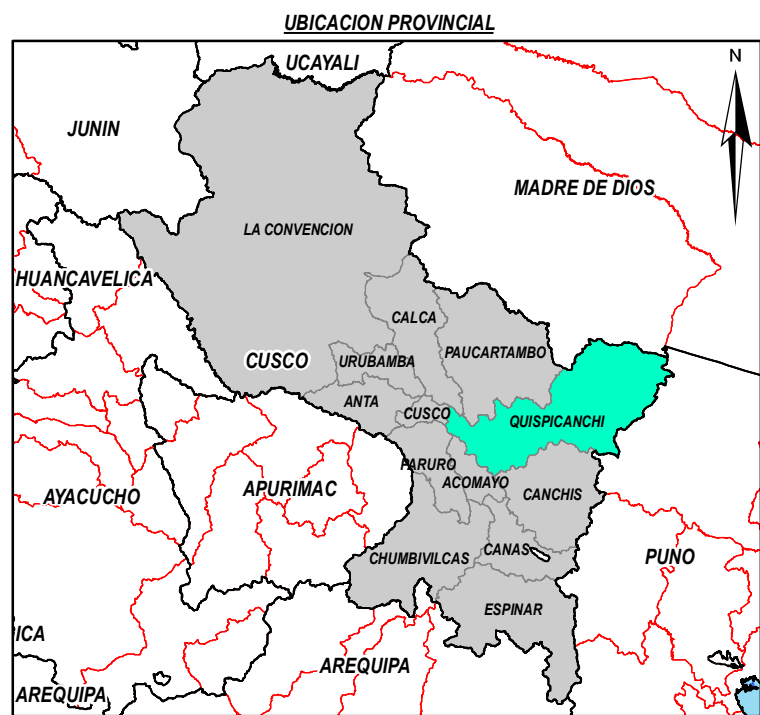
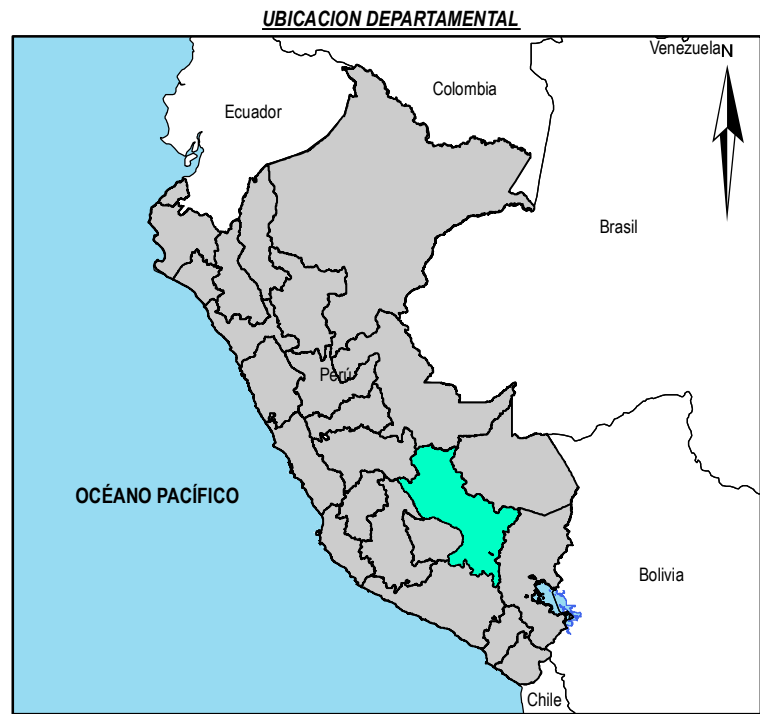
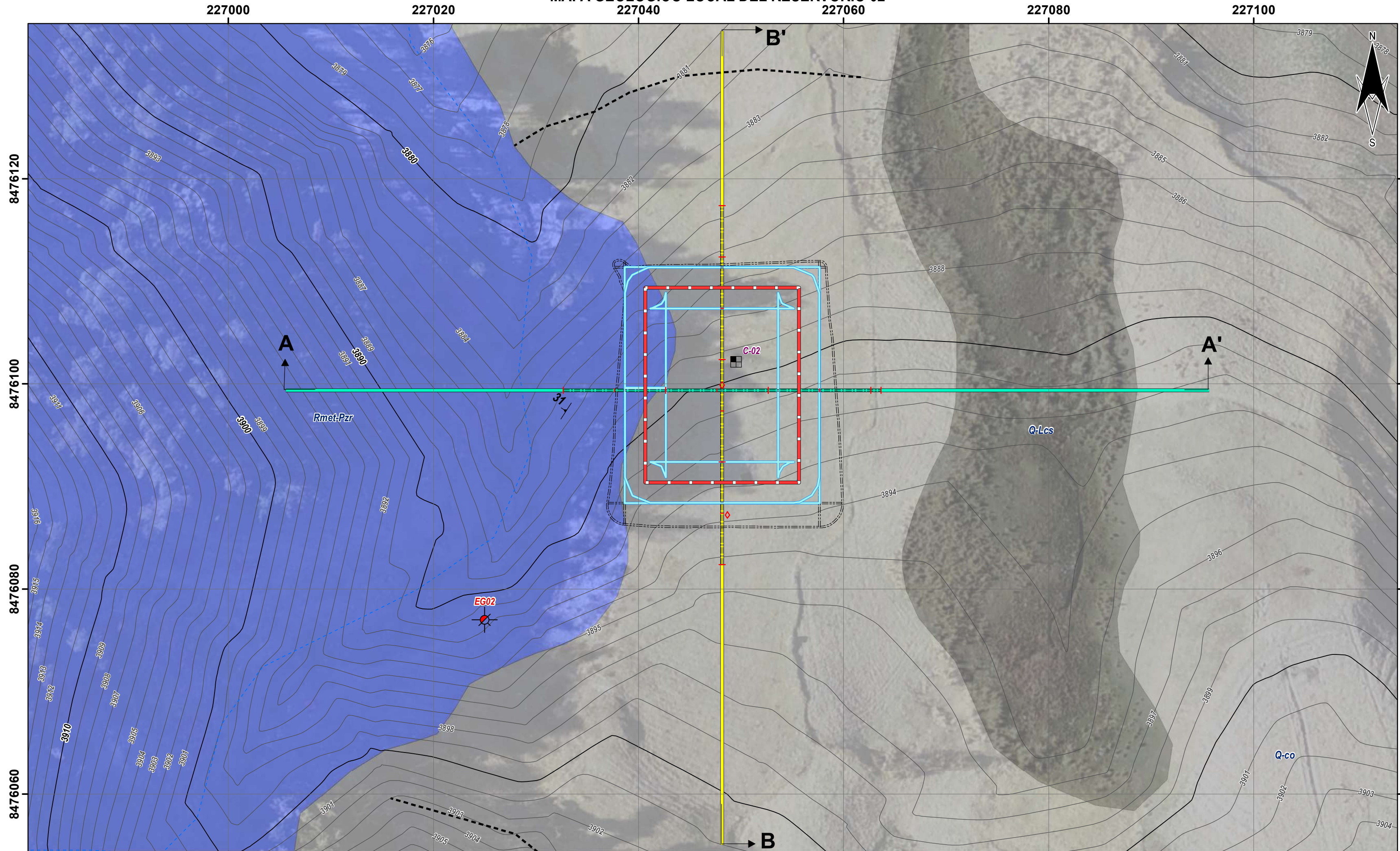
ASESOR:

Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado

PLANO:	GEOLOGICO LOCAL RESERVORIO 01	MAPA:	
LOCALIZACION	QUIQUIJANA QUISPICANCHI CUSCO	FECHA:	MARZO 2024
DEPARTAMENTO:	C.C. CALLATIAC	ESCALA:	1/300
SECTOR:			

MP-09

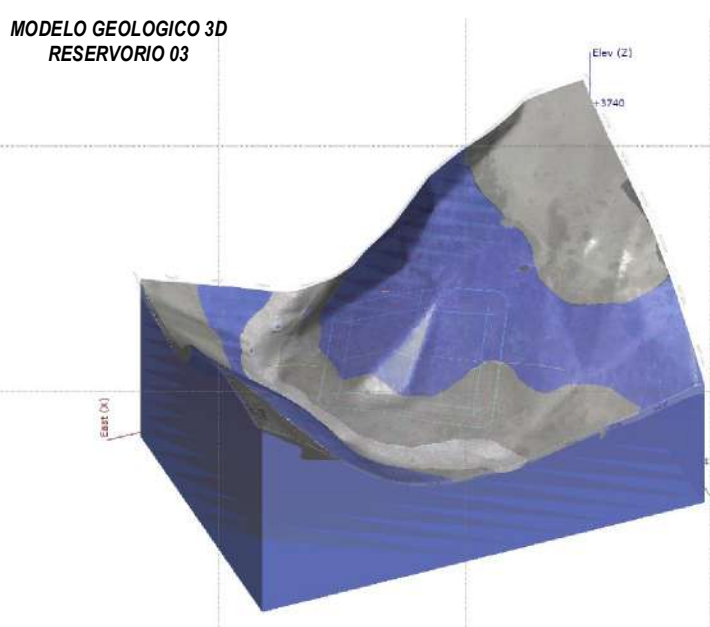
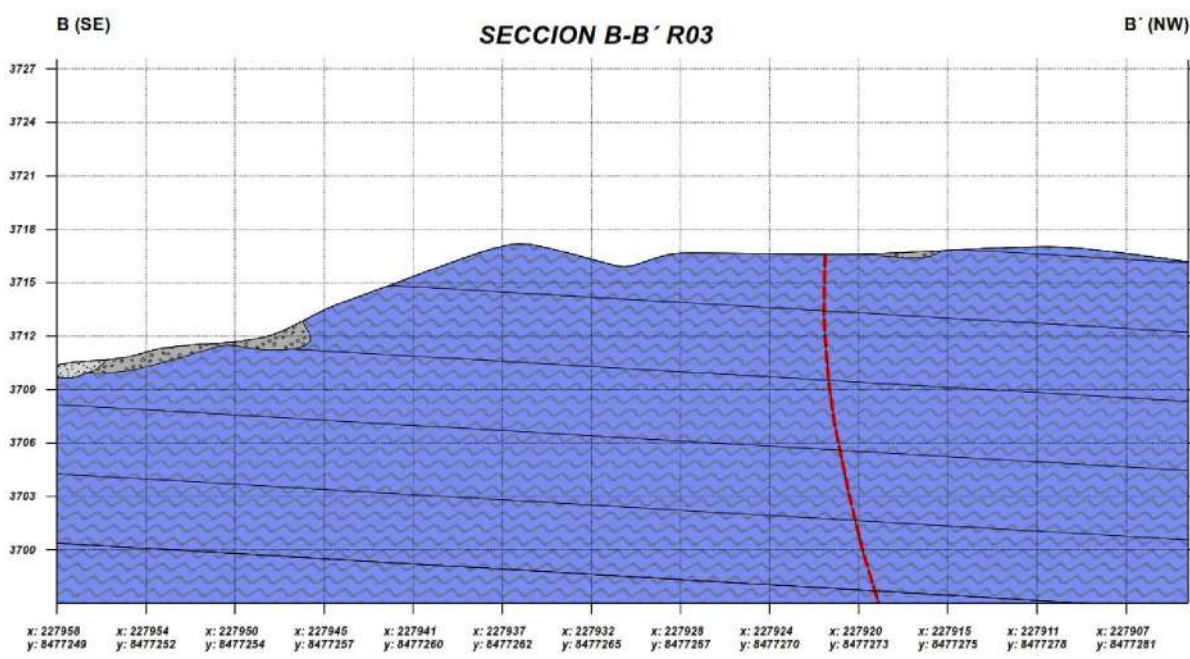
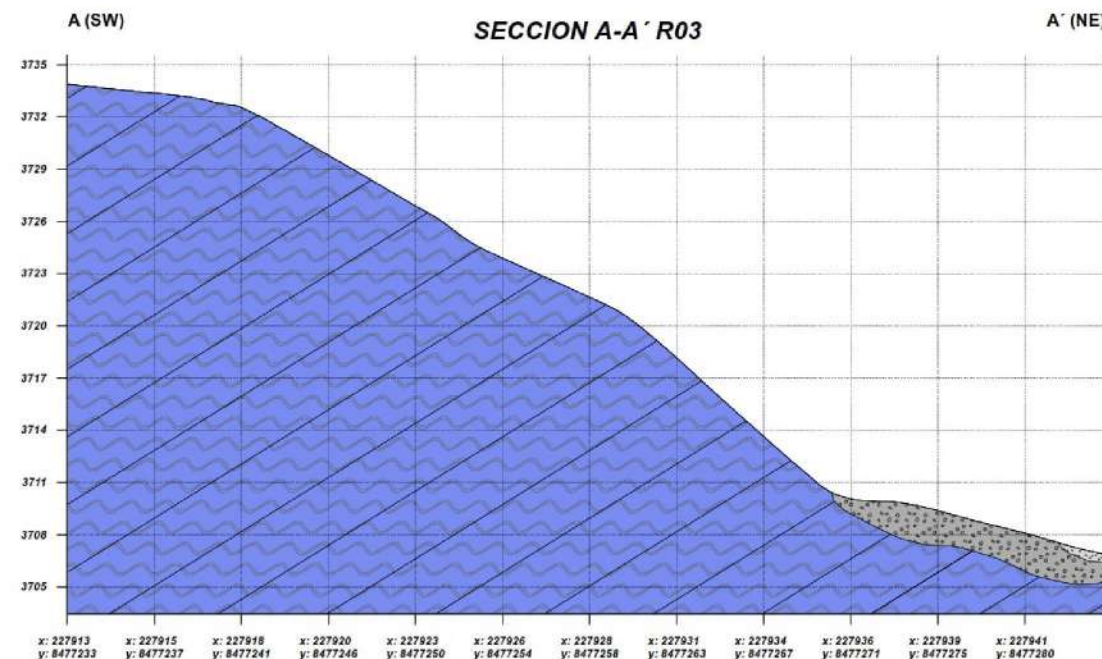
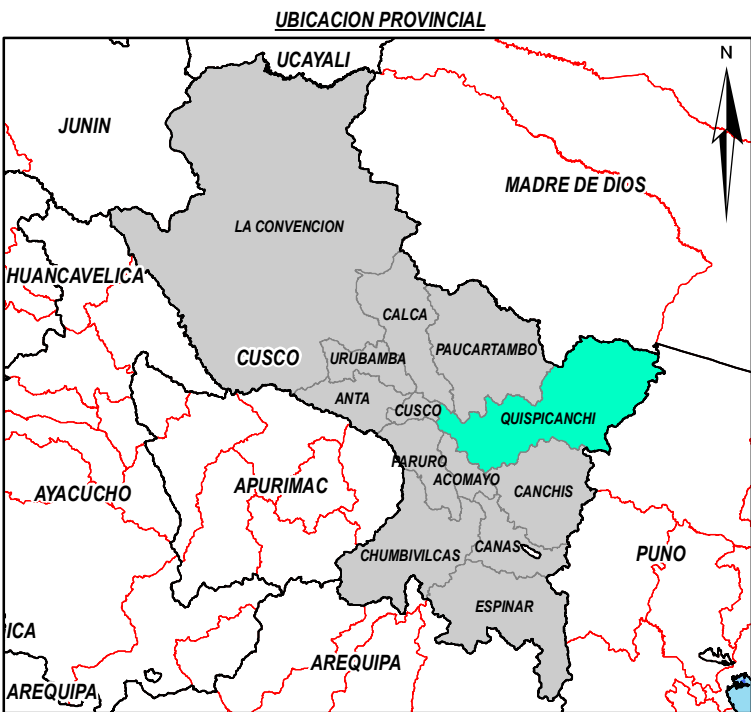
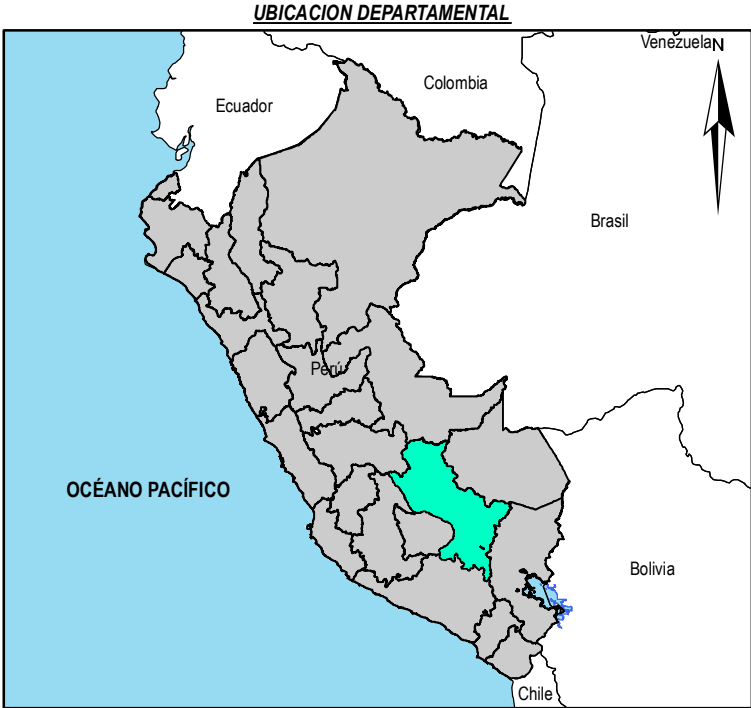
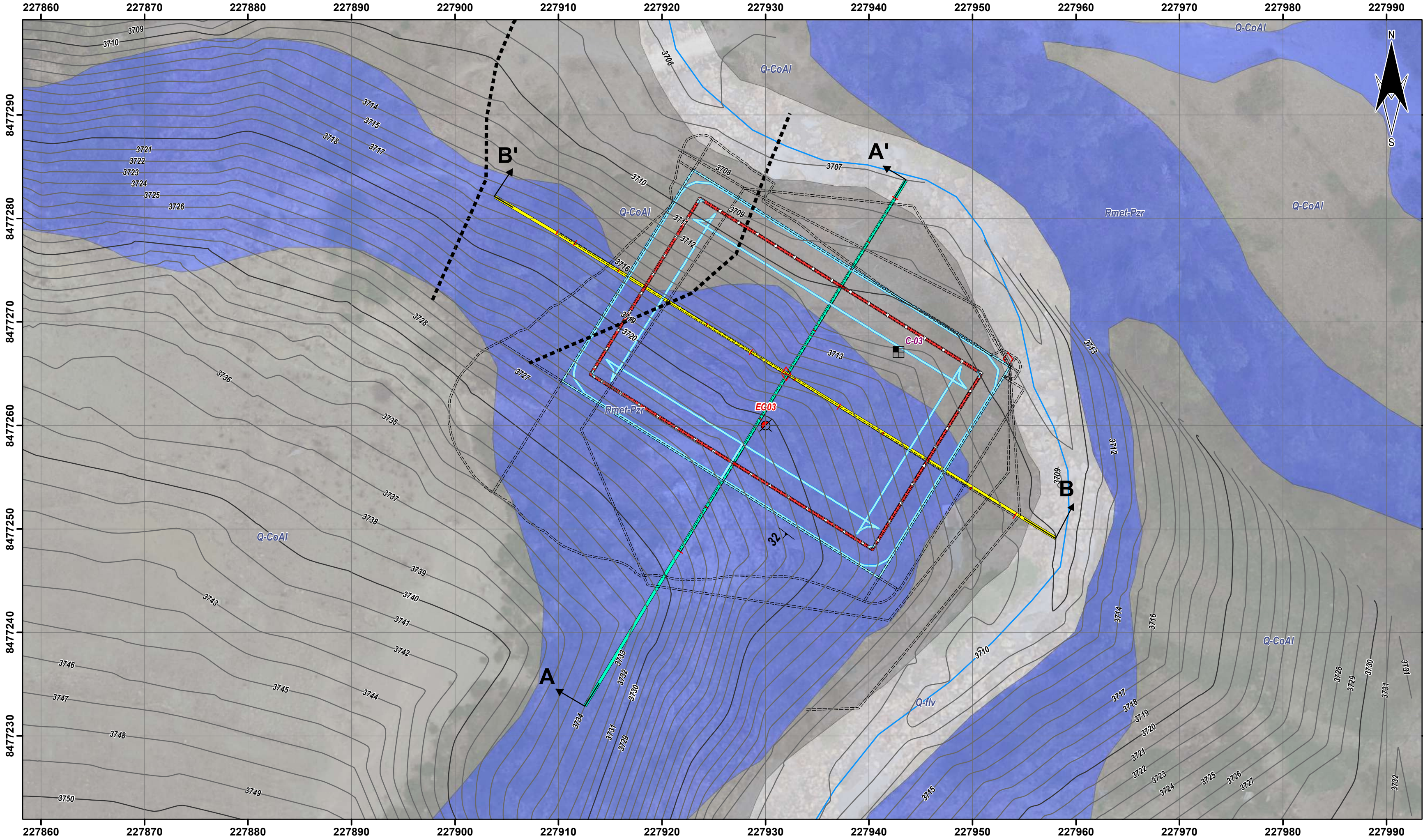
MAPA GEOLOGICO LOCAL DEL RESERVORIO 02



Simbología	
	Drenajes temporales
	Riachuelos
	Rio_Kuyumayo 01
	Curvas Menores
	Curvas Mayores
	Calicatas_Callitac
	Estaciones_Geomecánicas
	Esquistosidades
	Fallas_Inferidas_ERT02
Estructura Reservoirio	
	Per_concreto
	Rombos_CortesR02
	NAguA_Area_R02
	CORTE_R02
Leyenda	
Unidades Geológicas locales	
	Q-Lcs, Depositos lacustres
	Q-co, Depositos Coluviales
	Rmet-Pzr, Alforrimentos de Pizarras

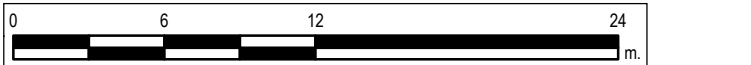
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	Nº	DESCRIPCION	DISEÑO	DIBUJO	REVISO	APROB.	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martínez ASESOR: Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	PLANO: GEOLOGICO LOCAL RESERVORIO 02 LOCALIZACION QUIQUIJANA QUISPICANCHI CUSCO FECHA: MARZO 2024 ESCALA: 1/300 MAPA: MP-10
		1	MAPA GEOLOGICO LOCAL RESERVORIO 02	PSA&MTM	PSA&MTM	FVBP	FVBP			
		2								
		SISTEMA DE COORDENADAS		ESCALA DE IMPRESION:						
		PROYECCION: DATUM HORIZONTAL: HUSO Y ZONA:		UTM WGS84 19L Sur		A-2				

MAPA GEOLOGICO LOCAL DEL RESERVORIO 03



Simbología	
	Drenajes temporales
	Riachuelos
	Rio_Kuyumayo 01
	Curvas_Menores
	Curvas_Mayores
	Calicatas_Callitac
	Estaciones_Geomecnicas
	Esquistosidades
	Fallas_Inferidas_ERT03
Estructura Reservoirio	
	Per_concreto
	Rombos_CortesR03
	NAgua_Area_R03
	CORTE_R03

Leyenda	
Unidades Geologicas locales	
	Q-CoAl, Depositos Coluvio-Aluviales
	Q-fiv, Depositos fluviales
	Rmet-Pzr, Alforamientos de Pizarras



Nº	DESCRIPCION	DISEÑO	DIBUJO	REVISO	APROB.
1	MAPA GEOLOGICO LOCAL RESERVORIO 03	PS&SMTM	PS&SMTM	FVBP	FVBP
2					
SISTEMA DE COORDENADAS		ESCALA DE IMPRESION:			
PROYECCION: UTM		A-2			
DATUM HORIZONTAL: WGS84					
HUSO Y ZONA: 19L Sur					

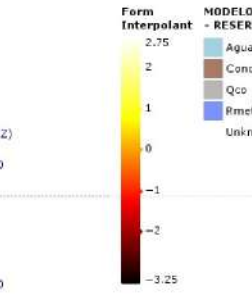
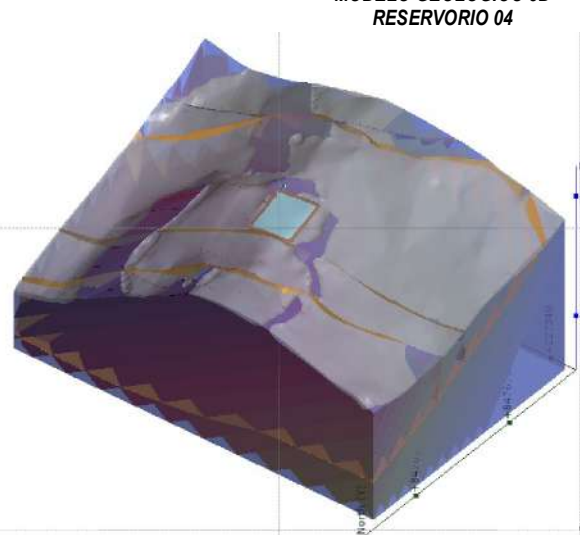
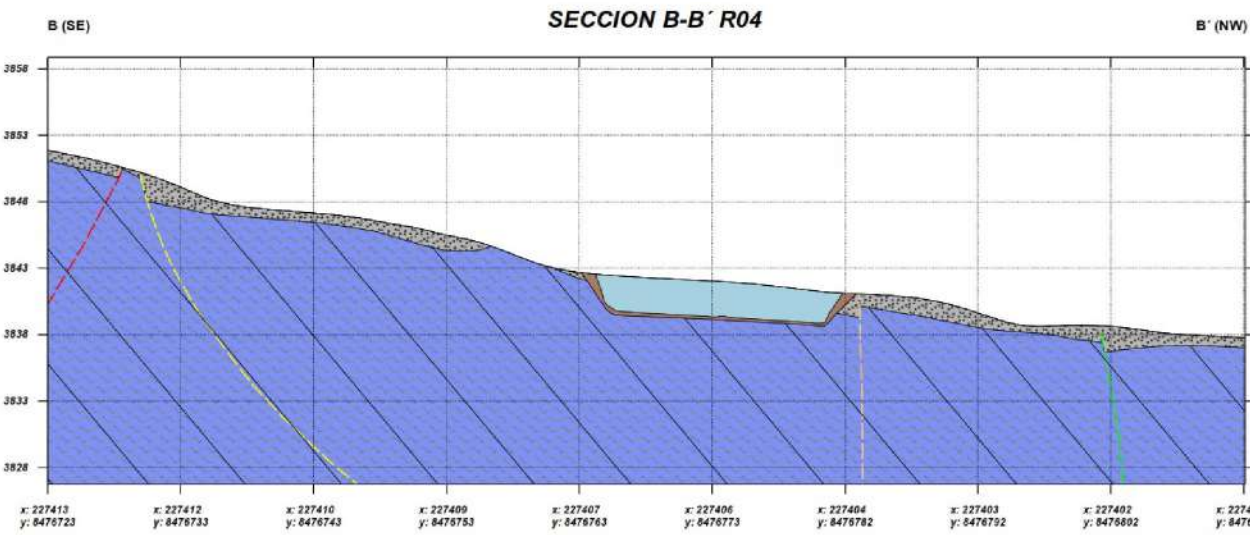
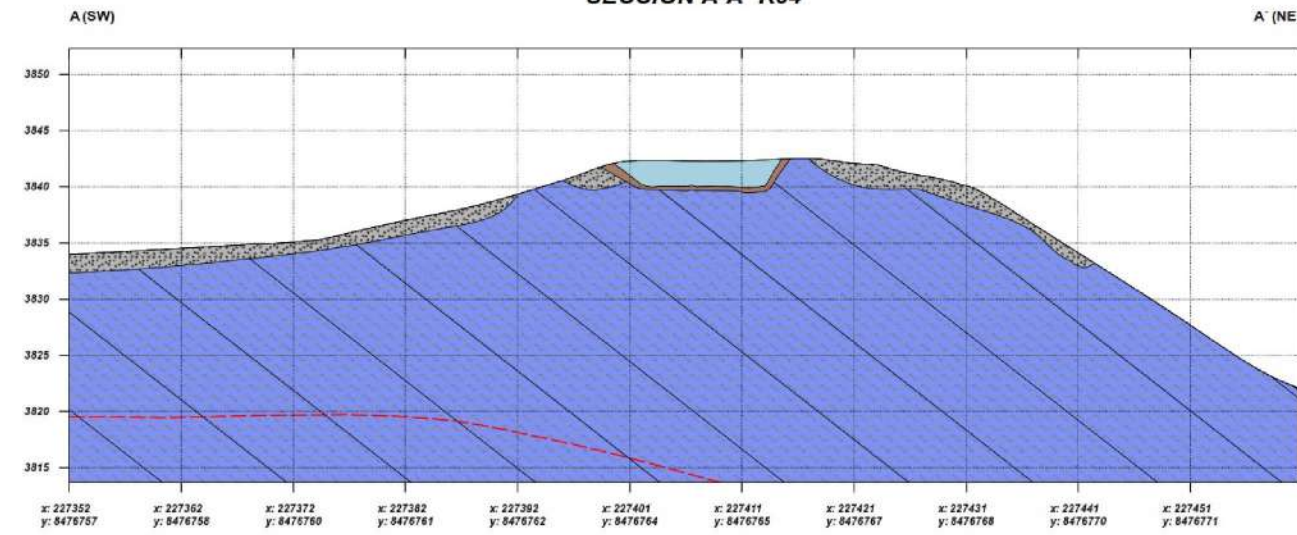
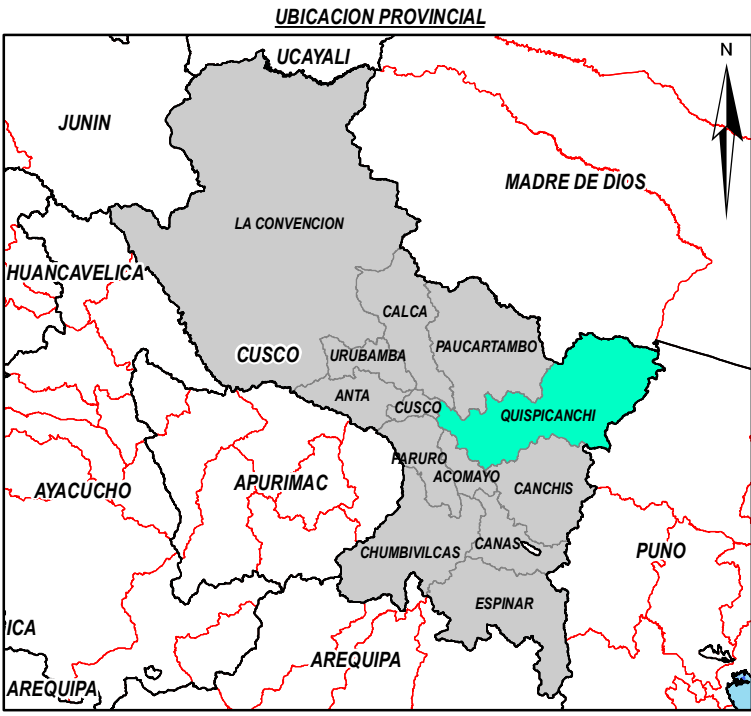
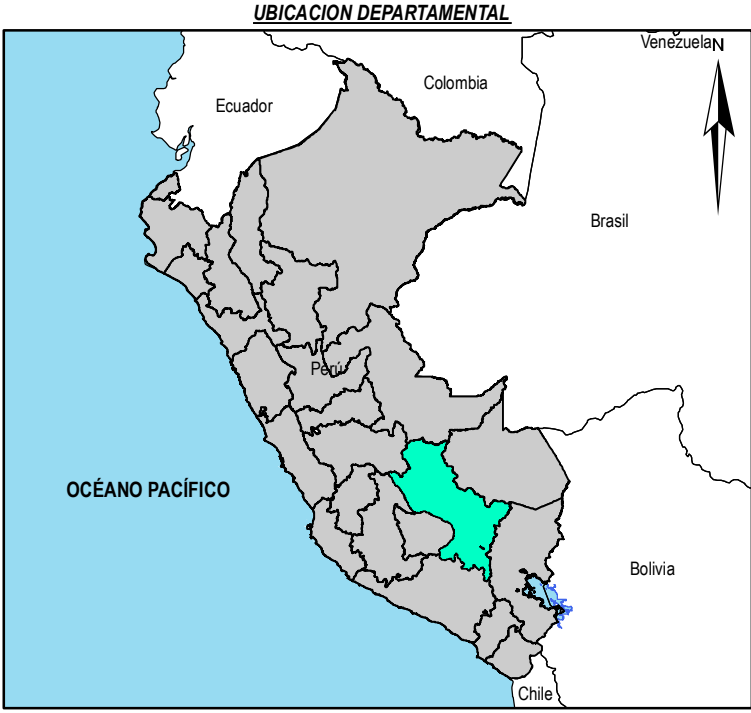
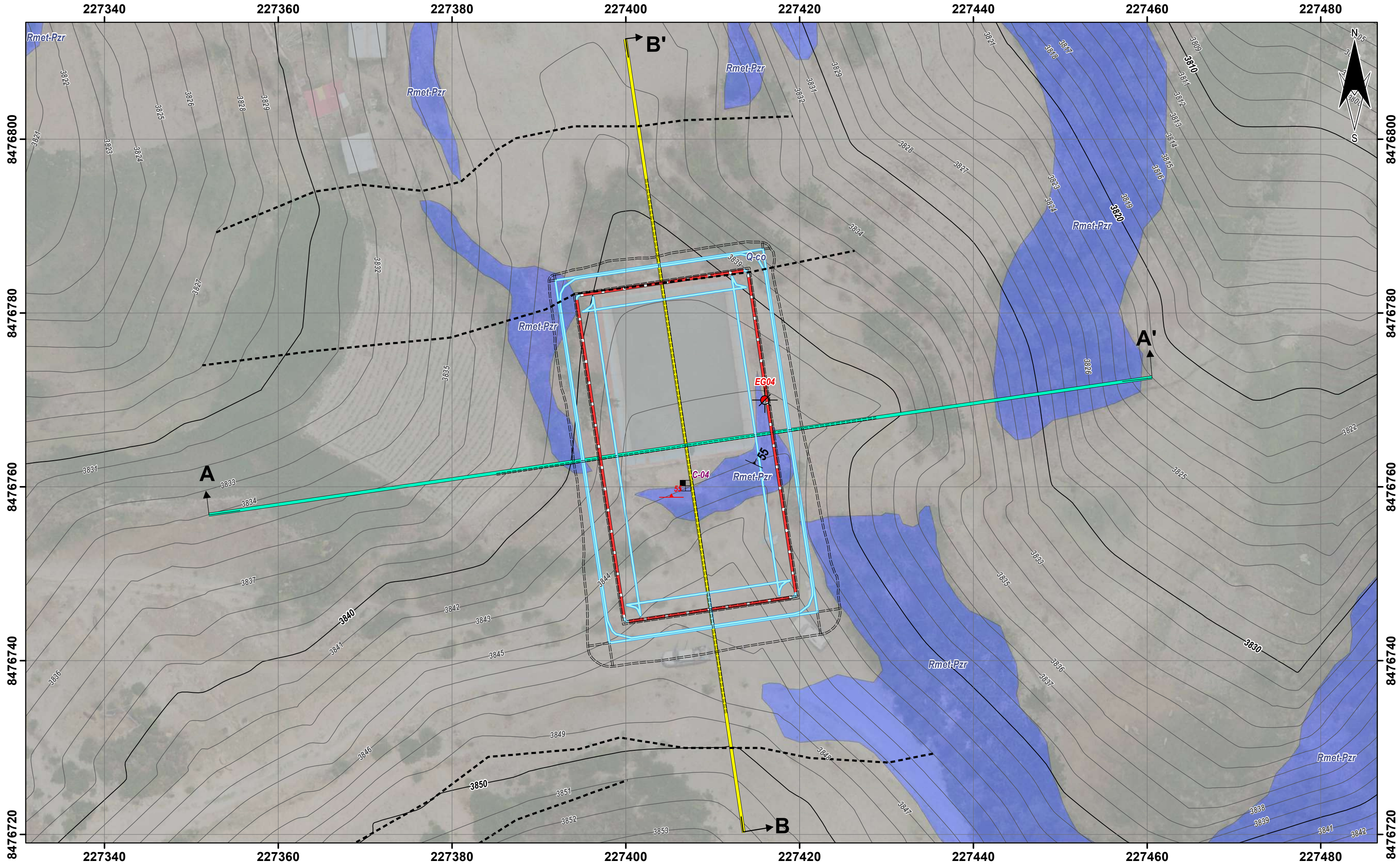
TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"

ELABORADO POR:
Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez
ASESOR:
Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado

PLANO:		MAPA:
GEOLOGICO LOCAL RESERVORIO 03		
LOCALIZACION		
DISTRITO:	QUIQUIJANA	FECHA:
PROVINCIA:	QUISPICANCHI	MARZO 2024
DEPARTAMENTO:	CUSCO	ESCALA:
SECTOR:	C.C. CALLATIAC	1/300

MP-11

MAPA GEOLOGICO LOCAL DEL RESERVORIO 04



Simbología	
	Drenajes temporales
	Riachuelos
	Rio_Kuyumayo 01
	Curvas Menores
	Curvas Mayores
	Calicatas Callitac
	Estaciones Geomecánicas
	Esquistosidades
	Estructura Reservoirio
	Per_concreto
	Rombos Cortes R04
	CORTE_AA_R04
	CORTE_BB_R04
	NAguia_Area_R04
	CORTE_R04

Leyenda	
Unidades Geológicas locales	
	Q-Col, Depósitos Coluviales
	Rmet-Pzr, Afloramientos de Pizarras

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	Nº		DESCRIPCION	DISEÑO	DIBUJO	REVISO	APROB.	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martínez	ASESOR: Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	PLANO:		GEOLOGICO LOCAL RESERVORIO 04	MAPA: MP-12			
		1	MAPA GEOLOGICO LOCAL RESERVORIO 04			PSAASM7M	PSAASM7M	FVBP				FVBP	LOCALIZACION	FECHA: MARZO 2024				
		2														DISTRITO: QUIQUIJANA	PROVINCIA: QUISPICANCHI	DEPARTAMENTO: CUSCO
		SISTEMA DE COORDENADAS				ESCALA DE IMPRESION:						SECTOR: C.C. CALLATIAC						
PROYECCION: DATUM HORIZONTAL: HUSO Y ZONA:				UTM WGS84 19L Sur				A-2										

El área de estudio en cuestión, se localiza entre los sistemas de fallas Urcos y fallas Pitucancha, que a su vez se sitúan sobre la cordillera oriental, las cuales en términos generales son contrarias con una inclinación suroeste, ocasionando pliegues en chevron y knick

Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez



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 cinemática de fallas (por medio de análisis del comportamiento cinemático de microestructuras mediante diedros rectos) y el grado de fracturamiento reflejado en la condición de macizo rocoso (RMR, GSI y diagnóstico estereográfico), de acuerdo a los sectores ubicados en el proyecto de investigación: “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO”.

Se dividió en tres tipos de estructuras; esquistosidades y fallas las cuales se describen a continuación:

4.4.1. Esquistosidades (Ss)

Se define como una foliación penetrativa con filosilicatos (micas) y otros segregados minerales formando bandas que definen la foliación. Eso se desarrolla especialmente para rocas metamórficas foliadas, y para este caso en particular también se conoce como pizarrosidad, permitiendo comprender el plano de sedimentación del protolito y posterior deformación convertida en roca metamórfica, así como su comportamiento estructural reciente.

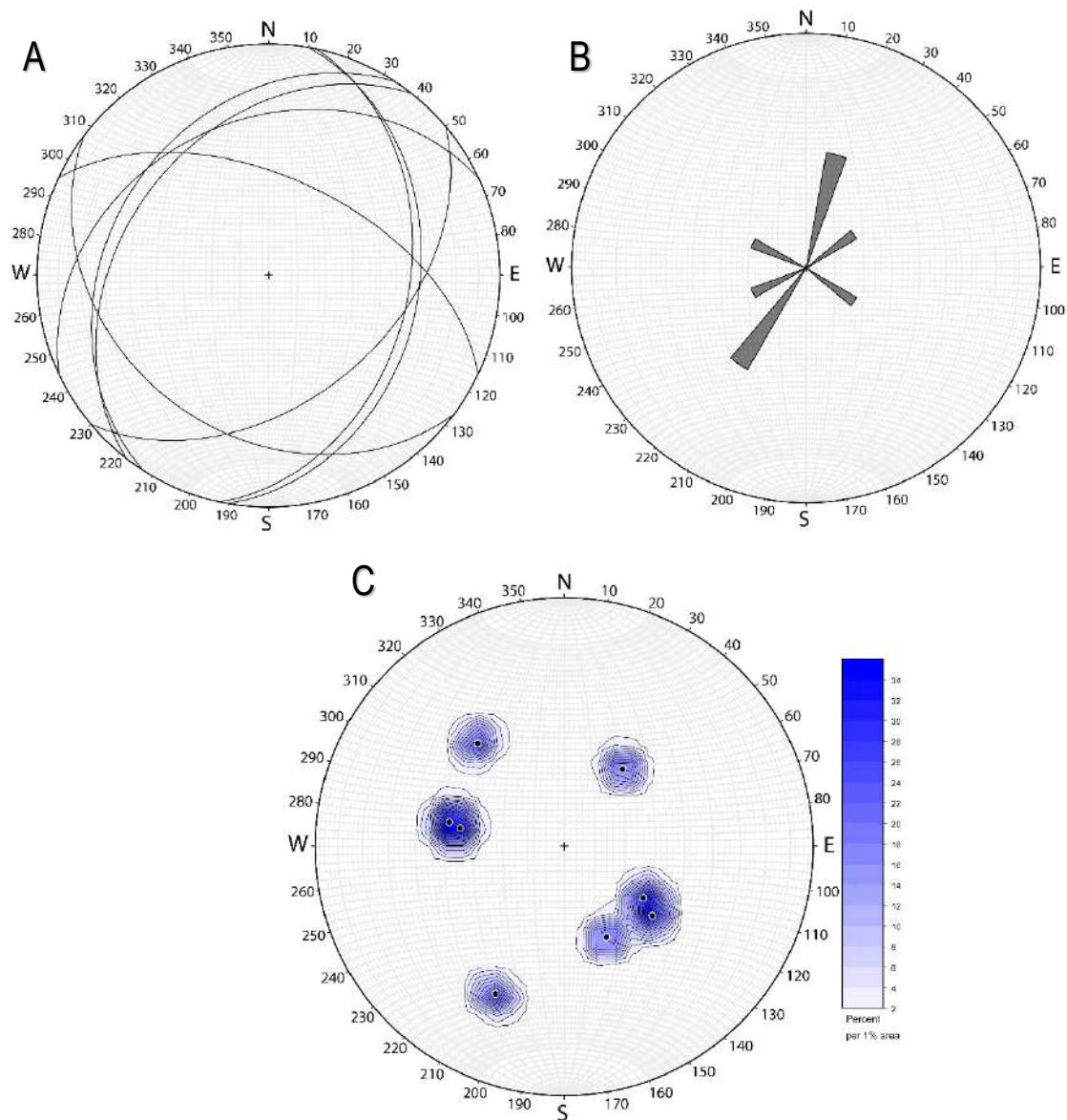
Figura 39. Esquistosidades manifestadas en corte de trocha cerca del reservorio 02



Tabla 5. Datos de campo de Esquistosidades.

PUNTO	ESTE	NORTE	AZ	BZ	CD_BZ	DIP	DIPDIR	TIPO	Símbolo
1	227931.85	8477249.54	127	32	SW	32	217	Esquistosidad	Ss
2	227127.00	8476153.00	245	33	NW	33	335	Esquistosidad	Ss
3	227403.00	8476845.00	218	37	NW	37	308	Esquistosidad	Ss
4	227414.76	8476762.59	295	55	NE	55	25	Esquistosidad	Ss
5	226004.43	8476347.34	10	35	SE	35	100	Esquistosidad	Ss
6	226030.49	8476336.74	50	45	SE	45	140	Esquistosidad	Ss
7	225966.00	8476353.00	12	39	SE	39	102	Esquistosidad	Ss
8	227032.99	8476097.94	213	31	NW	31	303	Esquistosidad	Ss

Figura 40. Análisis estereográfico de las esquistosidades del sector de estudio



En la figura 25 subdividida a su vez en 3 figuras, se detalla el análisis estereográfico del sector de estudio, en la figura A se observa los que los planos de esquistosidad son variables, en la figura B se observa que la mayor parte de las esquistosidades poseen un rumbo NE-SW, y por último en la figura C se observa los polos de los planos de esquistosidad los cuales los podríamos subcategorizar en 5 agrupaciones diferentes.



4.4.2. Fallas

En el área de estudio Reservoirio 04, se desarrolló una estación estructural (MAPA 12), donde se identificaron indicadores cinemáticos como estrías de falla. Posteriormente, según la información obtenida en campo se procedió a la interpretación de los mismos a través del software Faultkin, para comprender el tipo de cinemática y determinar los esfuerzos principales mayores que originaron dichos movimientos.

De acuerdo a la tabla 6 que contiene los datos de campo, se puede evidenciar una falla con cinemática Inversa de componente horizontal Dextral, por otro lado, el esfuerzo principal mayor sigma 1, posee una dirección NW-SE.

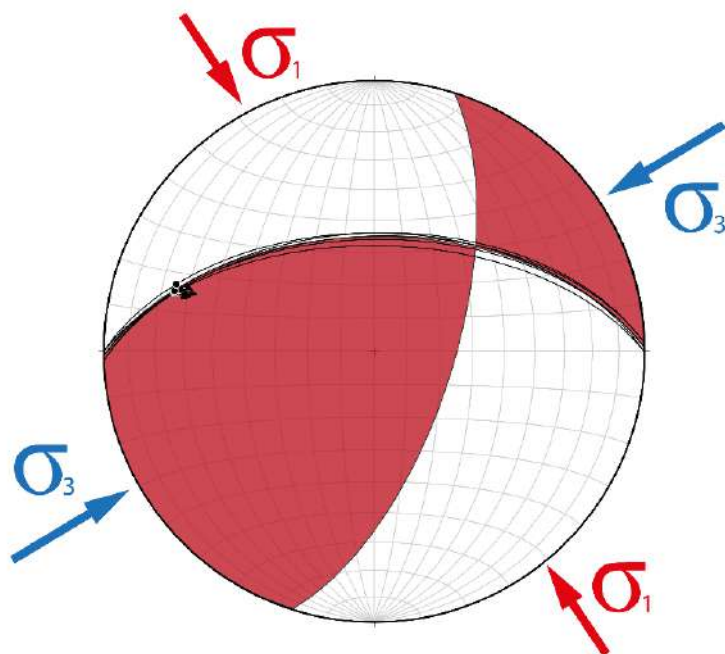
Tabla 6. Datos de campo de estación estructural 01

DATA 01	ESTE	NORTE	PIZARRA			
ZONA 19L	227406	8476759				
AZIMUT(RHR)	BUZAMIENTO	DIP	DIP DIRECTION	TIPO	RAKE	CINEMATICA
269	56 NW	56	359	Dextral Inversa	29	DxIx
268	55 NW	55	358	Dextral Inversa	30	DxIx
270	58 N	58	360	Dextral Inversa	31	DxIx
268	54 NW	54	358	Dextral Inversa	30	DxIx
270	54 NW	54	360	Dextral Inversa	30	DxIx
270	54 N	54	360	Dextral Inversa	30	DxIx

Figura 41. *Estrías de falla 01 que evidencia una cinemática Dextral Inversa.*



Figura 42. *Interpretación cinemática mediante diedros rectos de la falla 01*



De acuerdo a las tomografías realizadas en el sector, que se trataran en capítulo posteriores, se identificó fallas inferidas que reflejaban zonas de intenso fracturamiento, representadas con superficies de color verde claro.



Figura 43. Modelo estructural 3D reservorio 01

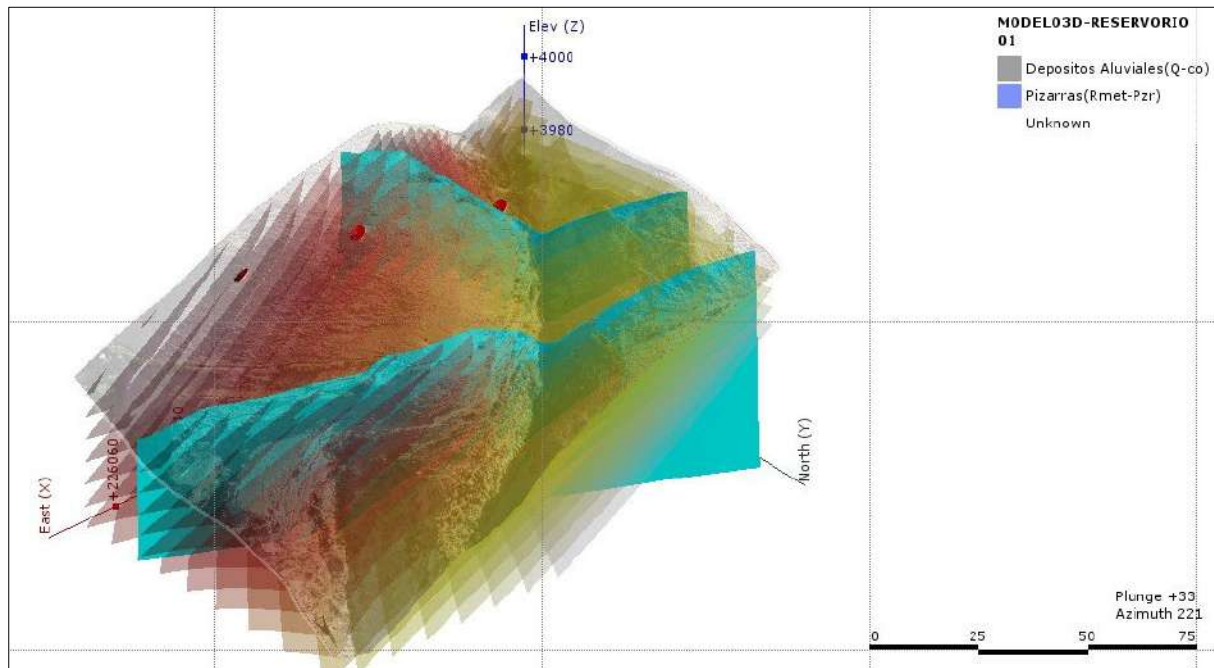


Figura 44. Modelo estructural 3D reservorio 02

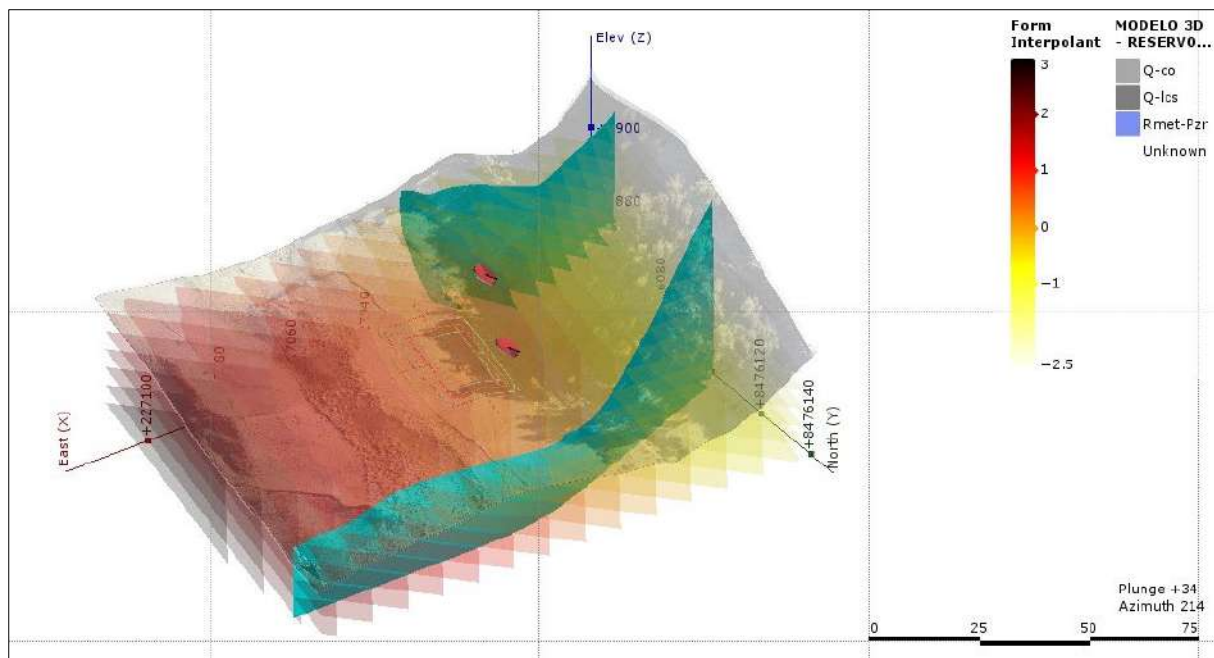
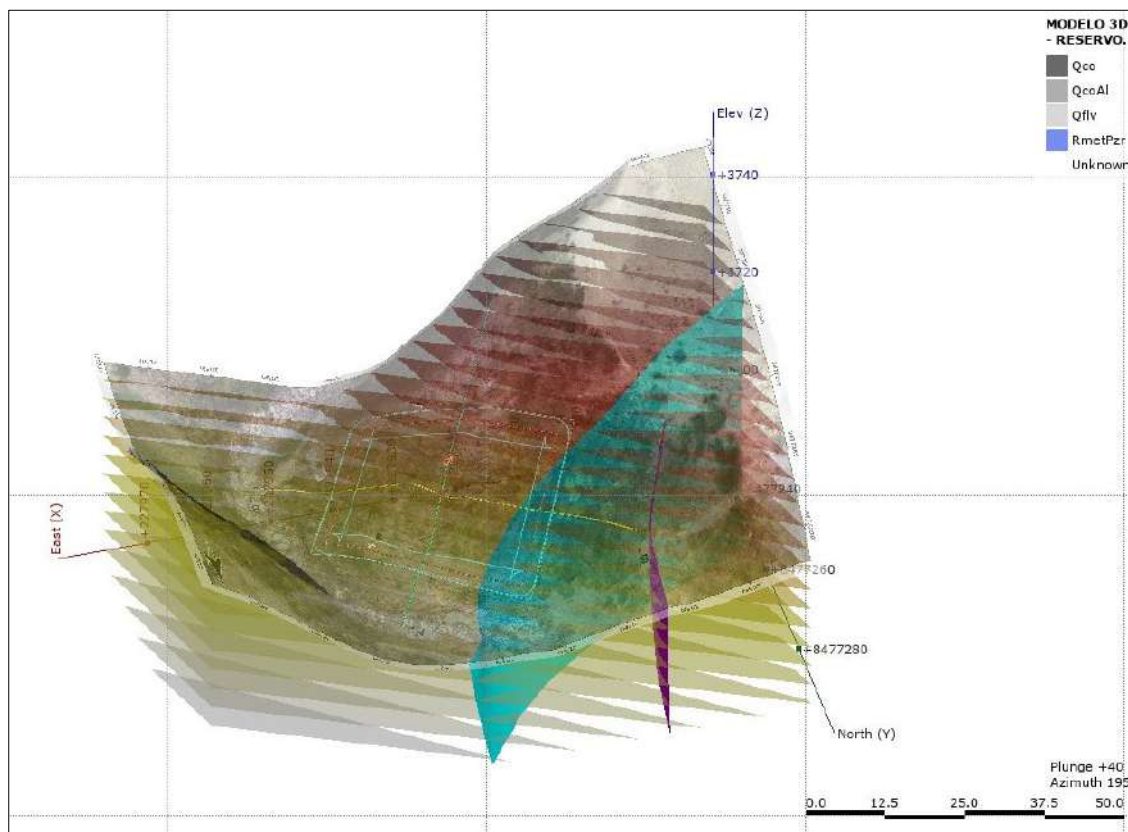




Figura 45. Modelo estructural 3D reservorio 03





Capítulo V

Hidrología

Desde el punto de vista hidrográfico el sector de estudio corresponde a la cuenca del río Vilcanota; dentro del distrito de Quiquijana se localizan 05 microcuencas: Querhuarmayo, Cachimayo, Qochoq, Añilmayo y Huchuymayo.

La microcuenca de estudio Añilmayo políticamente, forma parte del distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis y región del Cusco.

Figura 47. Imagen satelital de la microcuenca Añilmayo



Nota : Modificado de Google Earth.



5.1. Parámetros Hidromorfométricos de la Microcuenca

A continuación, se resumen los principales parámetros geomorfológicos y morfométricos de la microcuenca Añilmayo en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros Morfométricos de la Microcuenca Añilmayo

1.- MORFOMETRIA DE LA CUENCA	SIMBOL.	UNIDAD	VALOR
ELEMENTOS DE SUPERFICIE			
AREA TOTAL DE LA CUENCA	A	Km ²	74.73
ELEMENTOS DE DISTANCIA			
PERIMETRO	P	Km	53.700
LONG.AXIAL	L.A	Km	15.410
ANCHO PROMEDIO	AP	Km	4.849
CENTRO DE GRAVEDAD	Este	Ls	228008.7436
	Norte	Lw	8478713.5852
ELEMENTOS DE FORMA			
FACTOR FORMA	Ff		0.315
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	Kc		1.752
ELONGACION	EI		0.633
INDICE DE CIRCULARIDAD	Ic	SCHUM	0.571
RECTANGULO EQUIVALENTE:	FIGURA	N°	
LADO MAYOR	L	Km	23.697
LADO MENOR	I	Km	3.154
ELEMENTOS DE RELIEVE			
ELEVACION DE LOS TERRENOS:			
ALTITUD MEDIA.	Hm	m.s.n.m	4168.31
CURVA IPSOMETRICA	FIGURA	N°	
MEDIANA DE LA ALTITUD	Ma	m.s.n.m	4241.80
ALTITUD MAXIMA	Hmax.	m.s.n.m	4724
ALTITUD MINIMA	Hmin.	m.s.n.m	3216
POLIGONO DE FRECUENCIA DE ALTIT.	FIGURA	N°	
DECLIVIDAD DE ALVEOS:			
LINEA DE MAXIMA PENDIENTE	LMP	%	31.10
DECLIVIDAD EQUIVALENTE CONSTANTE	S	%	5.6
TIEMPO MEDIO DE TRASLADO	Tm	horas	1.09
DECLIVIDAD DE LOS TERRENOS			
INDICE DE PENDIENTE	Ip	%	7
PENDIENTE MEDIA DE LA MC.	Pmc	‰	9.8
	Criterio de Jusstin	%	17.4
	Criterio del rectan. Equivalente	%	6.4
Coeficiente orográfico	Co	m ² /km ²	0.23
coeficiente de masividad	Cm	m/km ²	55.78



Tabla 8. Tiempo de concentración por diferentes autores Microcuenca Añilmayo

TIEMPO DE CONCENTRACION					
METODOLOGIA	TC	Tiempo			
CLARK	Tc	1.08	H	64.64	MIN
KERAY	Tc	60.6	Min	60.6	MIN
CHEREQUE	Tc	1.8	H	109.81	MIN
GIANDIOTTI	Tc	1.9	H	111.43	MIN
HATAWAY	Tc	0.7	H	41.71	
PASSINI	Tc	1.3	H	80.42	MIN
SIMON	Tc	31.5	Min	31.48	MIN
SOIL CONSERVATION	Tc	80.0	Min	80.03	MIN
SYNTHETIC UNIT HIDROGRAPH	Tc	1.3	H	77.67	MIN
	CL	1.92			
TEMEZ	Tc	1.5	H	91.28	MIN
VENTURA - HERAS	Tc	1.7	H	100.48	MIN
KIRPICH	Tc	1.3	H	78.62	MIN
APARICIO	Tc	2.2	H	133.55	MIN
Tc, promedio				65.4	min
				1.09	hras

Tabla 9. Cálculo de áreas parciales para curva hipsométrica y polígono de frecuencias Mc.

Añilmayo

	Cota más Baja	Cota más Alta	Área Parcial (km2) (Si)	Altitud Media de Cada Área Parcial (Hi)	(Si)*(Hi)	Áreas Acumuladas	Áreas que Quedan Sobre las Altitudes	% del Total	% Total que Queda Sobre la Altitud
1	3216	3300	0.13	3258	420.38	0.13	74.60	0.17	99.83
2	3300	3400	0.21	3350	691.66	0.34	74.39	0.28	99.55
3	3400	3500	0.61	3450	2096.41	0.94	73.78	0.81	98.74
4	3500	3600	1.62	3550	5758.73	2.57	72.16	2.17	96.57
5	3600	3700	3.35	3650	12239.59	5.92	68.81	4.49	92.08
6	3700	3800	4.62	3750	17315.33	10.54	64.19	6.18	85.90
7	3800	3900	5.84	3850	22472.66	16.37	58.35	7.81	78.09
8	3900	4000	6.14	3950	24256.23	22.51	52.21	8.22	69.87
9	4000	4100	6.59	4050	26701.91	29.11	45.62	8.82	61.05
10	4100	4200	7.46	4150	30939.89	36.56	38.16	9.98	51.07
11	4200	4300	8.22	4250	34939.85	44.78	29.94	11.00	40.07
12	4300	4400	9.49	4350	41268.38	54.27	20.45	12.70	27.37
13	4400	4500	10.22	4450	45486.27	64.49	10.23	13.68	13.69
14	4500	4600	6.95	4550	31628.43	71.44	3.28	9.30	4.39
15	4600	4700	3.25	4650	15093.31	74.69	0.04	4.34	0.05
16	4700	4724	0.04	4712	168.30	74.73	0.00	0.0478	0.00
			74.72504274		311477.3176			100.00	



Figura 48. Curva Hipsométrica de la microcuenca Añilmayo

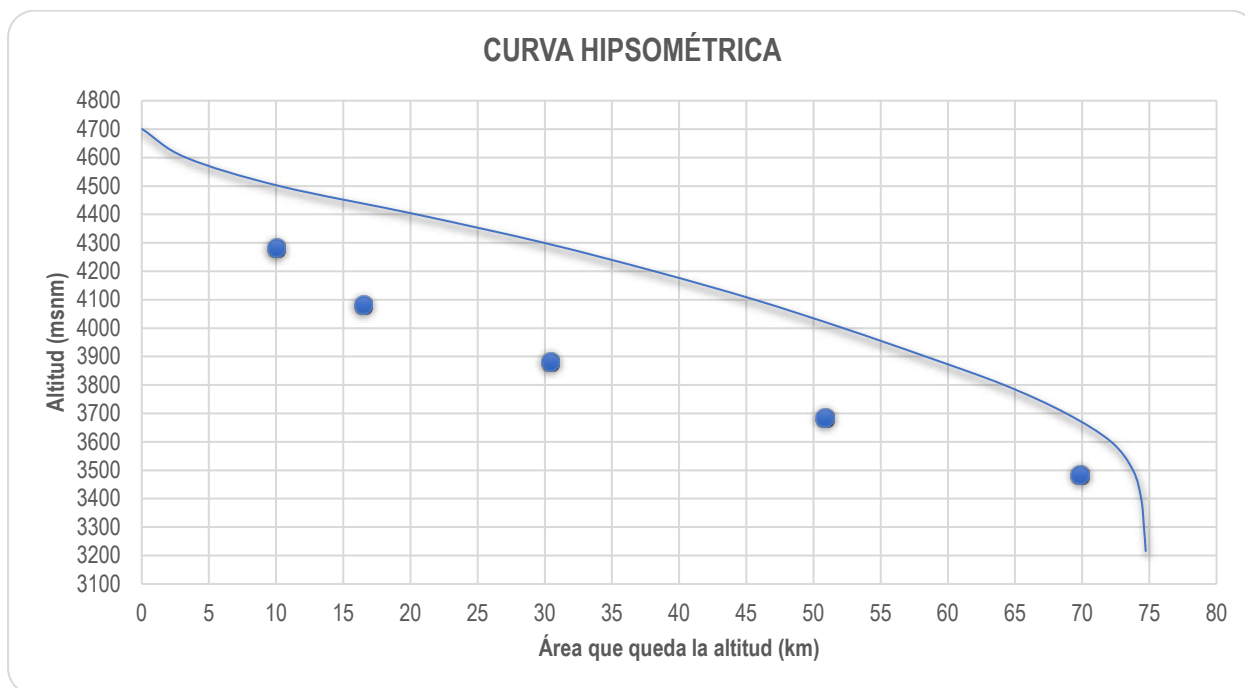
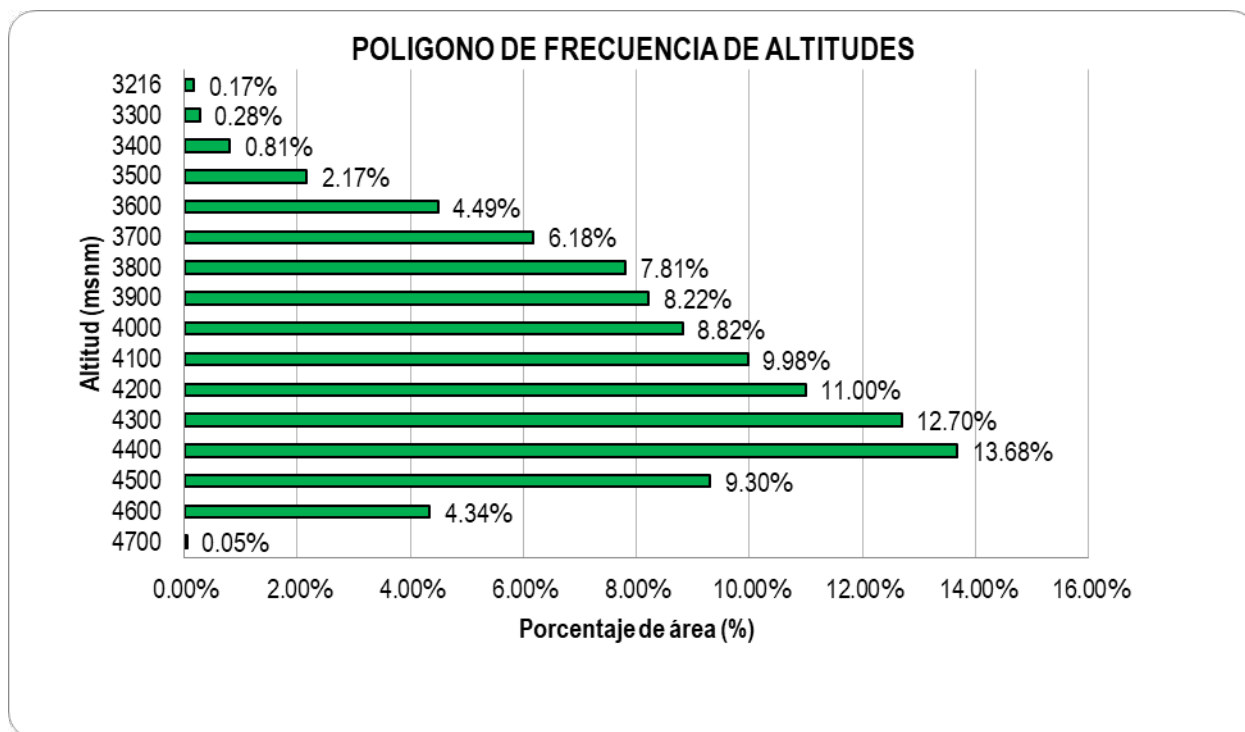
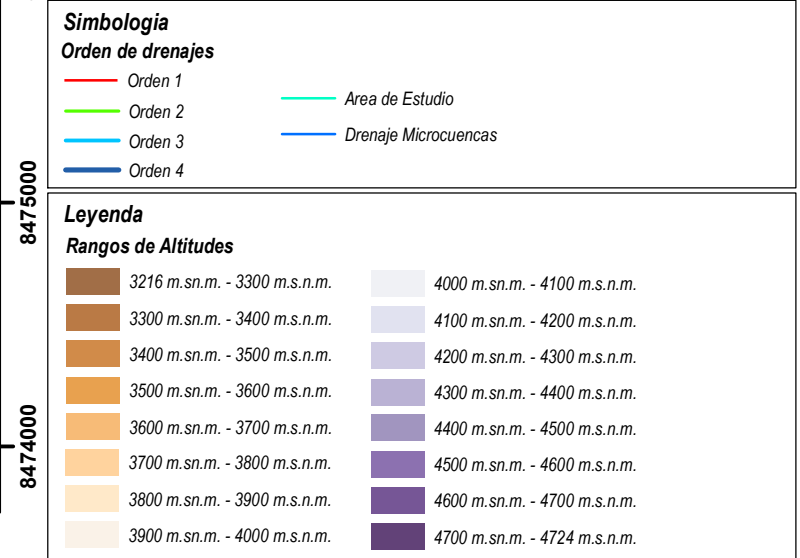
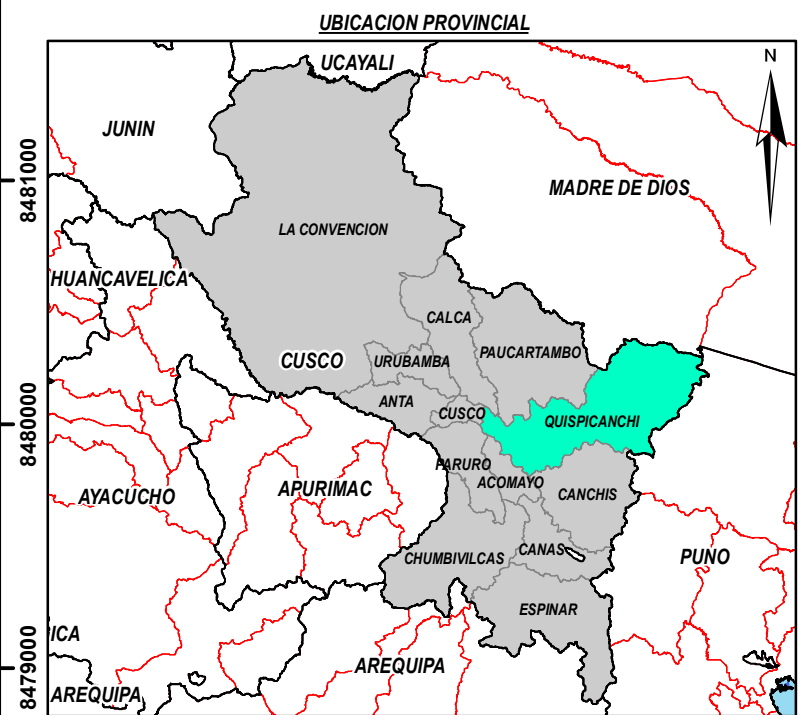
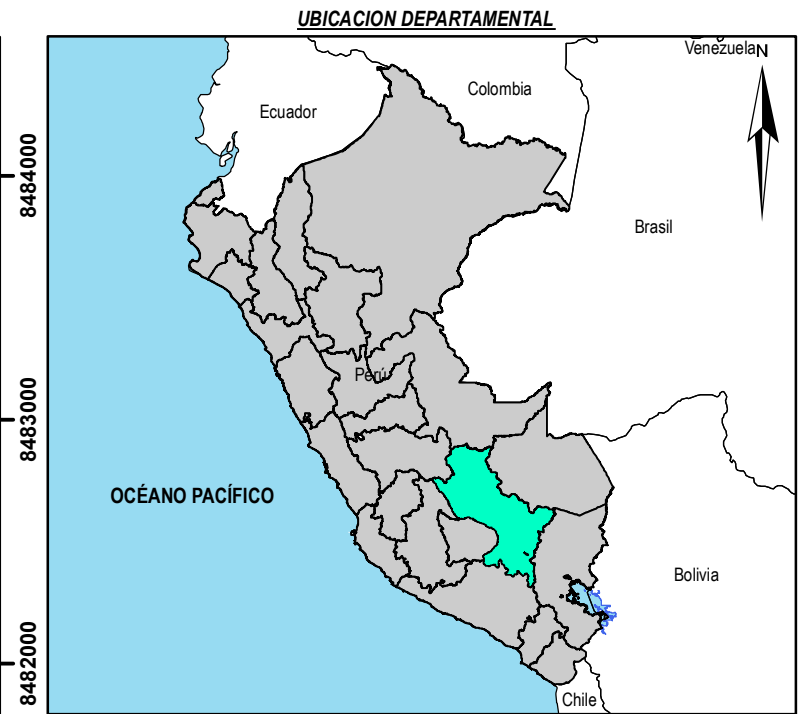
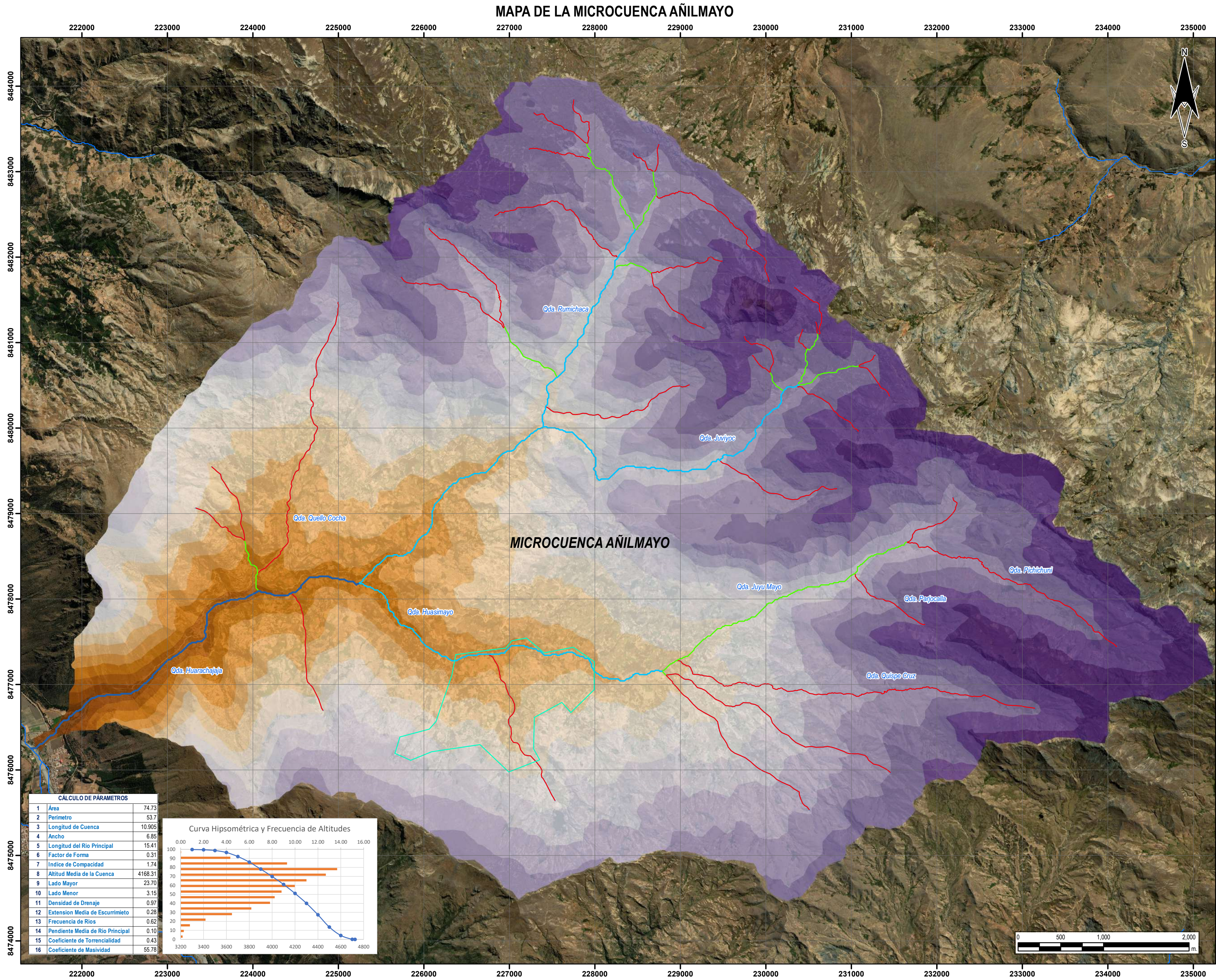


Figura 49. Polígono de frecuencias de la microcuenca Añilmayo







5.2. Información Hidrometeorológica

Los datos hidrometeorológicos básicos utilizados en este estudio se refieren a datos de 12 estaciones meteorológicas ubicadas tanto cerca como fuera del área de estudio, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Estaciones hidrometereológicas del sector de estudio para la microcuenca Añilmayo

Estación	Ubicación Geográfica		Altitud	Parámetros
Combapata	Latitud	Longitud	3464	PP
Ocongate	14°06'00"	71°26'00"	3972	PP
Urcos	13°38'00"	71°24'00"	3149	PP
Acomayo	13°42'00"	71°38'00"	3160	PP
Ccatcca	13°55'17"	71°41'21"	3729	PP
Granja Kayra	13°33'24"	71°33'36"	3219	PP, TEMP, HR, VIENTO, HS, EVA.
Paruro	13°46'02"	71°50'40"	3084	PP
Pomacanchi	14°01'40"	71°34'21"	3700	PP
Anta ancachuro	13°28'05"	72°12'56"	3340	TEMP, HR, VIENTO
Calca	13°20'00"	71°57'00"	2926	H.R.
Perayoc	13°31'00"	71°57'00"	3365	TEMP, VIENTO, HS, EVA
Urubamba	13°18'37"	72°07'25"	2863	TEMP, HR, VIENTO, HS, EVA.

Fuente: Senamhi

5.2.1. Análisis de Consistencia

Para este análisis se desarrolló los siguientes tres métodos:

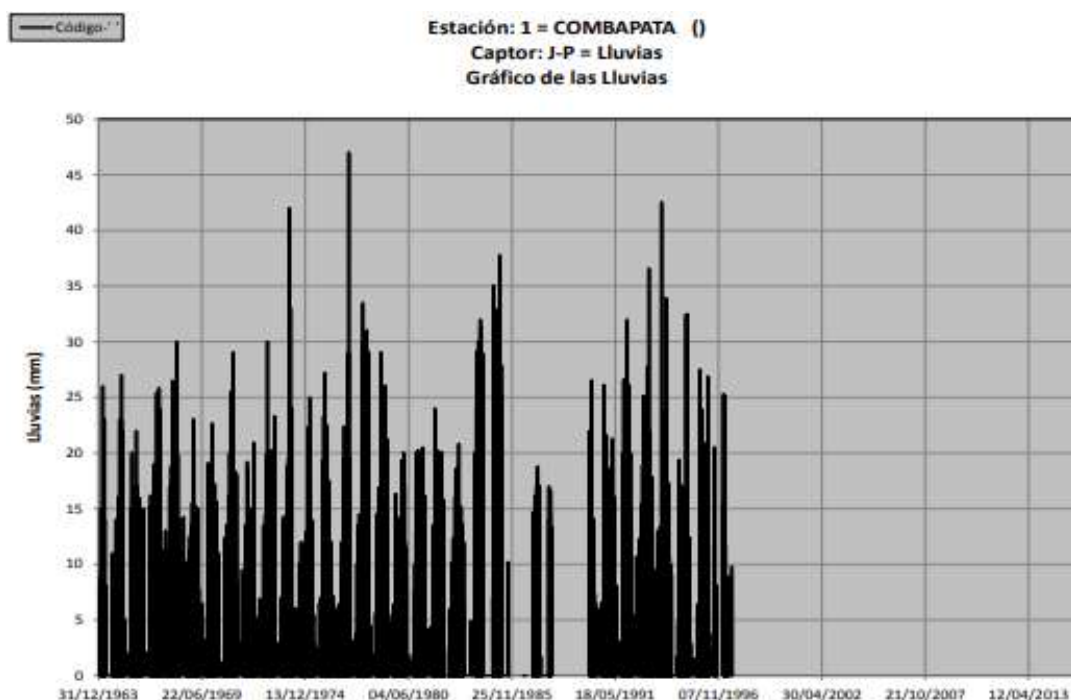
- I. Análisis visual de la Serie Histórica
- II. Análisis de doble masa (Método del Vector Regional)
- III. Análisis estadístico y tendencias



5.2.1.1. Análisis Visual de la Serie Histórica

El propósito del presente análisis es detectar e identificar visualmente cualquier inconsistencia en los datos pluviométricos, así como los períodos en los que los datos son ambiguos y pueden representarse como picos con valores muy altos o bajos, saltos o inclinación. Estos deben examinarse a través un histograma y la representación gráfica de la variable pluviométrica; los índices anuales o mensuales de la serie de precipitaciones se incluyen en los órdenes, y el tiempo se indica en las abscisas. con base en este análisis visual de los registros históricos, se observa que existe una inclinación consistente porque no hay pausas significativas en la serie, como se observa en las Figuras 35 al

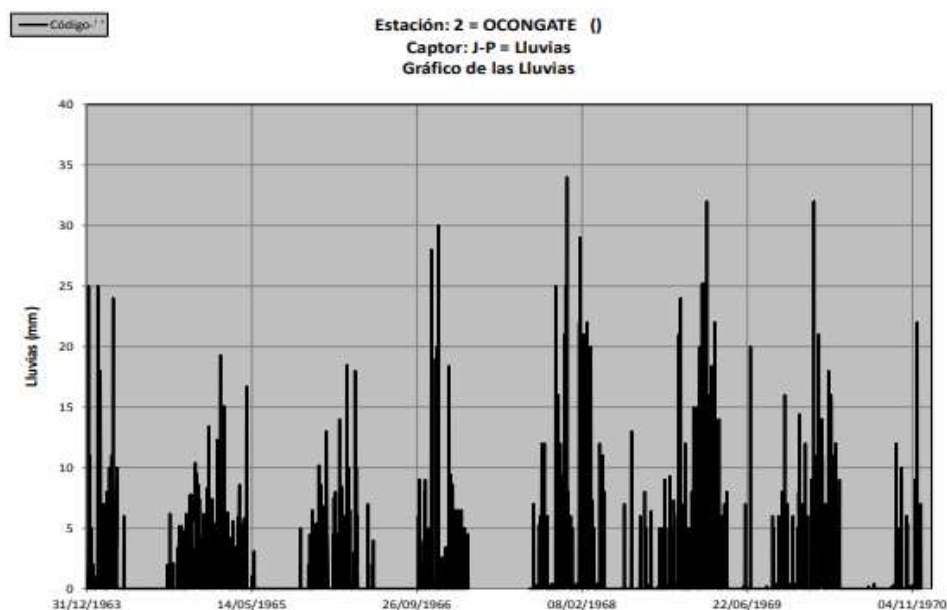
Figura 50. Serie histórica de precipitación de la estación Combapata.



Fuente: Pérez, G. 2018.

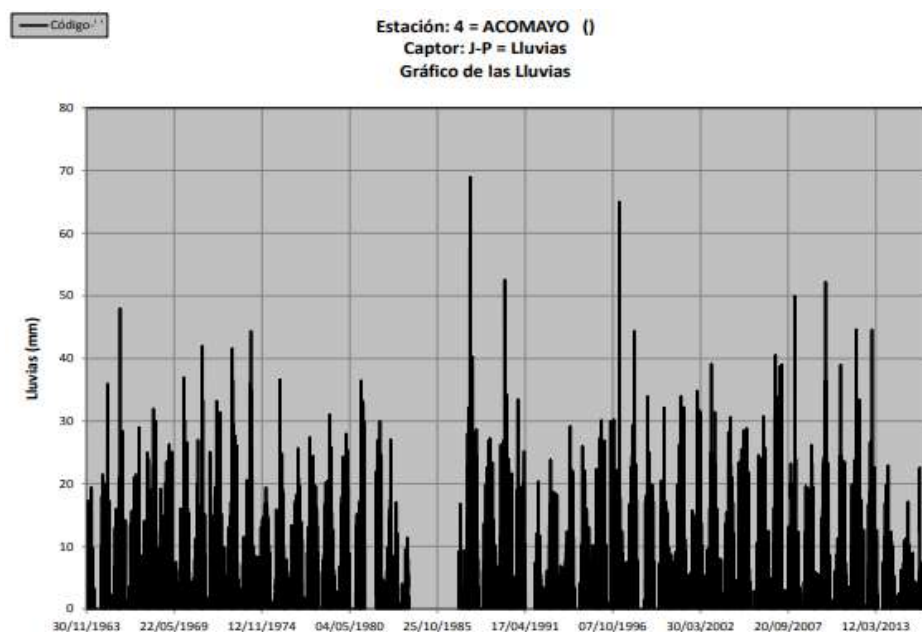


Figura 51. Serie histórica de precipitación de la estación Ocongate



Fuente: Pérez, G. 2018.

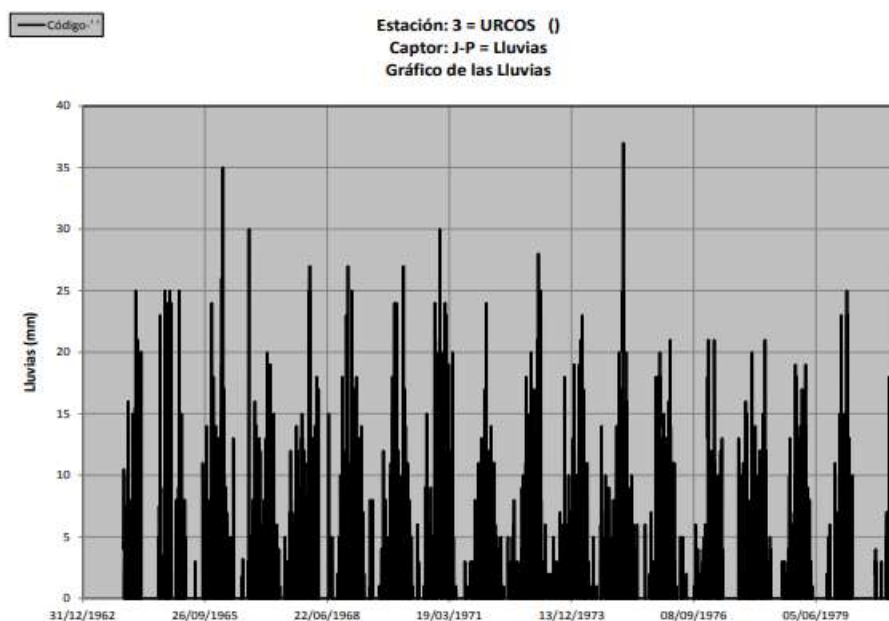
Figura 52. Serie histórica de precipitación de la estación Acomayo



Fuente: Pérez, G. 2018.

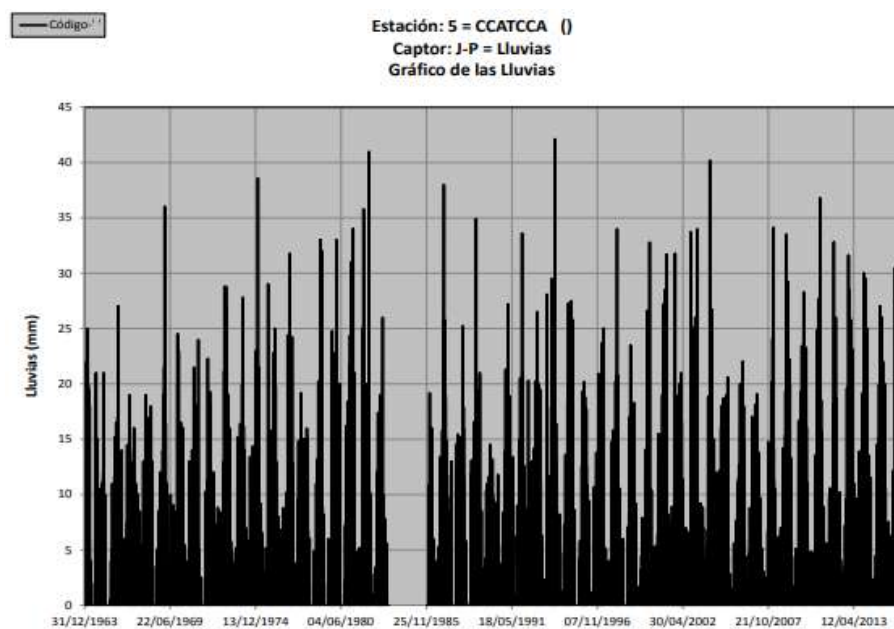


Figura 53. Serie histórica de precipitación de la estación Urcos



Fuente: Pérez, G. 2018.

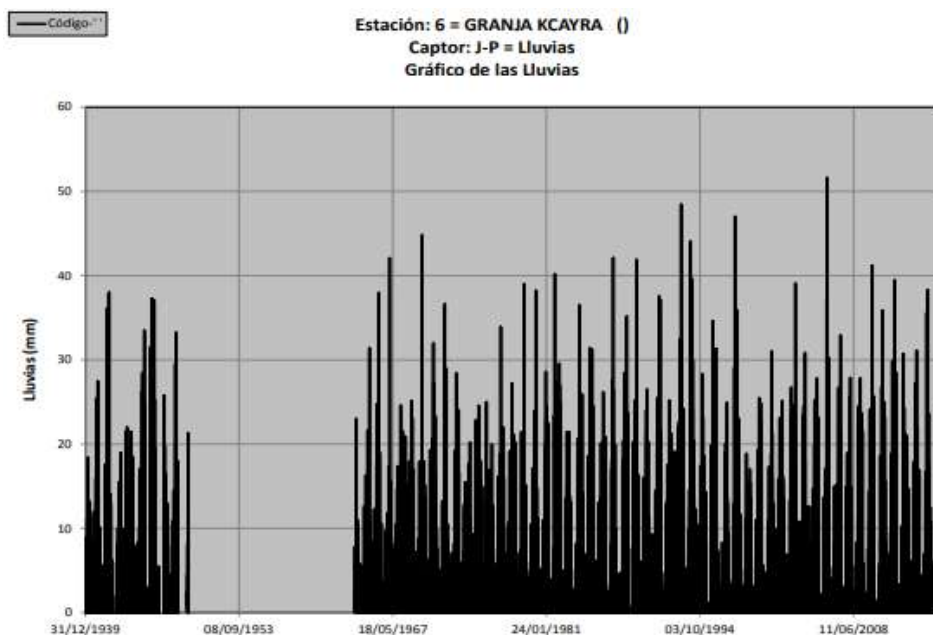
Figura 54. Serie histórica de precipitación de la estación Ccatca



Fuente: Pérez, G. 2018.

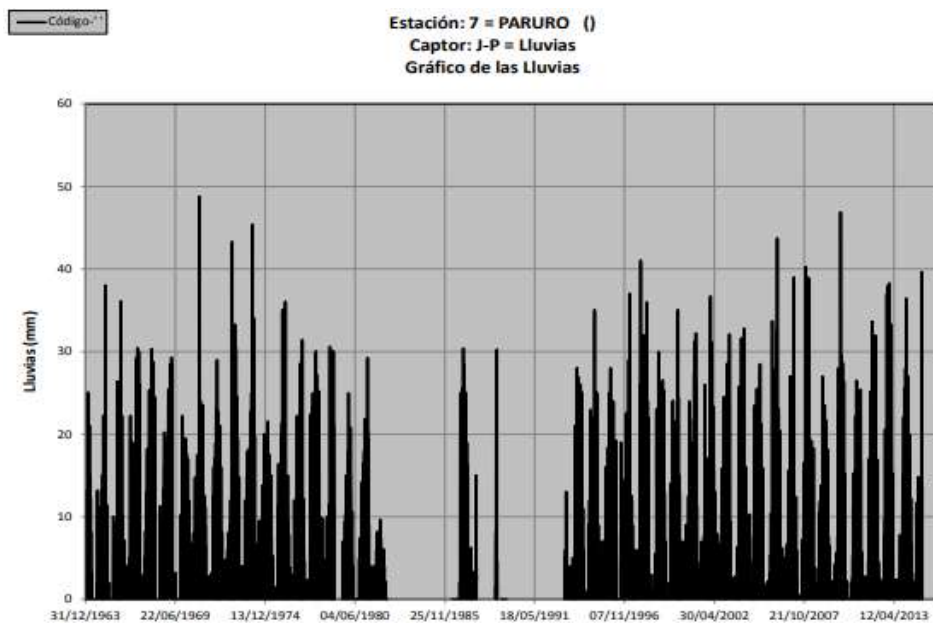


Figura 55. Serie histórica de precipitación de la estación Kcayra



Fuente: Pérez, G. 2018.

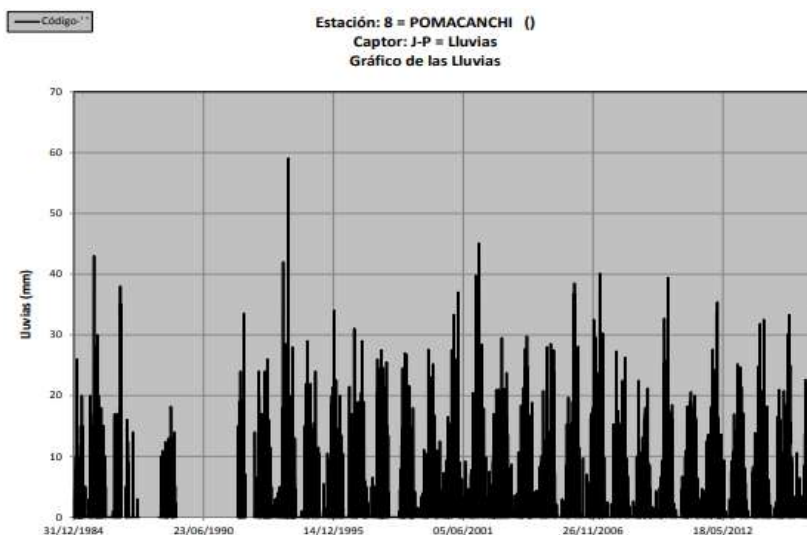
Figura 56. Serie histórica de precipitación de la estación Paruro



Fuente: Pérez, G. 2018.



Figura 57. Serie histórica de precipitación de la estación Pomacanchi



Fuente: Pérez, G. 2018.

5.2.1.2. Análisis de doble masa (Método del Vector Regional)

Utilizando el método vectorial regional, los resultados muestran que las secuencias de precipitación se ajustan a la hipótesis de pseudoproporcionalidad, indicando que sus datos están bien organizados y son de alta calidad debido a que su “Correl. /Vector” es mayor a 0.6 por encima del estado Ocongate.

Figura 58. Curva de dobles acumulados de las estaciones de estudio

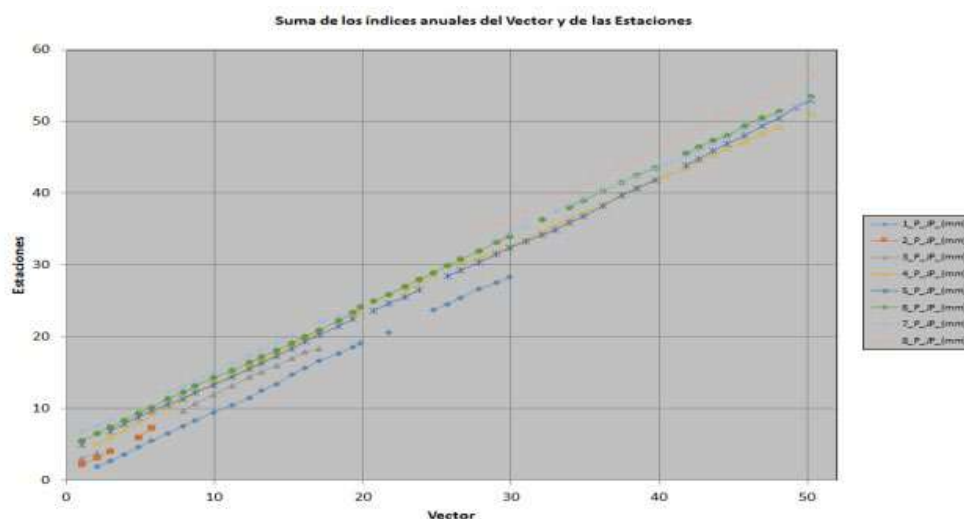
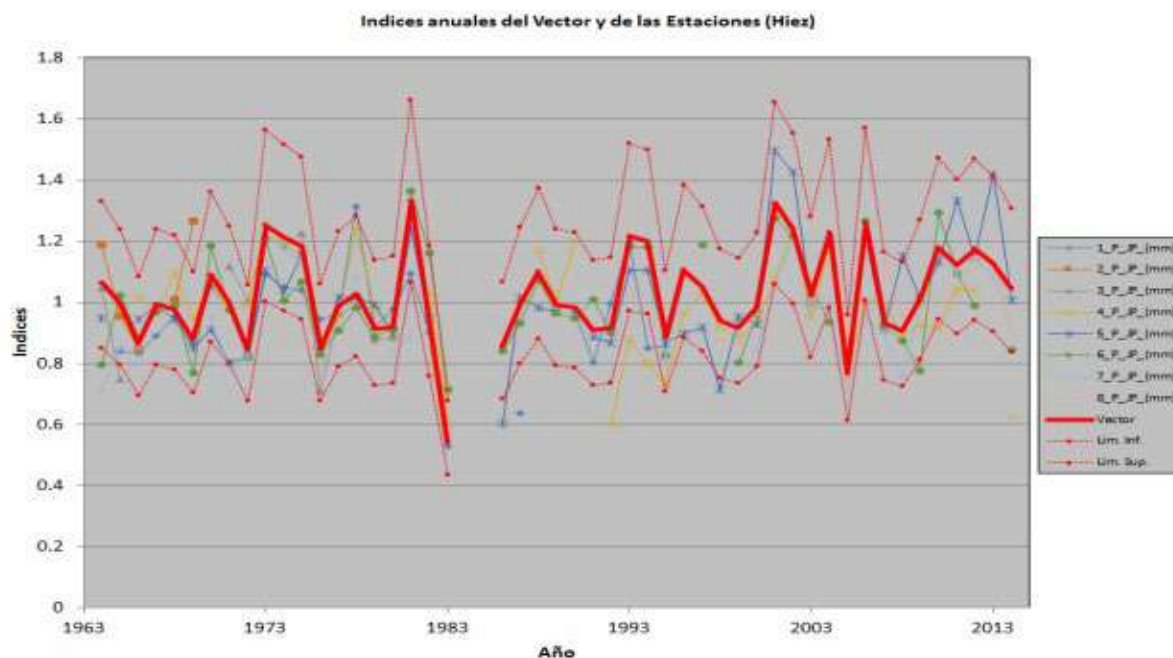


Figura 59. Índices anuales de las estaciones de estudio



Fuente: Pérez, G. 2018.

5.2.1.3. Análisis estadístico y tendencias

a. Análisis Estadístico

De acuerdo a los datos hidrometereológicos, debido a la consistencia de los datos confirmados anualmente y mensualmente, no fue necesario efectuar el análisis estadístico.

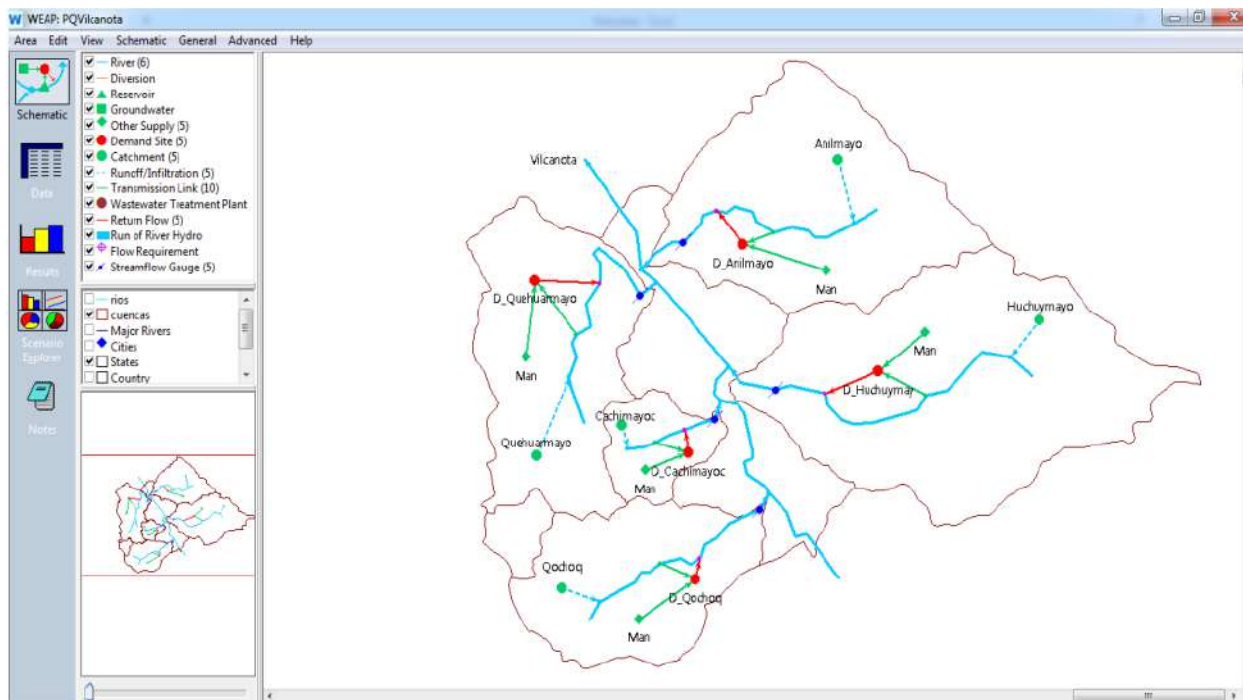
b. Análisis de Tendencias

Las series históricas de los datos medios mensuales, no se evidencian tendencias significativas en que hayan requerido ser corregida.

5.2.2. Generación de Caudales

Se utilizó el modelo precipitación-escurrentía WEAP para determinar métodos hidrodinámicos indirectos para la generación de caudales mensuales.

Figura 60. Modelo hidrológico de las microcuencas en WEAP



Fuente: Pérez, G. 2018.

Para la microcuenca de estudio Añilmayo, conforme a los resultados registrados en el tiempo 1964-2015, se tiene un caudal promedio anual de 0,949 m³/s, con una variación anual de 1,254 m³/s a (0,770 m³/s).

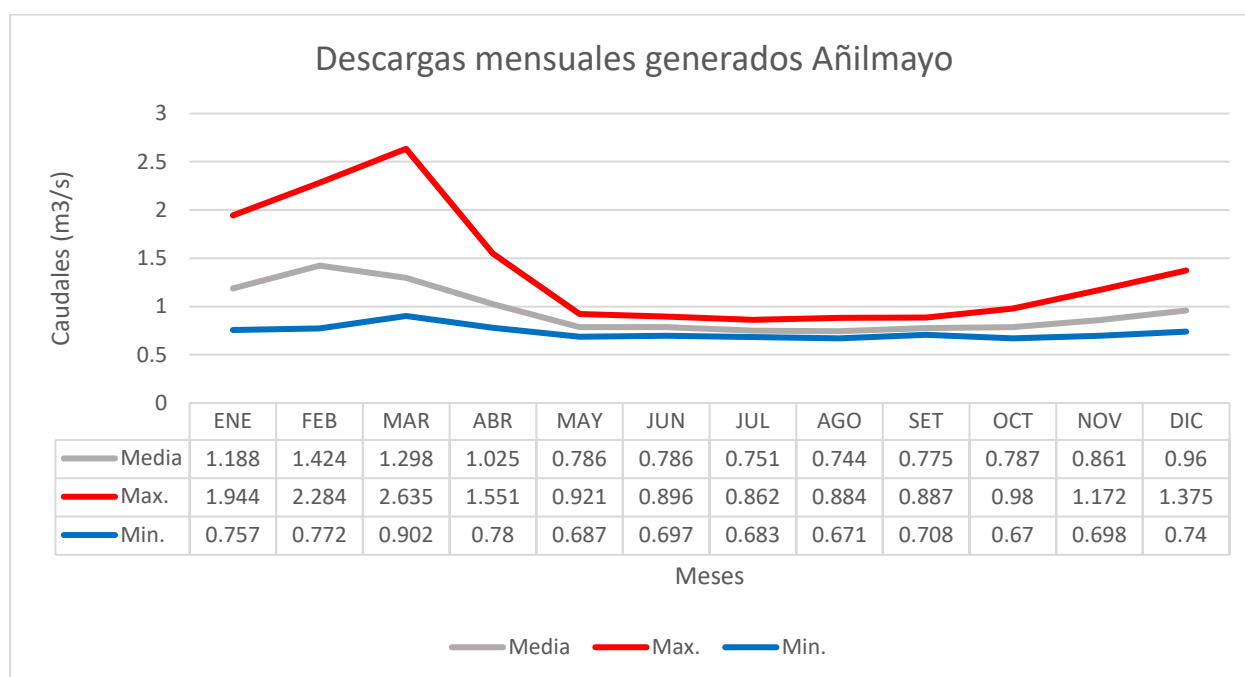
alcanzando una variación mensual máxima de 1.424 m³/s (marzo) y una mínima de 0,744 m³/s (agosto).



Tabla 11. Generación de Caudales en Ríos sin Estaciones de Aforo

Caudales (m3/s)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio
Media	1.188	1.424	1.298	1.025	0.786	0.786	0.751	0.744	0.775	0.787	0.861	0.96	0.949
Max.	1.944	2.284	2.635	1.551	0.921	0.896	0.862	0.884	0.887	0.98	1.172	1.375	1.366
Min.	0.757	0.772	0.902	0.78	0.687	0.697	0.683	0.671	0.708	0.67	0.698	0.74	0.730

Figura 61. Descargas mensuales generados en la Microcuenca Añilmayo



5.2.3. Cédulas de Cultivo

Las parcelas agrícolas que requieren sistemas de riego se establecieron de acuerdo con la información suministrada por la Junta de beneficiarios, concurriendo en un área para riego de 105,0 has, en la microcuenca de Añilmayo.

De igual manera, en las microcuencas estudiadas, se observa que el cultivo más común es el maíz, que ocupa 42 hectáreas de tierras de bajo riego y representa el 40% de la superficie



cultivable. Las producciones de papa, cebada, hortalizas, forraje, quinua y haba, que constituyen el 12,5% de la superficie total, son los menos comunes.

Tabla 12. Cédulas de cultivo en la microcuenca de Añilmayo

Nombre de cultivo	Área de Riego (Ha)	Porcentaje (%)
Maíz	42.00	40.00
Papa	14.28	13.60
Cebada	10.50	10.00
Haba	13.125	12.50
Quinua	9.135	8.70
Forraje	2.10	2.00
Hortalizas	11.76	11.20
Otros	2.10	2.00
Total	105	100

Figura 62. Porcentajes de cédulas de cultivo de la microcuenca Añilmayo

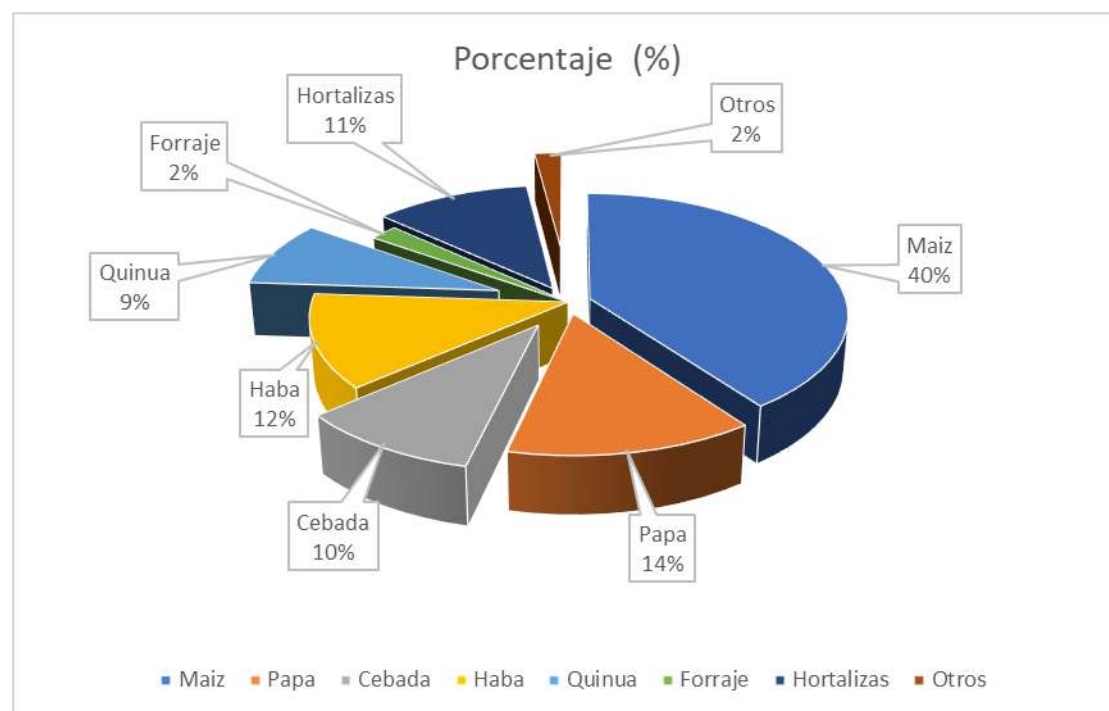




Tabla 13. Calendario de siembra en las microcuencas

ITE M	Cultivo	Área por campañ a (Ha) Princip al	Fecha de siembr a	Per. Verg (días)	Meses											
					AG	SE	OC	NO	DI	EN	FE	MA	AB	MA	JU	JU
1	Maíz	42	Set	210												
2	Papa	14.28	Oct	210												
3	Cebada	10.5	Nov	240												
4	Haba	13.125	Set	240												
5	Quinua	9.135	Set	270												
6	Forraje	2.1	Set	365												
7	Hortaliz as	11.76	Set	365												
8	Otros	2.1	Set	210												
Total		105														

5.2.4. Evapotranspiración potencial

La información meteorológica de la temperatura media mensual (°C) y la humedad relativa (%), velocidad del viento (km/h) y horas de sol (h) del estado Granja Kayra se utilizaron para calcular el potencial de evapotranspiración.

Figura 63. Evapotranspiración potencial empleando el método Penman Monteith aplicando el software Cromptat 8.0.

ETo Penman-Monteith Mensual - G:\Trashes\Estudios_2017\Estudio Quiquijana\DEMANDA\E...						
País PERU		Estación GRANJA KAYRA				
Altitud	3219 m.	Latitud	13.55 °S	Longitud	71.87 °W	
Mes	Prom Temp °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	13.1	68	121	4.1	16.6	3.17
Febrero	13.1	67	130	4.3	16.8	3.19
Marzo	12.9	68	112	4.6	16.4	3.04
Abril	12.2	65	112	6.1	17.1	2.98
Mayo	10.8	61	112	7.6	17.2	2.75
Junio	9.8	59	104	7.9	16.5	2.49
Julio	9.5	60	138	8.1	17.3	2.61
Agosto	10.9	58	173	7.6	18.3	3.06
Septiembre	12.5	60	216	6.8	19.1	3.50
Octubre	13.7	61	207	6.2	19.4	3.75
Noviembre	14.0	62	190	5.6	18.9	3.73
Diciembre	13.5	65	147	4.6	17.4	3.40
Promedio	12.2	63	147	6.1	17.6	3.14



5.2.5. Caudal Ecológico

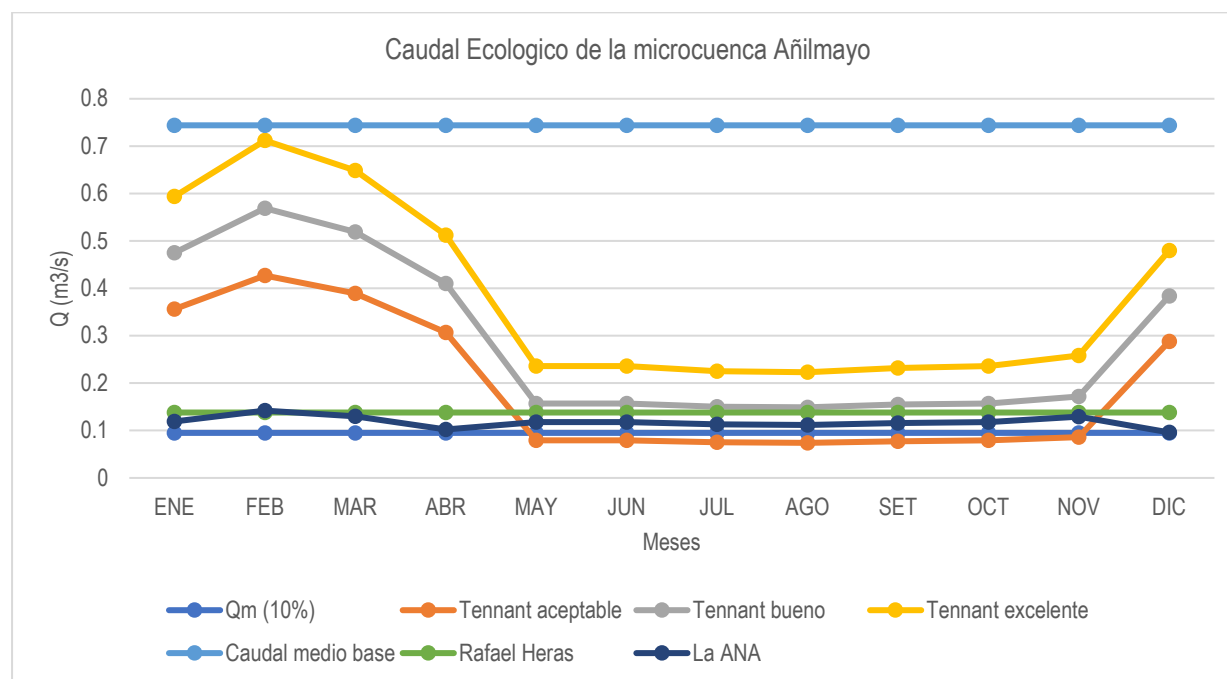
A continuación, se muestran los resultados ecológicos caudales para la microcuenca Añilmayo utilizando varios métodos hidrológicos.

Tabla 14. Caudal ecológico por diferentes métodos hidrológicos de la microcuenca Añilmayo

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Qm (10%)	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095
Tennant aceptable	0.356	0.427	0.389	0.307	0.079	0.079	0.075	0.074	0.077	0.079	0.086	0.288
Tennant bueno	0.475	0.569	0.519	0.41	0.157	0.157	0.15	0.149	0.155	0.157	0.172	0.384
Tennant excelente	0.594	0.712	0.649	0.512	0.236	0.236	0.225	0.223	0.232	0.236	0.258	0.48
Caudal medio base	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744
Rafael Heras	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138
La ANA	0.119	0.142	0.13	0.102	0.118	0.118	0.113	0.112	0.116	0.118	0.129	0.096

Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Caudal ecológico de la microcuenca Añilmayo





5.2.6. Balance Hídrico

Este cálculo se centra en el esfuerzo por satisfacer los requerimientos en todas las situaciones que exigen la envergadura del déficit; también se refiere a la compensación entre la entrada y la salida del sistema hidráulico en correspondencia con la oferta y la demanda de agua en la cuenca.

5.2.6.1. Oferta Hídrica

La oferta hídrica calculada se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 15. Disponibilidad Hídrica en la microcuenca Añilmayo

Disponibilidad Hídrica en la microcuenca (m3/s)		
Cuenca	Meses	Q75%(m3/s)
Añilmayo	ENE	1.021
	FEB	1.197
	MAR	1.073
	ABR	0.898
	MAY	0.747
	JUN	0.75
	JUL	0.723
	AGO	0.714
	SET	0.738
	OCT	0.744
	NOV	0.799
	DIC	0.821
Total		10.225

5.2.6.2. Demanda Hídrica

La demanda hídrica calculada se detalla a continuación

Tabla 16. Demanda Hídrica en la microcuenca Añilmayo

DEMANDA HIDRICA AÑILMAYO	
MES	m3/s
ENE	0.001
FEB	0.002
MAR	0.007
ABR	0.021
MAY	0.02
JUN	0.014
JUL	0.009
AGO	0.01
SET	0.062
OCT	0.03
NOV	0.033
DIC	0.013

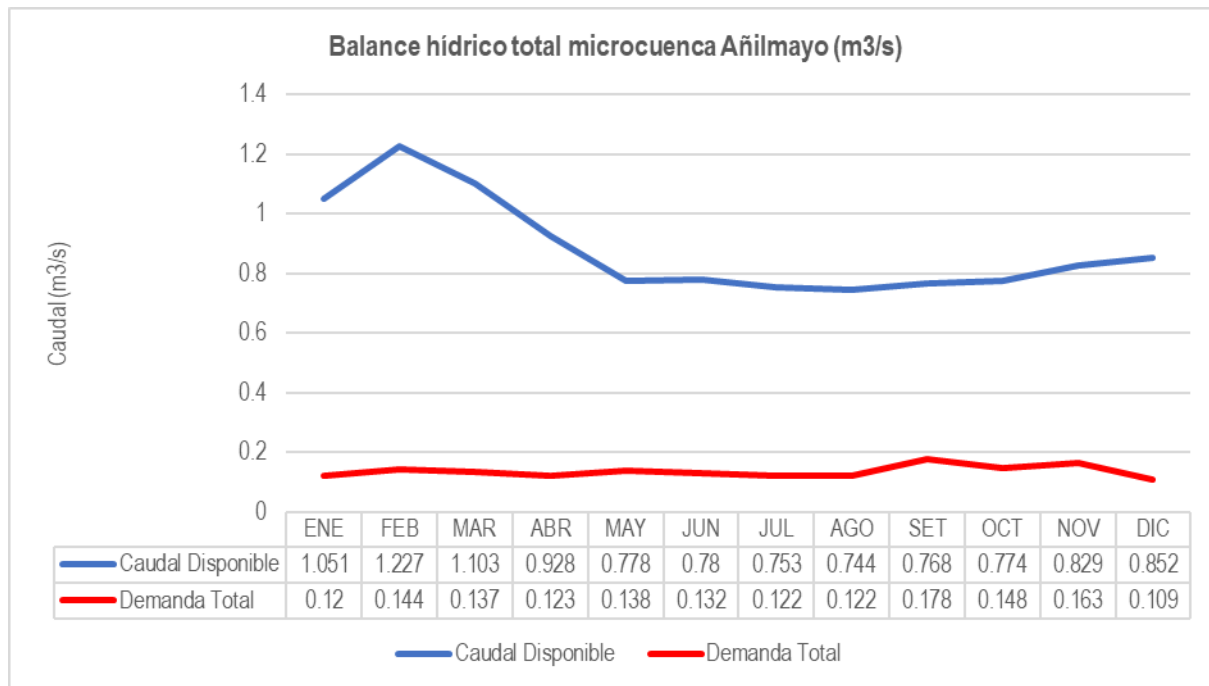


Con los datos anteriormente escritos se determinó el balance hídrico que se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 17. Balance Hídrico en la microcuenca Añilmayo

Meses	Caudal Disponible	Demanda Total	Superávit	Déficit
ENE	1.051	0.12	0.931	-
FEB	1.227	0.144	1.083	-
MAR	1.103	0.137	0.966	-
ABR	0.928	0.123	0.805	-
MAY	0.778	0.138	0.64	-
JUN	0.78	0.132	0.648	-
JUL	0.753	0.122	0.631	-
AGO	0.744	0.122	0.622	-
SET	0.768	0.178	0.59	-
OCT	0.774	0.148	0.626	-
NOV	0.829	0.163	0.666	-
DIC	0.852	0.109	0.743	-

Figura 65. Balance Hídrico Microcuenca Añilmayo

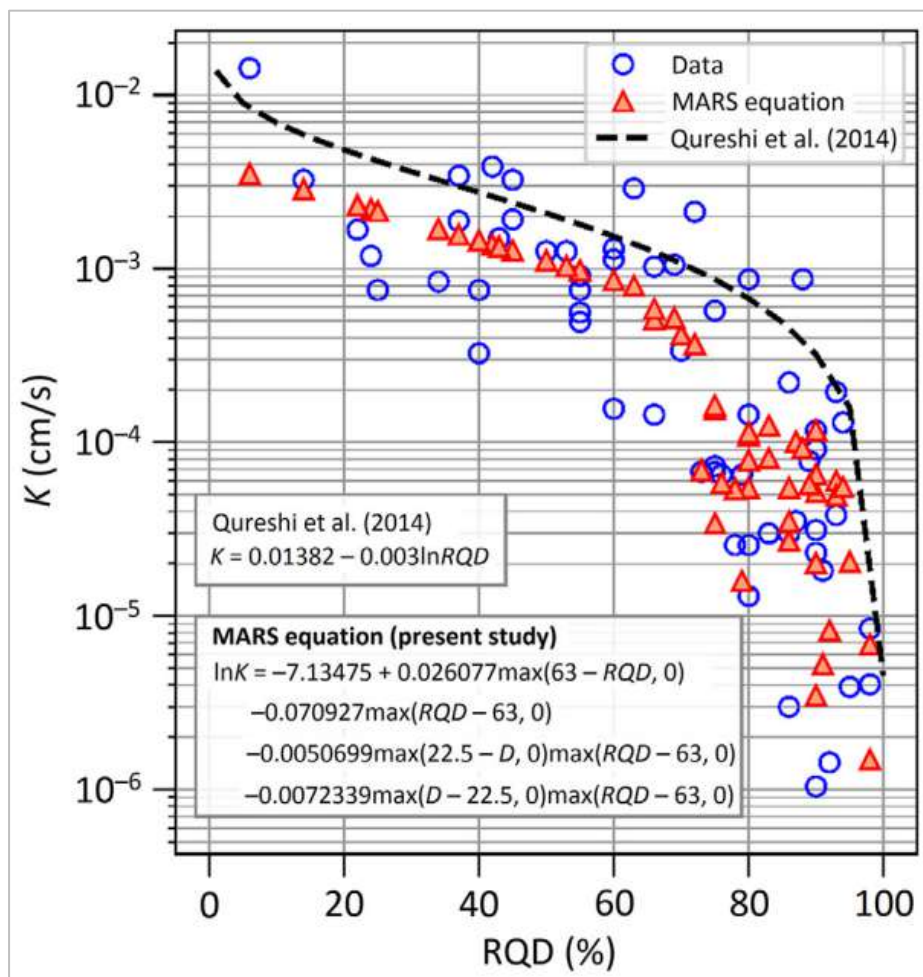


5.3. Hidrogeología

Para poder determinar el tipo de unidad hidrogeológica para reforzar la presencia de agua en las capas subterráneas a pesar de los cambios climáticos, se determinó la permeabilidad por medio de fórmulas empíricas que están sujetas al RQD de los afloramientos rocosos, los cuales determinan la capacidad de penetración y el tipo de acuífero del sector.

El RQD de todos los reservorios es 9.16% caracterizado por el intenso fracturamiento de los sectores de estudio, los cuales arrojarán los siguientes valores de permeabilidad:

Figura 66. Gráfica entre la permeabilidad (K) y RQD



Fuente: Qureshi, M. U. et al. (2022).



Ecuación de MARS según Qureshi M. U. et al. (2022)

$$\ln K = -7.13475 + 0.026077 \max(63 - RQD, 0) - 0.070927 \max(RQD - 63, 0) \\ - 0.0050699 \max(22.5 - D, 0) \max(RQD - 63, 0) \\ - 0.0072339 \max(D - 22.5, 0) \max(RQD - 63, 0)$$

En base a dicha ecuación se calculó la siguiente permeabilidad:

$$K = 0.003244596 \text{ cm/s}$$

$$K = 2.803330944 \text{ m/día}$$

En base a dicho calculo se ha determina el tipo de unidad hidrogeológica, que se basa en los umbrales de permeabilidad detallado en el libro de Custodio Llamas:

Tabla 18. Clasificación de terrenos por permeabilidad según Benítez (1963)

VALORES(m/día)	PERMEABILIDAD										
	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴
Calificación	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable		
Calificación del acuífero	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero pobre		Acuífero medio a bueno		Acuífero		
Tipo de Materiales	Arcilla compacta granito		Limo arenoso limo Arcilla limosa		Arena fina arena limosa caliza Fracturado		Arena limpia grava y arena fina		grava limpia		

Fuente: Custodio, E. & Llamas, M. (1983)

De acuerdo a los valores obtenidos anteriormente se determinó como un Acuífero bueno a medio.

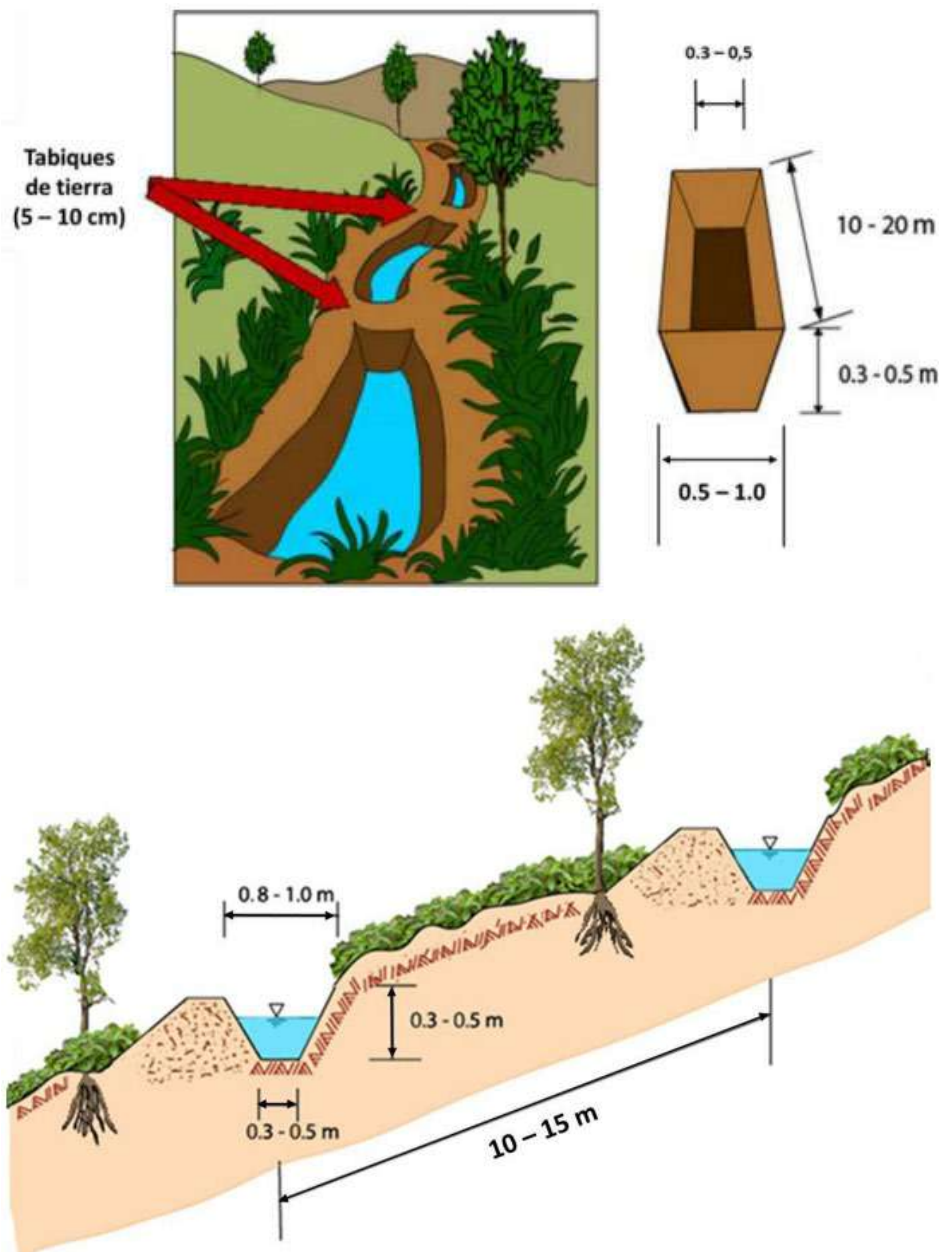
5.3.1. Recarga artificial de Acuíferos

5.3.1.1. Zanjas de Infiltración

La construcción de las excavaciones para infiltración debe ser en dirección vertical a la inclinación del terreno. Puede construirse de forma manual o mecánica con tractores agrícolas. Las características hidromecánicas de las zanjas de absorción presentes en la sierra peruana son las siguientes: longitud cero, ancho de 30-50 cm en la parte inferior, de 50-100 cm en la parte

superior, profundidad efectiva de zanja de 30-50 cm, luz de aproximadamente 5-10 cm y separación superficial entre zanjas de 10-20 m.

Figura 67. Diseños preliminares de Zanjas de Infiltración



Fuente: Absalón, V. et. al. (2016)



5.3.1.2. Reforestación

Debido a que la aplicación de este método en pendientes puede penetrar hasta un 47% de la lluvia, es posible contener de manera regular y eficiente la erosión y fortalecer la escorrentía de las aguas pluviales.

Tabla 19. *Especies forestales recomendadas*

Características Físicas	Especies forestales				
	Queuña	Qolle	Quishuar	Chachacomo	Mutuy
Rango altitud (msnm)	2800 a 4700	3400 a 4500	2300 a 3900	2600 a 4000	2500 a 4000
Rango de Tº media (°C)	3 a 12	3 a 10	9 a 17	6 a 14	3 a 10
Resistencia a heladas	Soporta	Soporta	Eventual	Soporta	Soporta
Tendencia del suelo	Alcalina	Alcalina	Alcalina	Variada	Variada
Profundidad requerida	Media-Baja	Media	Media a Escasa	Escasa	Media
Tolerancia a la pedregrosidad	Alta	Media	Alta	Media a Alta	Media
Requerimiento de agua	Bajo	Medio a bajo	Medio	Bajo	Media

Fuente: *Bandera W. et. al. (2019)*

De acuerdo con la sugerencia del INIA, se necesitan cerca de 1111 plantones por hectárea de terreno, destacando que hay una pérdida del 3%.



Capítulo VI

Geofísica

6.1. Geofísica teórica

6.1.1. Método Resistividad Eléctrica

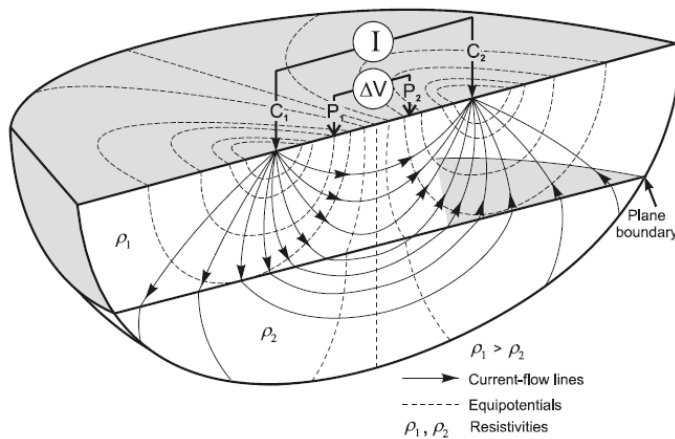
De acuerdo a Knodel, K. (2007). Sin duda, el método de resistividad es el más significativo de todos los métodos eléctricos en todas sus modalidades y ofrece mejores mediciones determinaciones cuantitativas de las propiedades conductoras del sustrato. En el 70% de los estudios geofísicos ejecutados para investigaciones hidrogeológicas, se emplearon técnicas basadas en electricidad.

El objetivo de este método es obtener modelos 1D y 2D de los valores reales de resistividad del subsuelo. A partir de estos modelos, podemos confirmar la presencia de filtros de agua en capas profundas, localizando zonas donde el valor de las resistividades del suelo ha disminuido de forma anormal. Esto requerirá la implementación de un software de inversión que convierta las mediciones de resistividad aparentes obtenidas en la intervención en el terreno en resistividades reales.

La resistividad de las técnicas basadas en corriente continua (CC) utiliza fuentes de alimentación eléctrica artificiales para crear un campo de potencial eléctrico en el suelo. En casi todos los procedimientos de resistividad, se inserta una corriente en la superficie mediante electrodos colocados uno tras otro (C1, C2), y el campo de potencial se determina con dos electrodos adicionales (electrodos de potencial P1 y P2), como se muestra en la Figura 3. La fuente de alimentación puede ser intermitente o continua, de baja frecuencia (0,1-30 Hz). Determinar la resistividad en diferentes puntos del espacio (o su conductividad recíproca) en el suelo es el propósito de establecer y cuantificar el campo de potencial eléctrico. Como se conocen el potencial entre P1 y P2, la corriente introducida por C1 y C2 y la configuración del

electrodo, se puede evaluar la resistividad superficial, también conocida como "resistividad aparente".

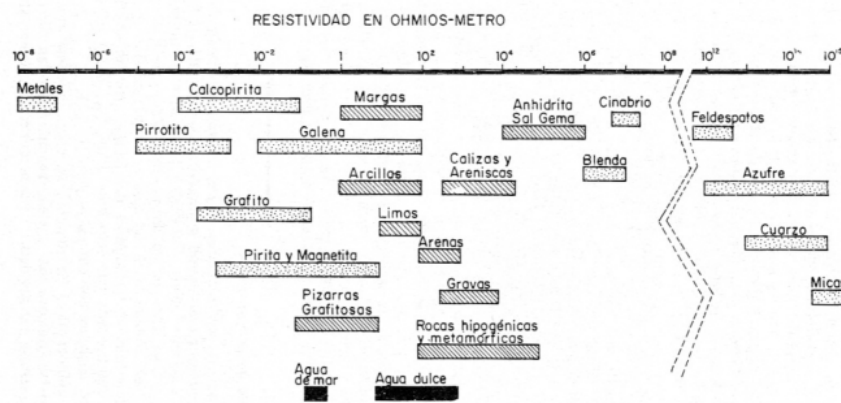
Figura 68. Principio de medición de resistividad con una matriz de tetra electródica



Fuente: Knödel K., G. Lange, H.-J. Voight.

Como resultado, el tamaño de sus poros, la distribución y la resistencia del líquido que los transporta afectan la resistencia de las rocas y los suelos. Esto es comprensible, ya que no se puede categorizar los suelos de acuerdo con su resistividad, porque esta propiedad eléctrica depende de la porosidad, la fractura y la cantidad de agua o líquido alternativo. Entonces, se muestran los valores de los materiales geofísicos más tradicionales en ohmios-metros.

Figura 69. Valores de resistividad más comunes en rocas y minerales



Fuente: Orellana E. 1972.

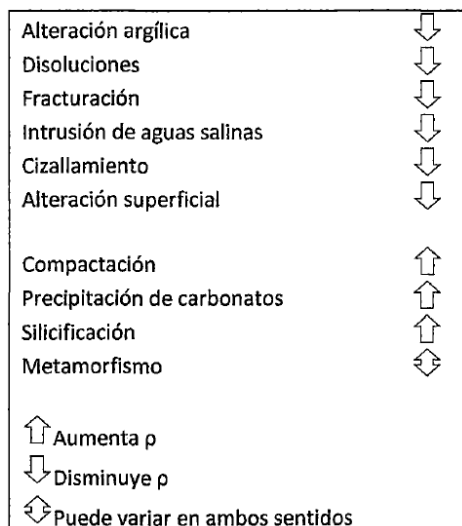


6.1.2. Conductividad Electrolítica

La mayoría de las sustancias minerales que componen las rocas son aillantes, como los carbonatos, la sílice, etc. La porosidad y la conductividad de fluidos de las rocas no mineralizadas son más importantes para determinar su conductividad eléctrica que su composición mineral. Numerosas transformaciones geológicas afectan la porosidad de las rocas.

La Figura 18 ilustra la relación entre los procesos y sus efectos sobre la resistividad. Los cationes son atraídos por las partículas de arcilla, donde algunas se conectan a los iones presentes para habilitar la conductividad eléctrica. La meteorización hidrotermal de feldespatos (caolinita, montmorillonita) y rocas básicas (clorita, serpentina) puede tener un impacto significativo en la resistencia de las rocas. La granulometría influye en la porosidad y la resistividad de la superficie cuando los materiales no están consolidados.

Figura 70. Influencia de ciertos procesos geológicos sobre la resistividad de las formaciones.



Fuente: Orellana E. 1972

La textura de las rocas es significativa. Dependiendo de los factores mencionados, la conductividad opuesta de cada tipo de material y arreglo geométrico de las formaciones geológicas varía significativamente.



Una corriente continua pasa por un sistema de electrodos conectados a tierra para observar el método eléctrico. Tras pasar la corriente, que en este caso se denomina polarizante, existe una diferencia de potencial entre las tomas médicas, cuya magnitud se determina por la intensidad de la corriente, la ubicación relación espacial entre las tomas de abastecimiento y captación, y las características del corte geoelectrico. Cada variante del método de resistividad mide la diferencia de potencial.

La Tabla 20 indica el incremento de la resistencia eléctrica conforme al tipo de roca y agua. En depósitos no consolidados, la resistividad aumenta a medida que aumenta el tamaño de la granulometría prominente, no obstante, en todos las situaciones, la resistividad de las rocas con agua mineralizada naturalmente disminuye. En sedimentos no consolidados, la resistividad de las capas puede estar relacionada con su naturaleza, específicamente con la cantidad de agua en sus poros o fracturas, la cantidad de sal en el agua y el tamaño de las partículas en los depósitos sedimentarios.

Tabla 20. Valores de resistividad de tipos de agua y roca

Material	Resistividad nominal (Ωm)
Sulfuros	
Calcopirita	$1.2 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-1}$
Pirita	$2.9 \times 10^{-5} - 1.5$
Pirrotina	$7.5 \times 10^{-6} - 1^{-2}$
Galena	$3 \times 10^{-5} - 3 \times 10^2$
Esfalerita	1.5×10^7
Óxidos	
Hematita	$3 \times 10^{-3} - 10^7$
Limonita	$10^3 - 10^7$
Magnetita	$5 \times 10^{-5} - 5.7 \times 10^3$
Ilmenita	$10^{-3} - 50$
Cuarzo	$300 - 10^6$
Sal roca	$30 - 10^{13}$
Antracita	$10^{-3} - 2 \times 10^5$
Lignito	$9 - 200$
Granito	$300 - 1.3 \times 10^6$
Granito erosionado	$30 - 500$
Sienita	$10^2 - 10^6$
Diorita	$10^4 - 10^5$



Gabro	$10^3 - 10^6$
Basalto	$10 - 1.3 \times 10^7$
Esquisto (calcáreo y mica)	$20 - 10^4$
Esquisto (Grafito)	$10 - 100$
Pizarras	$600 - 4 \times 10^7$
Mármol	$100 - 2.5 \times 10^8$
Esquistos consolidados	$20 - 2000$
Conglomerados	$2 \times 10^3 - 10^4$
Areniscas	$1 - 7.4 \times 10^8$
Calizas	$50 - 10^7$
Dolomita	$350 - 5 \times 10^3$
Margas	$3 - 70$
Arcillas	$1 - 100$
Aluvión y arena	$10 - 800$
Rocas de morrena	$10 - 5 \times 10^3$
Reservorio de Hidrocarburos	$25 - 27.5$
Suelo 40% arcilla	8
Suelo 20% arcilla	33
Capa superficial del suelo	$250 - 1700$
Arcilla (muy seca)	$50 - 150$
grava (seca)	1400
Grava (saturada)	100
Arenas cuaternarias/recientes	$50 - 100$
Ceniza	4
suelo arenoso seco	$80 - 1050$
Arena arcilla/arena arcillosa	$30 - 215$
Arena y grava	$30 - 225$

Nota: Adaptado de 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 291

Tabla 21. Variación de la resistividad de aguas naturales

RESISTIVIDAD DE AGUAS NATURALES	Ωm
Agua de lagos y arroyos de alta montaña	$10^3 \text{ a } 3 \times 10^3$
Aguas dulces superficiales	$10 \text{ a } 10^3$
Aguas salobres superficiales	$2 \text{ a } 10$
Aguas subterráneas	$1 \text{ a } 20$
Agua de lagos salados	$0.1 \text{ a } 1$
Aguas marinas	~ 0.2
Aguas de impregnación de rocas	$0.3 \text{ a } 10$



Fuente: Orellana E. 1972. *Prospección geoeléctrica de corriente continua (2nd Edition)*.

De la interpretación de las medidas de resistencia aparente realizadas en un suelo se pueden analizar la composición estructural del subsuelo (cantidad de estratos, etc.).

Cabe resaltar que estos valores solo son referenciales, los diferentes tipos de litologías varían por sus propias características locales (fracturas, contenido de arcilla, grado de alteración, etc.), por dicha razón las resistividades expuestas solo son una guía susceptible a diversas interpretaciones, ya que las litologías no presentan una resistividad exacta y precisa.

6.1.3. Dispositivos Tetraelectrodicos Lineales Básicos

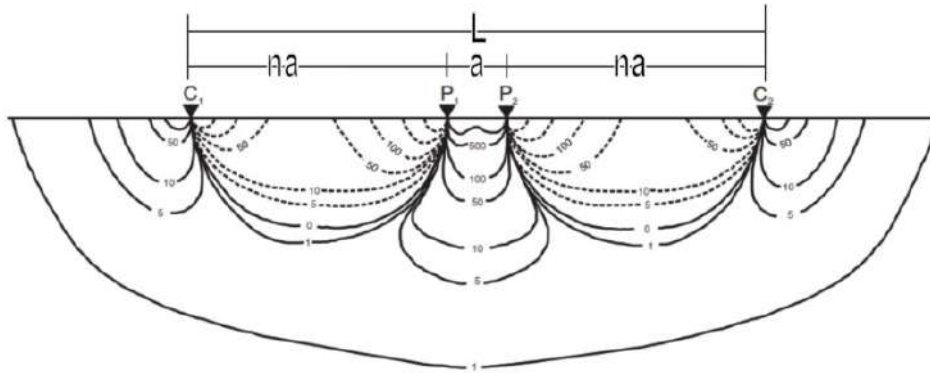
en cualquier dispositivo que haga uso de cuatro electrodos suplementarios para inducir corriente a tierra, sabemos el parámetro geométrico "g", la intensidad de corriente "I" inducida por los electrodos "A" y "B", y la diferencia de potencial entre los electrodos "M" y "N". El dispositivo lineal utilizado para el proyecto fue:

6.1.3.1. Dispositivo Wenner-Schlumberger

se conoce de esta manera por el movimiento hacia los lados aplicado al arreglo de Schlumberger, que combina los arreglos de Wenner y Schlumberger (Pazdirek y Blaha, 1996) o es un híbrido. Los electrodos AMNB se posicionan de manera simétrica en línea, y la distancia entre los electrodos de potencial MN es $0.0 \ 100 \ 50 \ 0 \ X \ \text{spacing} \ (m) \ -25 \ -20 \ -15 \ -10 \ -5 \ 0$ Report point (m) mucho menor que la corriente AB de los electrodos. Por lo tanto, este patrón es coherente tanto para capas verticales (cambios en la resistividad en dirección horizontal) como horizontales (cambios en la resistividad en dirección vertical). Su nivel de profundidad en el estudio de medios es un 10 % mayor que el de Wenner. La intensidad de la señal es mayor en comparación con el arreglo Dipolo-Dipolo, pero menor en relación con el arreglo Wenner (Loke, 2010).



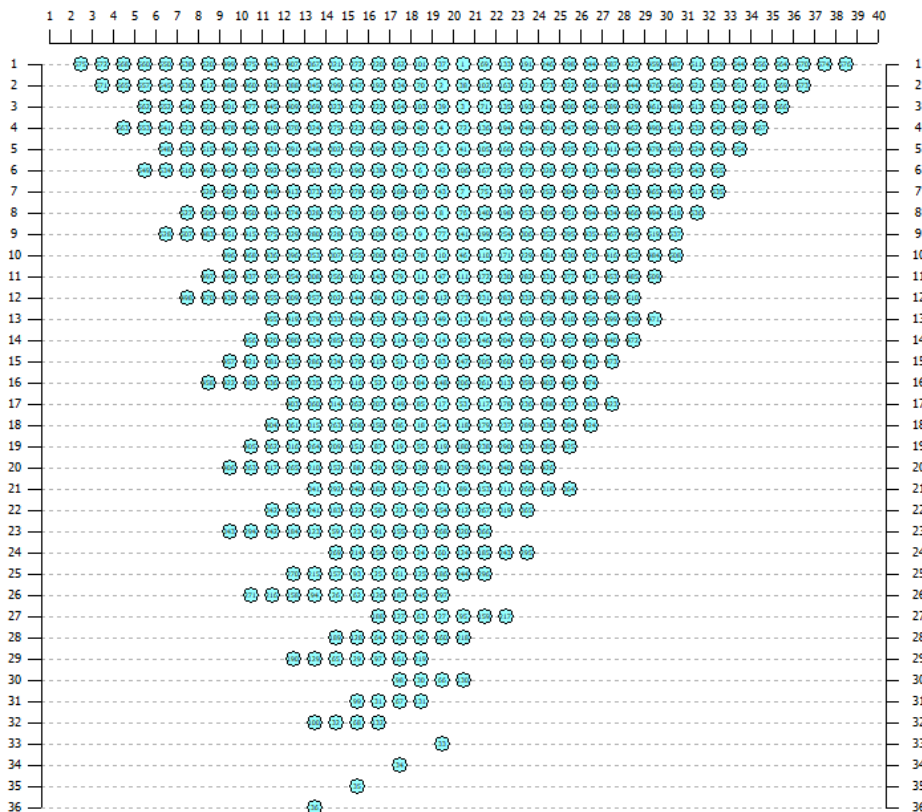
Figura 71. Disposición de los electrodos mediante el dispositivo Wenner-Schlumberger



Nota: Adaptado de Reynolds 2011.

Figura 72. Diagrama de puntos de adquisición para el arreglo Wenner-Schlumberger

Geomative Studio

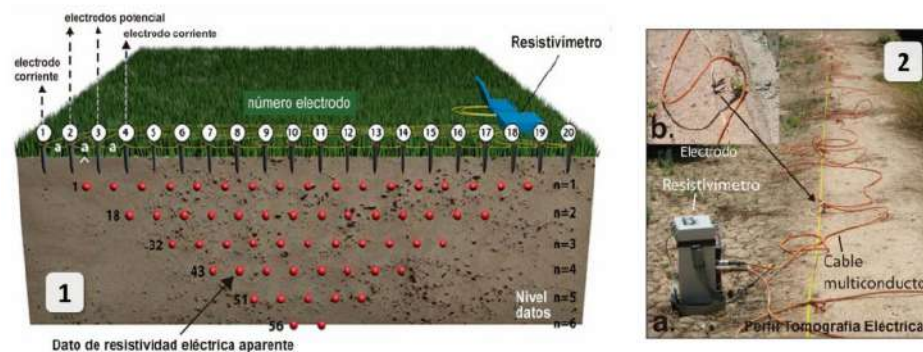


Fuente: Geomative Studio

Su ecuación para establecer la resistividad aparente es la siguiente:

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

Figura 73. Representación simplificada de la técnica de Tomografía Eléctrica



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.

6.1.4. Metodología Para la Adquisición de Datos de Campo

6.1.4.1. Equipo Utilizado Para la Tomografía Eléctrica

El equipo aplicado es el modelo GEOMATIVE GD10 SUPREME, el cual tiene una capacidad máxima de salida de 7500w, permitiendo la eficiencia máxima en la toma de lecturas y la facultad de alcanzar profundidades de hasta 500 metros, dependiendo de la anisotropía y efecto del manto de superficie.

Es una herramienta amigable en su uso y su manipulación es útil para la determinación específica de los parámetros debido a que cuenta con dos herramientas digitales de última generación, por lo que el perfil del área de estudio manifiesta los resultados esperados.

Figura 74. Equipo Geomative GD10 SUPREME



Sus características generales son las siguientes:

a) Transmisor

- Voltaje máximo de Tx: 1200V
- Potencia máxima de Tx: 7200W
- Precisión actual: mejor que 0,3%
- Corriente máxima de Tx: 6A
- Tipo de pulso: onda cuadrada
- Protección: IP65, sobrecorriente, sobretensión, cortocircuito
- Impedancia de entrada: $\geq 200\text{M}\Omega$
- Ancho de pulso: 1 s 、 2 s 、 4 s 、 8 s 、 16 s 、 32 s 、 64 s
- Pantalla de visualización: pantalla LCD a todo color de 5,7 pulgadas, 640 * 480
- Voltaje de carga: 120 ~ 250VAC (50HZ / 60HZ)



- 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.
- Energía externa: DC24 ~ 60V

b) Receptor

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

c) Otros

- Tamaño: 39 cm * 20 cm * 29 cm
- Peso: 8KG
- Temperatura de trabajo: $-10^{\circ}C \sim 50^{\circ}C$
- Temperatura de almacenamiento: $-20^{\circ}C \sim + 60^{\circ}C$
- Capacidad de memoria: 15 GB
- Humedad de funcionamiento: $\leq 95\%$

d) Transmisor de corriente

- Voltaje máximo de Tx: 1200V
- Potencia máxima de Tx: 7200W
- Precisión actual: mejor que 0,003%



- Corriente máxima de Tx: 6A
- Tipo de pulso: onda cuadrada
- Protección: IP65, sobrecorriente, sobretensión, cortocircuito
- Impedancia de entrada: $\geq 200\text{M}\Omega$
- Ancho de pulso: 1 s 、 2 s 、 4 s 、 8 s 、 16 s 、 32 s 、 64 s
- Pantalla de visualización: pantalla LCD a todo color de 5,7 pulgadas, 640 * 480
- Energía externa: DC24 ~ 60V
- Voltaje de carga: 120 ~ 250VAC (50HZ / 60HZ)
- Puerto de E / S: USB, RS485Modo Recepción de voltaje digital, retorno en los terminales M – N.
- Batería: batería incorporada de litio de 16,8 V / Compatible con batería externa de 24 V

e) Accesorios

- Ordenador portátil; Implementado con los programas correspondientes para procesar la información y visualizar los resultados obtenidos.
- Cable de Potencial, Cables de Corriente, Cocodrilos o conectores de corriente, Conectores de potencial, etc.
- Electrodo: estacas metálicas o láminas de 0.4m, cuyo número variará en función del problema que se insertaran en el suelo equidistantemente una profundidad mínima de 0.2 m.

f) Equipo humano

Las líneas de Tomografías Eléctricas, tuvieron una longitud variable de 150, 200 y 100 metros, con el objetivo de prospectar 20,30 y 40 metros de profundidad, el espaciamiento del dipolo fue de 5 metros; para realizar estos ensayos se contó con 2 asistentes de geología y geofísica, personal con experiencia en el ensayo con la finalidad de minimizar errores.



6.1.5. Metodología de Estudio Para la Tomografía Eléctrica

Se consideraron las siguientes mediciones:

- Las clases comprenden la transmisión de electricidad del transmisor a través de cables y alambres hacia tierra,
- La recepción de la energía potencial electromagnética y la obtención de valores por medio del receptor. La comunicación constante mediante radios móviles entre el operador del transmisor, el operador del receptor y el personal de apoyo.
- El operador del Transmisor (Tx) entregará la corriente según el requerimiento del operador del receptor (Rx), de forma continua en coordinación con el personal de soporte responsable de los cables. La confirmación de la entrega de la corriente se envía al personal responsable de la corriente para garantizar que los cables no se dañen durante el envío de energía. Junto con esta indicación, se proporciona al operador del Rx la magnitud de la intensidad de la corriente (mA).
- Este valor se introduce en la prescripción y se administran los medicamentos; en cada medición, se deben tener en cuenta los valores de resistividad y capacidad de transporte. Luego de ser registrado y archivado el medicamento en el receptor, el operador de Rx notifica al operador de Tx que bloquea el paso de electricidad, y este último notifica al personal del cable que la corriente se ha cortado y puede continuar con el siguiente punto.

Se describen los siguientes pasos para alcanzar las secciones de resistividad y los hallazgos de los modelos de interpretación de datos.

6.1.5.1 Base de Datos

las estadísticas alcanzadas en campo fueron almacenadas en la memoria del receptor, la cual contiene el emplazamiento de cada línea, los electrodos de medición y emisión, la potencia de la corriente, el voltaje inicial, la frecuencia de repeticiones de los



intervalos entre lecturas, el tiempo de respuesta de las lecturas (2000 ms) y los valores de resistividad aparente.

Con estos datos se generan los resultados iniciales obtenidos en forma de pseudosecciones, mediante los cuales se lleva a cabo una verificación de la calidad de los datos mediante el seguimiento de los errores de desviación estándar de los datos de diferencia de potencial primario en cada dipolo, aceptándose valores inferiores al 20% para el procesamiento de estos datos. Este archivo exportado del equipo es de la denominación .dat, sin embargo, los equipos más modernos también exportan los archivos como bloc de notas y Excel.

Figura 75. Datos crudos obtenidos del equipo geofísico

```
callatiac01
5.00
7
576
1
0
187.50 5.00 1.00000 42.72
182.50 5.00 1.00000 30.29
180.00 10.00 1.00000 23.77
177.50 5.00 1.00000 29.83
175.00 10.00 1.00000 27.56
172.50 5.00 1.00000 34.19
172.50 5.00 4.00000 25.57
172.50 15.00 1.00000 24.84
170.00 10.00 1.00000 27.51
167.50 5.00 1.00000 27.45
167.50 5.00 4.00000 19.28
167.50 15.00 1.00000 23.00
165.00 10.00 1.00000 19.51
165.00 10.00 2.50000 23.72
165.00 20.00 1.00000 23.33
162.50 5.00 1.00000 37.64
162.50 5.00 4.00000 23.46
162.50 15.00 1.00000 20.25
160.00 10.00 1.00000 18.37
160.00 10.00 2.50000 23.60
160.00 20.00 1.00000 26.88
157.50 5.00 1.00000 26.12
157.50 5.00 4.00000 17.48
157.50 15.00 1.00000 24.15
157.50 5.00 7.00000 21.46
157.50 15.00 2.00000 32.38
157.50 25.00 1.00000 28.69
155.00 10.00 1.00000 24.45
155.00 10.00 2.50000 30.26
```

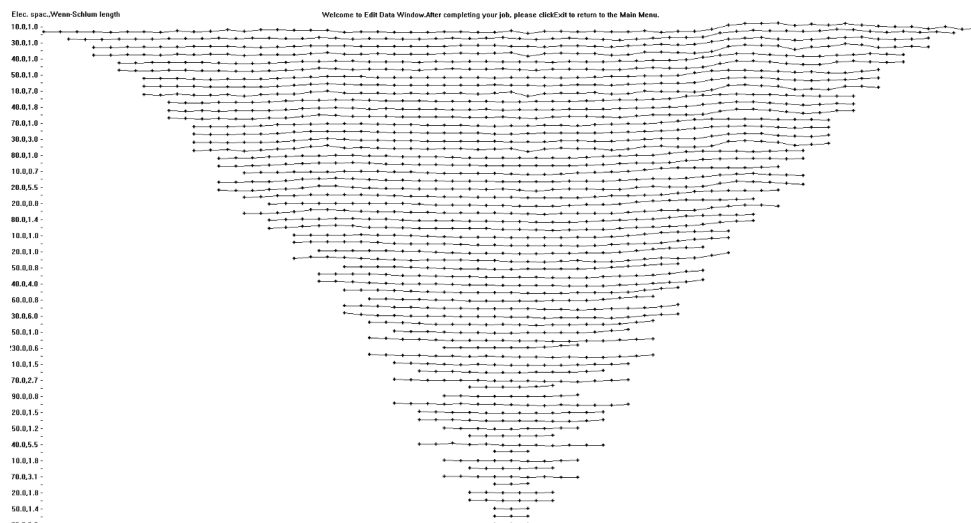
6.1.5.2 Revisión de Datos

Esta etapa implica la validación de los datos y la eliminación de valores inconsistentes o causados por factores externos, como valores de intensidad incorrectos o conexiones defectuosas. Los valores de diferencia de capacidad energética superiores a 0,1 mV son



válidos; los valores inferiores a este umbral indican valores imprecisos o engañosos (que no corresponden a un valor ideal de la Tierra).

Figura 76. Control de calidad y exterminación de datos

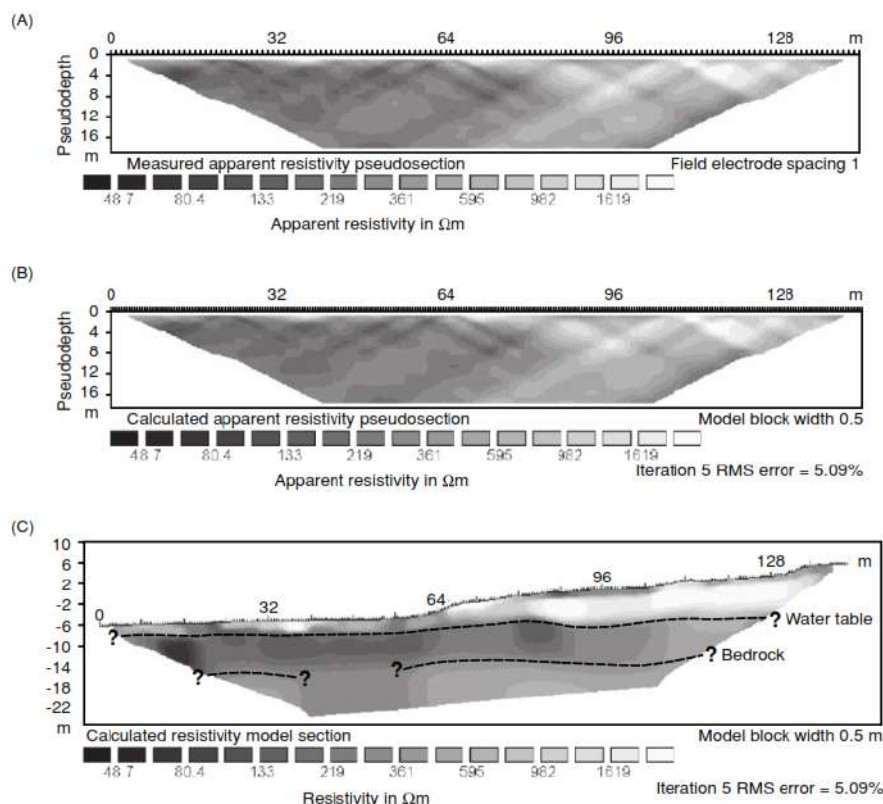


6.1.5.3 Procesos de Inversión

La base de datos aprobada con anterioridad, utilizada para crear secciones falsas, se exportará en un formato específico para el proceso de inversión.

Este desarrollo se basa en la teoría de la inversión, determinando modelos directos de solución para los datos y utilizando medidas indirectas para llegar a una solución. El proceso busca entonces un modelo que se corresponda con los valores, lo que resulta en una solución más precisa para las anomalías.

Figura 77. Etapas del proceso de inversión



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.

6.1.5.4 Interpretación de los Resultados

Posterior a la inversión de los resultados, los perfiles mostraran resistividades reales los cuales se pueden correlacionar de acuerdo a tablas teóricas de valores de resistividad de las distintas clases de rocas, así como depósitos no consolidados, cabe resaltar que los valores teóricos están sujetos a múltiples factores que son: litología, grado de saturación, salinidad del agua subterránea, grado de fracturamiento, etc.

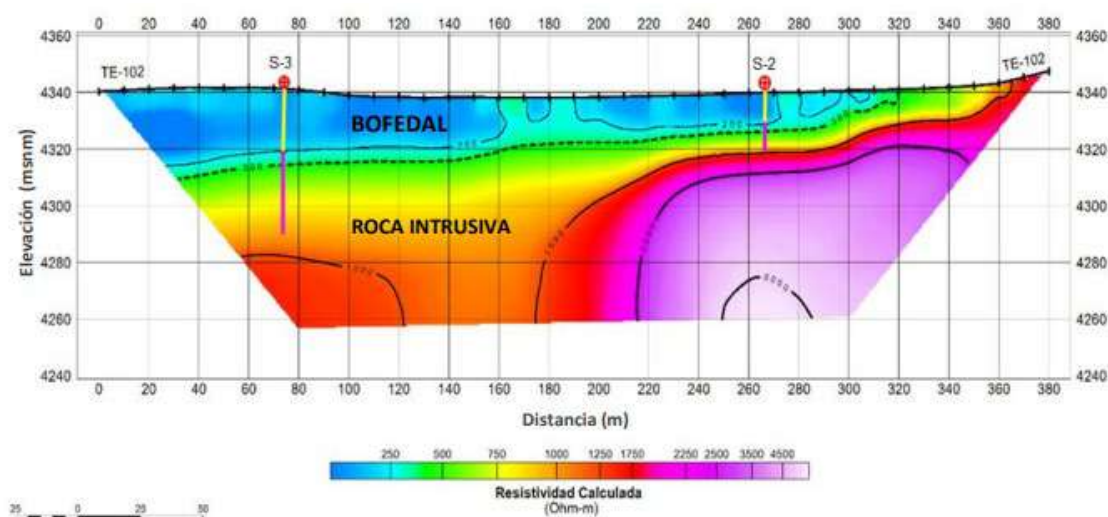
Por ello es indispensable un reconocimiento geológico de campo para tener mejor interpretación y correlación de los resultados, puesto que los valores teóricos de resistividad no son absolutos.

Figura 78. Distribución de líneas geofísicas sobre la superficie del bofedal



Fuente: <https://perumin.com/perumin34/assets/uploads/files/foro-tis/presentacion-final-ktejada.pdf>

Figura 79. Perfil de resistividades en correlación con mapeo geológico



Fuente: <https://perumin.com/perumin34/assets/uploads/files/foro-tis/presentacion-final-ktejada.pdf>



6.2. Geofísica Aplicada

6.2.1 Metodología de Trabajos de Campo

Se han efectuado 4 líneas de Tomografías Eléctricas ejecutados en diversos sectores de la localidad de Callatiac, con longitudes variables en metros, espaciado de dipolo 5 metros, con arreglo geométricos Wenner-Schlumberger, con el principal objetivo de Identificar áreas intensamente fracturadas y posibles fallas geológicas y profundizar en la exploración vertical.

A continuación, se da a conocer el cuadro de coordenadas de las líneas de las Tomografías Eléctricas realizados en los sectores de estudio, UTM – WGS84 ZONA 19 L.

Tabla 22. Ubicación de los ensayos de tomografía eléctrica

ERT	Prof. de investigación aprox.	Coordenadas UTM						Longitud
		Inicio			Final			
		Este	Norte	Altitud	Este	Norte	Altitud	
ERT-01	40 m	225999.97	8476456.83	3956.62	226008.38	226008.38	4012.44	200m
ERT-02	30 m	227045.77	8476166.47	3872.54	227051.65	8476021.59	3908.16	150m
ERT-03	20 m	227883.59	8477324.14	3708.18	227950.87	8477257.07	3710.25	100m
ERT-04	40 m	227376.33	8476864.18	3819.75	227408.65	8476676.95	3864	200m

6.2.2 Resultados del Método Eléctrico

La inversión de datos de la Tomografía Eléctrica en 2D nos permite interpretar las secciones de forma adecuada. Por ello se realizó 4 modelos geofísicos en 2D, constituidos de modelos de Georesistividad eléctrica (Tomografía de Resistividad Eléctrica), que se descubren a continuación:

6.2.2.1 Perfil de Tomografía Eléctrica 01-Reservorio 01

El Perfil de Tomografía Eléctrica 01, posee una longitud de 200 metros (profundidad aproximada de exploración 40 metros), dicho estudio geofísico ha dado como resultado valores de resistividad y espesores que a continuación se muestran en el perfil geoelectrico, en dirección NW-SE.



Geológicamente se ha determinado e inferido 1 Formación Geológica (que corresponde a Pizarras en diferentes estados de fracturamiento), hasta la profundidad de prospección. (Ver Figura N°63)

En el área de estudio de acuerdo a la tomografía realizada corresponde a 1 litología y a su vez en 2 subunidades geotécnicas, detalladas a continuación:

- **Pizarras fracturadas:** constituidas de pizarras fracturadas por tectonismo las cuales se localizan en la parte superficial y subterránea de acuerdo a la tomografía, así como se focalizan en 3 sectores, poseen valores superiores a 46.2 Ω m. pero que no superan los 300 Ω m., estos valores reflejan la intensa fracturación del medio, así como el control estructural determinando zonamiento geotécnico en base al grado de fracturamiento.
- **Pizarras intensamente fracturadas:** constituidas de pizarras intensamente fracturadas por situarse sobre zonas de falla las cuales se localizan hasta la parte superficial y subterránea de acuerdo a la tomografía, así como se focalizan en 2 sectores, que poseen valores menores a 46.2 Ω m. y los 3.62 Ω m.

Estos valores reflejan la intensa fracturación del medio, así como el control estructural determinando zonamiento geotécnico en base al grado de fracturamiento, desarrollado por 3 fallas geológicas principales y 3 secundarias del área, las cuales reflejan interrupción en la continuidad de los estratos y delimitando zonas de cizalla.

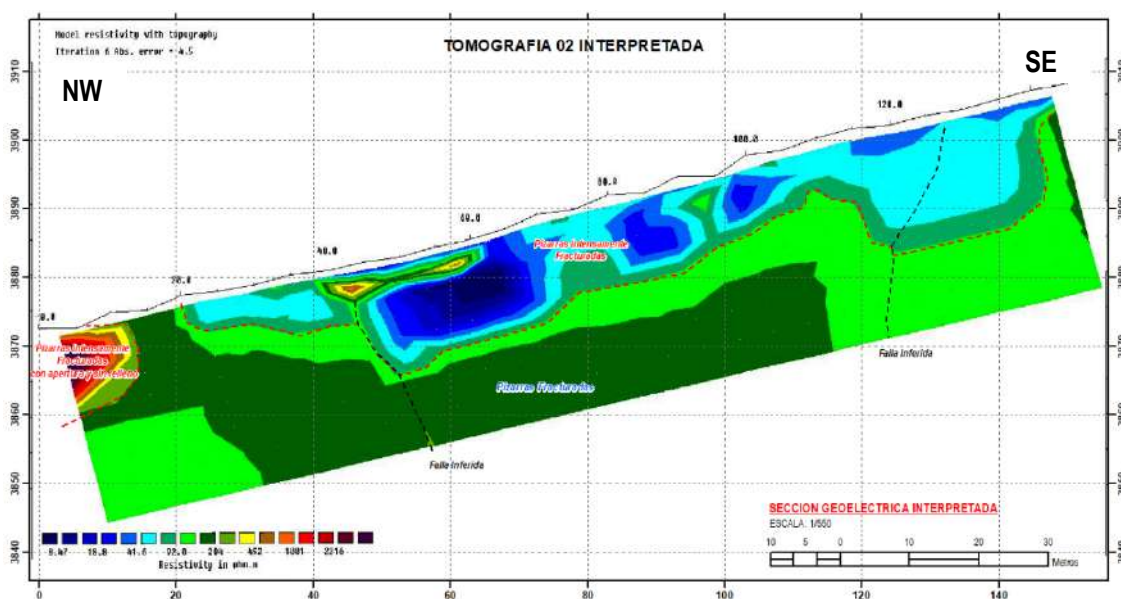
Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez

fracturación del medio, así como el control estructural determinando zonamiento geotécnico en base al grado de fracturamiento.

- **Pizarras intensamente fracturadas:** constituidas de pizarras intensamente fracturadas por situarse sobre zonas de falla las cuales se localizan hasta la parte superficial de acuerdo a la tomografía así como la meteorización para generar suelos residuales en el área, focalizando 2 sectores marcados, que poseen valores de resistividades entre a 92 Ωm . y los 8.47 Ωm . al SE, mientras que el sector ubicado al NW posee valores muy altos debido a su gran apertura de sus discontinuidades las cuales presentan bastante composición de aire dentro del substrato, lo que lo hace dieléctrico reflejando valores entre 204 Ωm . a mayores de 2216 Ωm .

Estos valores reflejan la intensa fracturación del medio, así como el control estructural determinando zonamiento geotécnico en base al grado de fracturamiento, desarrollado por 2 fallas geológicas principales del área, las cuales reflejan interrupción en la continuidad de los estratos y delimitando zonas de cizalla.

Figura 81. Perfil interpretado de la tomografía 02





6.2.2.3 *Perfil de Tomografía Eléctrica 03-Reservorio 03*

El Perfil de Tomografía Eléctrica 03, posee una longitud de 100 metros (profundidad aproximada de exploración 20 metros), dicho estudio geofísico ha dado como resultado valores de resistividad y espesores que a continuación se muestran en el perfil geoelectrico en dirección NW-SE (Ver Figura N°65).

Geológicamente se ha determinado e inferido 3 Formación Geológica (que corresponde a suelo gravoso arenoso de rio, suelo coluvial arcilloso gravoso y Pizarras en diferentes estados de fracturamiento), hasta la profundidad de prospección. (Ver Figura N°65)

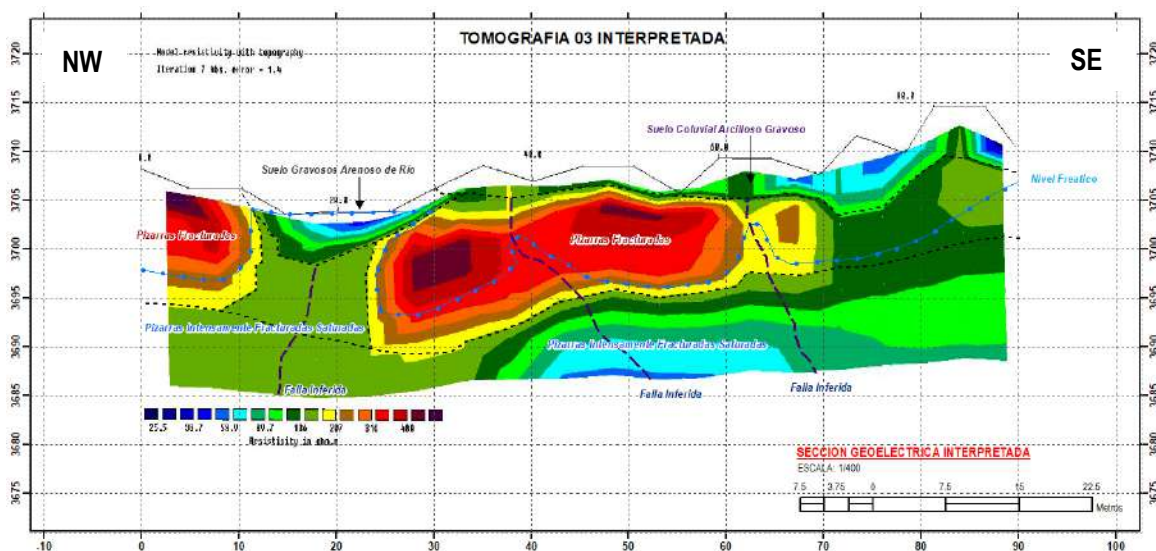
En el área de estudio de acuerdo a la tomografía realizada corresponde a 3 litologías y a su vez en 4 subunidades geotécnicas, detalladas a continuación:

- **Suelo gravoso arenoso de rio:** constituidos de materiales friccionantes constituidos de arenas y gravas con presencia de agua superficial constante, localizadas al NW de la tomografía eléctrica que no superan los 7 metros de profundidad, poseen resistividades que varían entre 38.7 Ω m. a 136 Ω m.
- **Suelo coluvial arcilloso gravoso:** constituidos de materiales cohesivos y friccionantes, formados de gravas y arcillas que se localizan en la parte superficial de la tomografía, los cuales no superan los 6 metros de profundidad, poseen resistividades que varían entre 25.5 Ω m. a 89.7 Ω m.
- **Pizarras fracturadas:** constituidas de pizarras fracturadas por tectonismo las cuales se localizan en la parte superficial y subterránea de acuerdo a la tomografía, así como se focaliza en 1 sector relativamente continuo, poseen valores superiores a 207 Ω m. pero que no superan los 600 Ω m., estos valores reflejan la intensa fracturación del medio, así como el control estructural determinando zonamiento geotécnico en base al grado de fracturamiento.

- **Pizarras intensamente fracturadas:** constituidas de pizarras intensamente fracturadas y saturadas por situarse sobre zonas de falla las cuales se localizan hasta la parte superficial de acuerdo a la tomografía, focalizando 1 sectores marcado superficial y subterráneo, que poseen valores de resistividades entre a 136 Ω m. y los 58.9 Ω m., Cabe resaltar que esta litología se encuentra saturada lo cual la convierte en muy conductiva.

Estos valores reflejan la intensa fracturación del medio, así como el control estructural determinando zonamiento geotécnico en base al grado de fracturamiento, desarrollado por 3 fallas geológicas principales del área, las cuales reflejan interrupción en la continuidad de los estratos y delimitando zonas de cizalla. El nivel freático identificado en el sector está condicionado a sectores puntuales debido al control estructural que oscila entre 0 y 10 metros de profundidad.

Figura 82. Perfil interpretado de la tomografía 03



6.2.2.4 Perfil de Tomografía Eléctrica 04-Reservorio 04

El Perfil de Tomografía Eléctrica 04, posee una longitud de 200 metros (profundidad aproximada de exploración 50 metros), dicho estudio geofísico ha dado como resultado



valores de resistividad y espesores que a continuación se muestran en el perfil geoelectrico en dirección NW-SE (Ver Figura N°66)

Geológicamente se ha determinado e inferido 2 Formaciones Geológicas (que corresponden a suelo coluvial arcilloso gravoso y Pizarras en diferentes estados de fracturamiento), hasta la profundidad de prospección. (Ver Figura N°66)

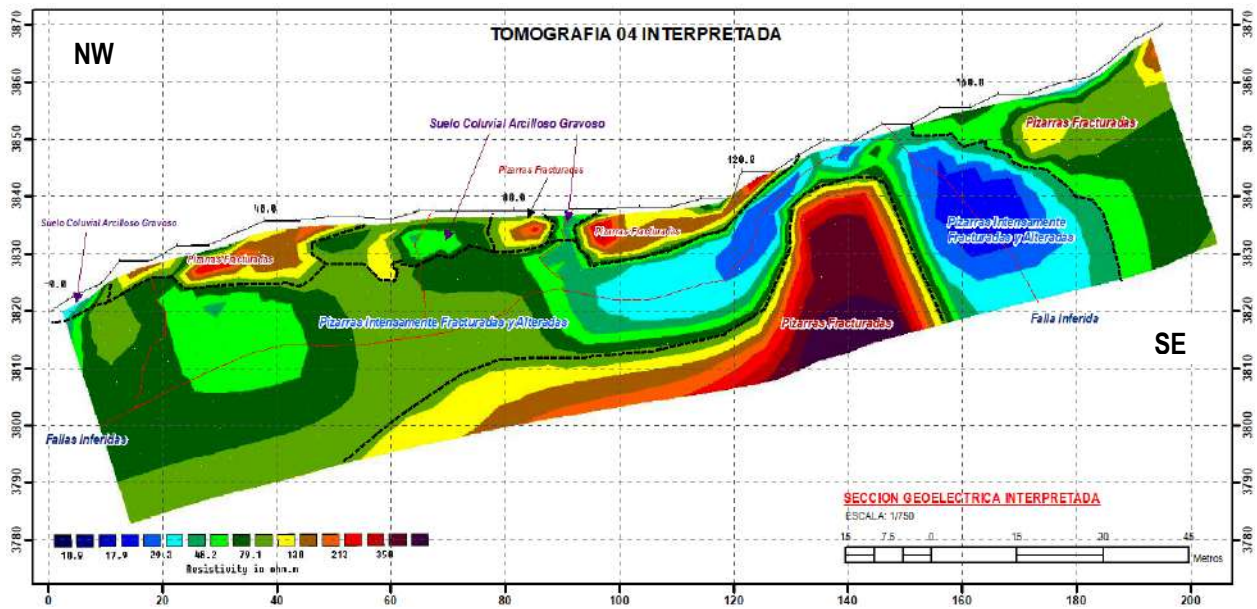
En el área de estudio de acuerdo a la tomografía realizada corresponde a 3 litologías y a su vez en 3 subunidades geotécnicas, detalladas a continuación:

- **Suelo coluvial arcilloso gravoso:** constituidos de materiales cohesivos y friccionantes, formados de gravas y arcillas que se localizan en la parte superficial de la tomografía, los cuales no superan los 8 metros de profundidad, poseen resistividades que varían entre 29.3 Ω m. a 213 Ω m.
- **Pizarras fracturadas:** constituidas de pizarras fracturadas por tectonismo las cuales se localizan en la parte superficial y subterránea de acuerdo a la tomografía, así como se focaliza en 5 sectores relativamente continuos, que poseen valores mayores a 48.2 Ω m. pero que no superan los 400 Ω m., estos valores reflejan la intensa fracturación del medio, así como el control estructural determinando zonamiento geotécnico en base al grado de fracturamiento.
- **Pizarras intensamente fracturadas:** constituidas de pizarras intensamente fracturadas por situarse sobre zonas de falla las cuales se localizan hasta la parte superficial de acuerdo a la tomografía, focalizando 2 sectores marcados a nivel superficial y subterráneo, que poseen valores de resistividades entre a 17.9 Ω m. y los 79.1 Ω m.

Estos valores reflejan la intensa fracturación del medio, así como el control estructural determinando zonamiento geotécnico en base al grado de fracturamiento, desarrollado por 2 fallas geológicas principales y 3 secundarias del área, las cuales reflejan interrupción en la continuidad de los estratos y delimitando zonas de cizalla.



Figura 83. Perfil interpretado de la tomografía 03





Capítulo VII

Geotecnia

El proyecto de investigación denominado como: “*CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO*”, que consta de 4 reservorios los cuales se sitúa sobre afloramientos rocosos de pizarras, debido a que el suelo residual no sobrepasa los 50 cm, y los cortes propuestos superan esa profundidad desarrollándose sobre afloramientos rocosos.

Por ello se realizaron 4 estaciones geomecánicas para determinar las características mecánicas de las rocas para la fundación y taludes, donde se determinó el RMR, GSI, y resistencia aproximada.

7.1. Estación Geomecánica 01

Estación geomecánica ubicada al SW del área para el reservorio 01 (MAPA 09), sobre un afloramiento de roca metamórfica Pizarra. Los datos de campo se presentan a continuación:

Tabla 23. Datos estructurales de fracturas de campo en estación geomecánica 01

Tipo	DIP	DIPDIR	SET
Ss	24	105	1
Ss	26	104	1
Ss	25	105	1
Ss	27	103	1
Ss	22	103	1
Ss	23	105	1
Ja	69	313	2
Ja	71	315	2
Ja	69	312	2
Ja	68	311	2
Ja	70	314	2
Ja	70	311	2
Jb	78	347	3
Jb	81	347	3
Jb	78	345	3
Jb	78	348	3
Jb	79	348	3
Jb	81	345	3



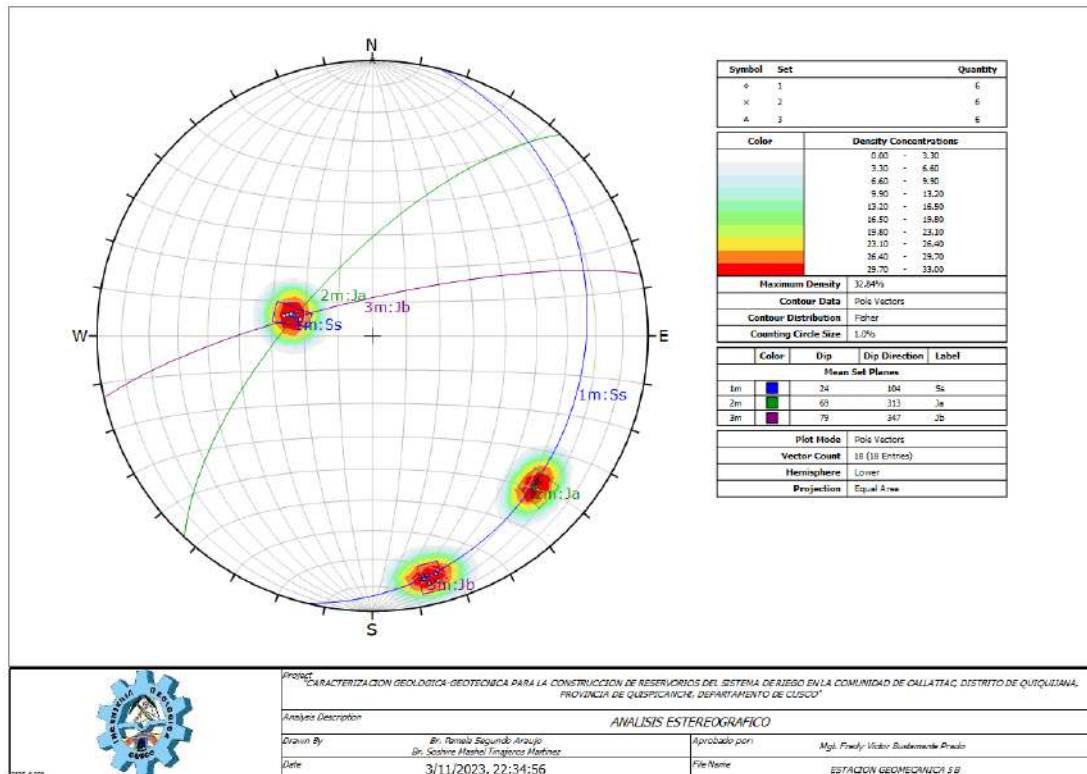
De acuerdo al análisis en Dips v6.0 y posterior al procesamiento, se pudo determinar que en dicho afloramiento existen tres familias de fracturas (Fig. 67) y la siguiente tabla:

Tabla 24. Datos estructurales de fracturas de campo procesado de estación geomecánica 01

PROCESADO DIPS			
TIPO	DIP	DIPDIR	STRIKE RHR
Ss	24	104	14
Ja	69	313	223
Jb	79	347	257

De acuerdo a la figura 69, en la clasificación geomecánica de RMR BIENIAWSKI, el macizo rocoso se clasifica como de mala calidad con un valor básico de 40, un GSI:24.08 y un RMR corregido por ajuste de orientaciones aplicado a cimentaciones de 25

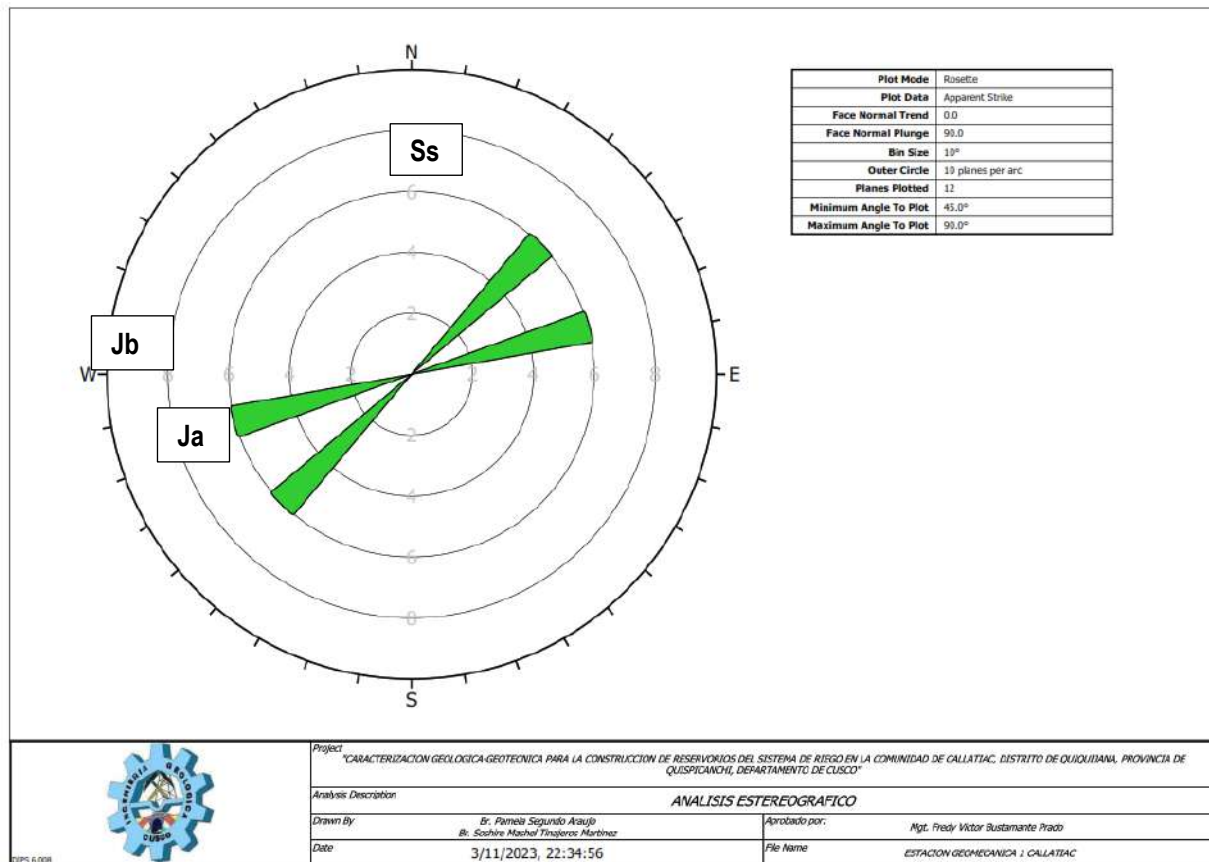
Figura 84. Estereografía de 3 familias de fracturas encontradas en campo en estación geomecánica 01

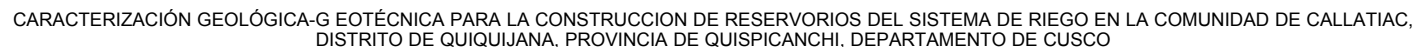


De acuerdo al análisis de rosetas (Fig. 68), se pudo concluir que las fracturas poseen un rumbo preferencial NE-SW.



Figura 85. Roseta de Fracturas en estación geomecánica 01





UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO														FECHA: 11/11/2023		ESTACION GEOMECHANICA 1		Control Estructural		Frecuencia de Fracturación x m																							
										REALIZADO POR: PSA & SMTM		ESTE: 225983.69		NORTE: 8476359.94		ALTITUD: 3986.00		EG-01		GSI = 1.5 JCond _g +RQD/2		24.08		S= espaciamiento: promedio en metros		Tamaño de Bloque (m3)		Resistencia Estimada (Mpa)															
GEOMETRIA:										Longitud: 5 m		Altura Máxima: 1.5 m		DIP: 38		DIP DIRECTION: 313		Litología: Pizamas		Tipo de Roca: Metamorfica		Tipo de Estructura: Laminar		FOTO MACIZO ROCOSO:										ESTEREOGRAFIA:									
TALUD:										DIP: 38		DIP DIRECTION: 313		Litología: Pizamas		Tipo de Roca: Metamorfica		Tipo de Estructura: Laminar		FOTO MACIZO ROCOSO:										ESTEREOGRAFIA:													
GEOLOGIA:										DIP: 38		DIP DIRECTION: 313		Litología: Pizamas		Tipo de Roca: Metamorfica		Tipo de Estructura: Laminar		FOTO MACIZO ROCOSO:										ESTEREOGRAFIA:													
TIPO O FORMA										DIP: 24		DIP DIR: 104		Ja: 69		Jb: 79		Jc: 347		FOTO MACIZO ROCOSO:										ESTEREOGRAFIA:													
ORIENTACION										DIP: 24		DIP DIR: 104		Ja: 69		Jb: 79		Jc: 347		FOTO MACIZO ROCOSO:										ESTEREOGRAFIA:													
N estructuras										>80		0		6		0		Plana y Ondulada		FOTO MACIZO ROCOSO:										ESTEREOGRAFIA:													
N Extremos visibles										Rugosidad Estructura		JRC		Tipo de Relleno 1		Tipo de Relleno 2		Forma Estructura		FOTO MACIZO ROCOSO:										ESTEREOGRAFIA:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:										FOTO MACIZO ROCOSO:													
FOTO MACIZO ROCOSO:																																											



7.2. Estación Geomecánica 02

Estación geomecánica ubicada al SW del área propuesta del reservorio 02 (MAPA 10), sobre un afloramiento de roca metamórfica pizarra. Los datos de campo se presentan a continuación:

Tabla 25. Datos estructurales de fracturas de campo en estación geomecánica 02

Tipo	DIP	DIPDIR	SET
Ss	33	300	1
Ss	29	303	1
Ss	33	305	1
Ss	29	302	1
Ss	30	304	1
Ss	31	305	1
Ja	89	108	2
Ja	90	110	2
Ja	90	107	2
Ja	89	111	2
Ja	87	109	2
Ja	92	111	2
Jb	82	342	3
Jb	80	343	3
Jb	81	345	3
Jb	79	345	3
Jb	79	345	3
Jb	83	342	3

De acuerdo al análisis en Dips v6.0 y posterior procesamiento, se pudo determinar que en dicho afloramiento existen tres familias de fracturas (Fig.70) y la siguiente tabla:

Tabla 26. Datos estructurales de fracturas de campo procesado de estación geomecánica 02

PROCESADO DIPS			
TIPO	DIP	DIPDIR	STRIKE RHR
Ss	31	303	213
Ja	89	109	19
Jb	81	344	254



De acuerdo a la figura 72, en la clasificación geomecánica de RMR BIENIAWSKI, el macizo rocoso se clasifica como de calidad regular con un valor básico de 44, y un GSI:30.08 y un RMR corregido por ajuste de orientaciones aplicado a cimentaciones de 29.

Figura 87. Estereografía de 3 familias de fracturas encontradas en campo en estación geomecánica 02.

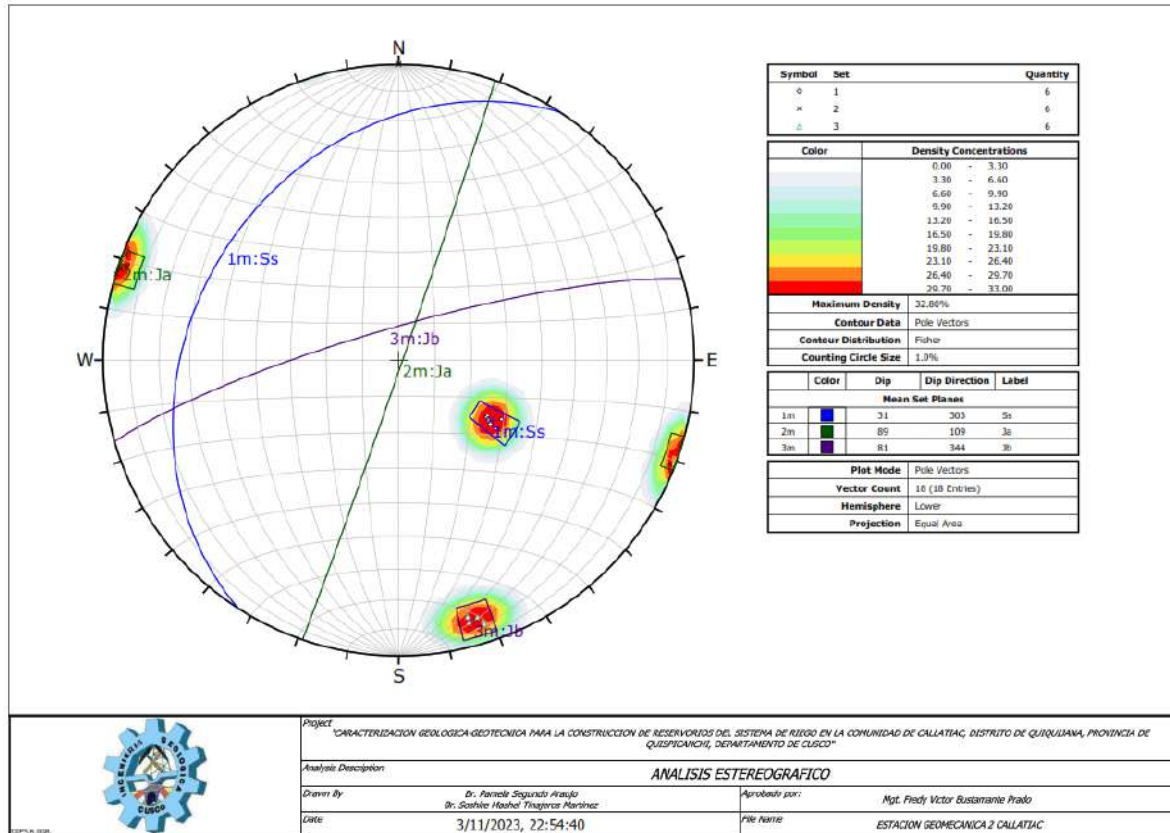
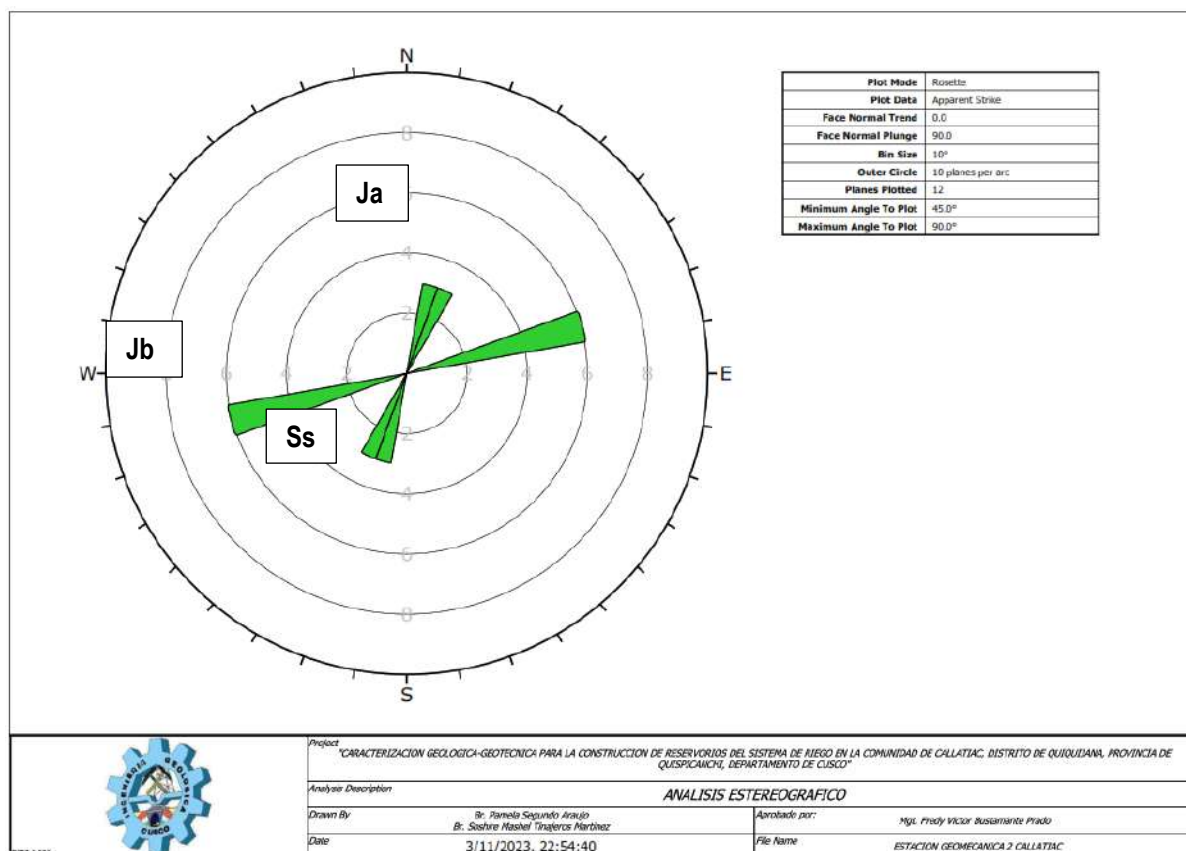




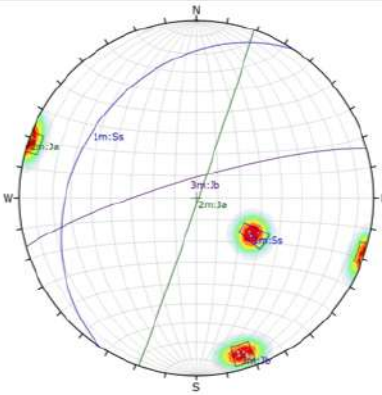
Figura 88. Roseta de Fracturas en estación geomecánica 02.



De acuerdo al análisis de rosetas (Fig. 71), se pudo concluir que las fracturas poseen un rumbo preferencial NE-SW.



Figura 89. Clasificación geomecánica 02 de afloramiento rocoso de pizarra moderadamente meteorizada.

UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO														FECHA: 11/11/2023		ESTACION GEOMECANICA 2		Control Estructural		3		Frecuencia de Fracturamiento x m		40									
														REALIZADO POR: PSA & SMTM		RQD		RQD = 100e ^{-0.1(1/0.1 λ+1)}		9.16		λ=1/S		40									
														ESTE: 227025.00								S= espaciamento promedio en metros		0.025									
														NORTE: 8476077.00										Tamaño de Bloque (m3)		0.0005							
														ALTITUD: 3909.00		E6-02		GSI		GSI = 1.5 JCond _{sg} +RQD/2		30.08		Resistencia Estimada (Mpa)		35							
GEOMETRIA:										Longitud:		3 m		FOTO MACIZO ROCOSO:										ESTEREOGRAFIA:									
										Altura Maxima:		2 m																					
TALUD:										DIP:		62																					
										DIP DIRECTION :		322																					
GEOLOGIA:										Litología:		Pizarras																					
										Tipo de Roca:		Metamorfica																					
										Tipo de Estructura:		Laminar																					
TIPO O FORMA										ORIENTACION																							
										DIP		DIP DIR:																					
Ss										31		303																					
Ja										89		109																					
Jb										81		344																					



7.3. Estación Geomecánica 03

Estación geomecánica ubicada al centro SW del área propuesta para el reservorio 03 (MAPA 11), sobre un afloramiento de roca metamórfica pizarra. Los datos de campo se presentan a continuación:

Tabla 27. Datos estructurales de fracturas de campo en estación geomecánica 03

Tipo	DIP	DIPDIR	SET
Ss	71	23	1
Ss	76	24	1
Ss	77	24	1
Ss	74	22	1
Ss	75	23	1
Ss	75	24	1
Ja	73	270	2
Ja	69	269	2
Ja	68	269	2
Ja	72	269	2
Ja	69	272	2
Ja	69	271	2
Jb	64	103	3
Jb	65	106	3
Jb	69	104	3
Jb	68	106	3
Jb	65	104	3
Jb	69	106	3
Jc	81	193	4
Jc	85	190	4
Jc	82	193	4
Jc	84	194	4
Jc	85	191	4
Jc	84	193	4

De acuerdo al análisis en Dips v6.0 y posterior procesamiento, se pudo determinar que en dicho afloramiento existen cuatro familias de fracturas (Fig. 73) y la siguiente tabla:



Tabla 28. Datos estructurales de fracturas de campo procesado de estación geomecánica 03

PROCESADO DIPS			
TIPO	DIP	DIPDIR	STRIKE RHR
Ss	32	217	127
Ja	53	60	330
Jb	82	288	198
Jc	53	189	99

De acuerdo a la figura 75, en la clasificación geomecánica de RMR BIENIAWSKI, el macizo rocoso se clasifica como de mala calidad con un valor básico de 40, un GSI:24.08 y un RMR corregido por ajuste de orientaciones aplicado a cimentaciones de 25.

Figura 90. Estereografía de 4 familias de fracturas encontradas en campo en estación geomecánica 03

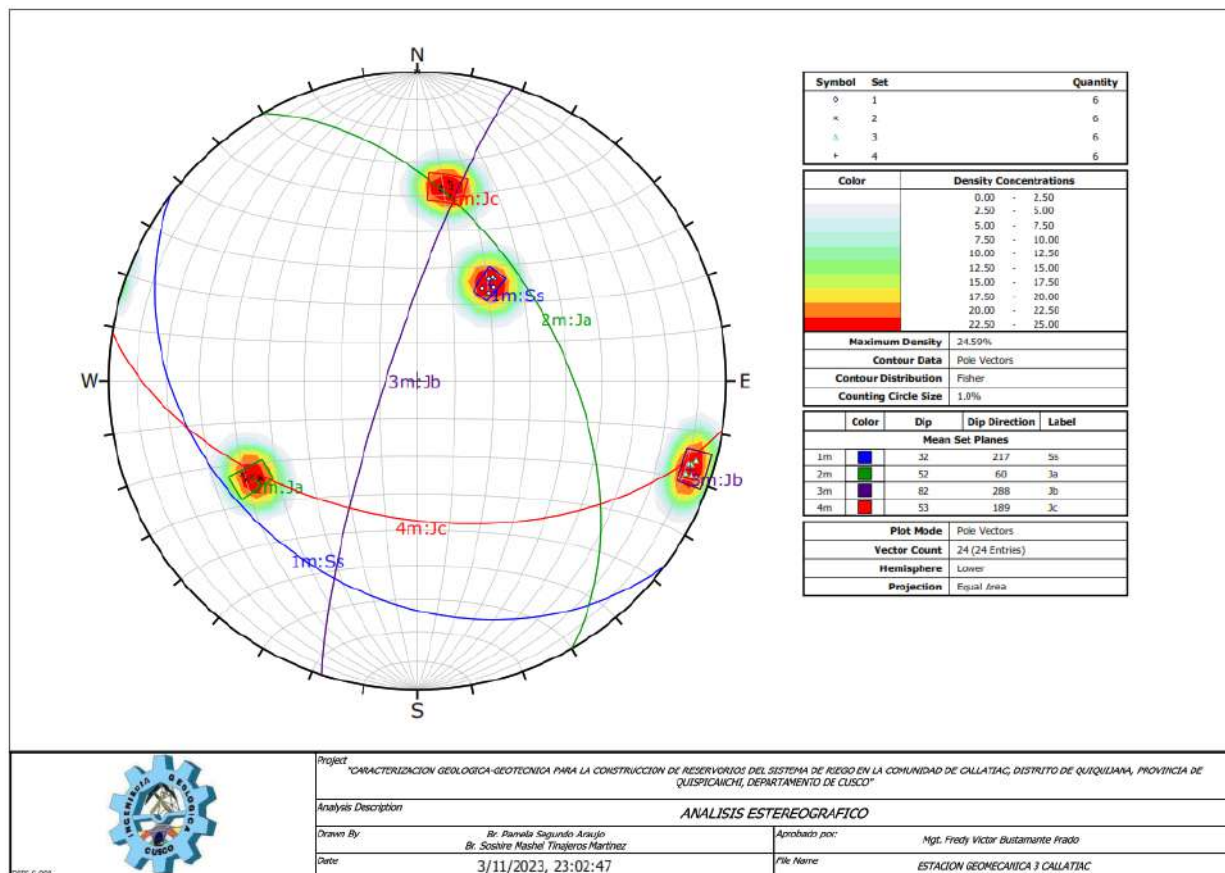
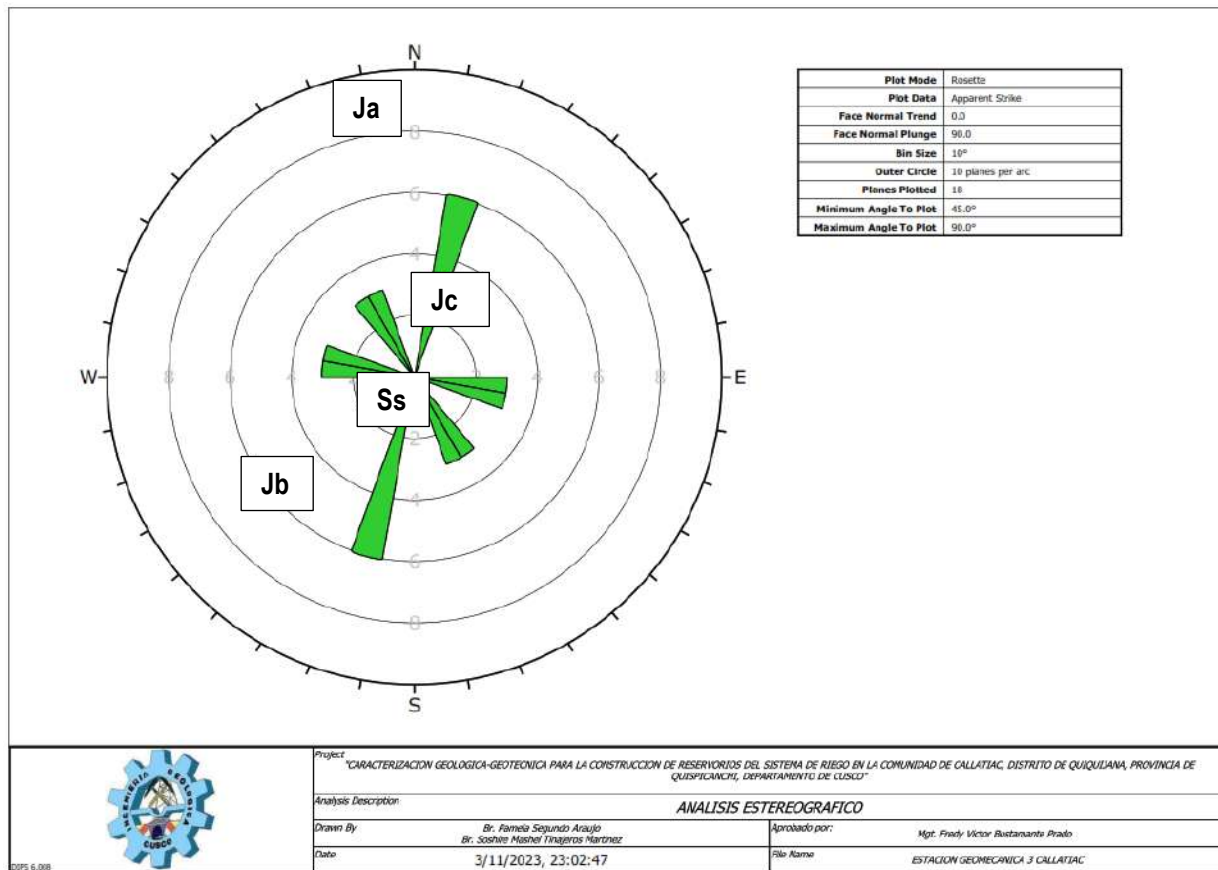




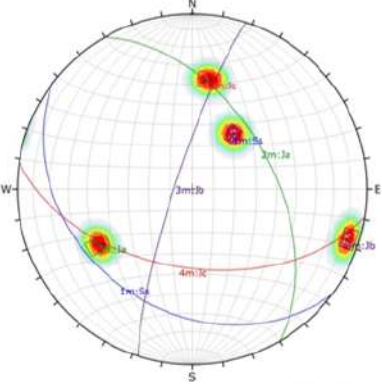
Figura 91. Roseta de Fracturas en estación geomecánica 03



De acuerdo al análisis de rosetas (Fig. 74), se pudo concluir que las fracturas poseen dos rumbos preferenciales, la familia Jb posee un rumbo NE-SW, mientras que las familias Ja, Jc y Ss poseen un rumbo NW-SE.



Figura 92. Clasificación geomecánica 03 de afloramiento rocoso de pizarra moderadamente meteorizada.

UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO								FECHA: 8/11/2023		ESTACION GEOMECANICA 3		Control Estructural		4	Frecuencia de Fracturamiento x m		50																		
								REALIZADO POR: PSA & SMTM		EG-03		RQD = 100e ^{-0.1(0.1A+1)}		9.16	A=1/S		40																		
								ESTE: 227930.00				S= espaciamento promedio en metros			0.025																				
								NORTE: 8477260.00				Tamaño de Bloque (m3)			0.0006																				
								ALTITUD: 3729.00				GSI = 1.5 JCond ₉₅ +RQD/2		24.08	Resistencia Estimada (Mpa)		35																		
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 LINIAL (Mpa)				RQD(%)				ESPACIADO (mm)				CONTINUIDAD (m)		ABERTURA (mm)		RUGOSIDAD		RELLENO		METEORIZACION		GRADO DE HUMEDAD (Biaelski, 1969)		PUNTAJE SEGUN 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 Molem. Juntas Sepadas Muy Separadas				Muy Baja Baja Medio 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		MUY FAVORABLE (VF) FAVORABLE (FV) REGULAR (FR) DESFAVORABLE (UF) MUY DESFAVORABLE (VD)		-25							
		15 12 7 4 2 1 0				20 17 13 8 3				5 3 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									
VALORES		4				3				5				2		3		3		2		3		15		-15		40							
VALOR TOTAL RMR CORREGIDO																												25							
CLASE DE MACIZO ROCOSO																																			
VALORACION RMR				100-81				80-61				60-51				50-41				40-31				30-21				20-0				IV B			
CALIDAD				I Muy Buena				II Buena				IIA Regular A				IIB Regular B				IVA Mala A				IVB Mala B				V Muy Mala				IV B			
COHESION				> 4 kg/cm2				4-3 kg/cm2				3-2 kg/cm2				2-1 kg/cm2				1 kg/cm2				<15°				2-1 kg/cm2							
ANGULO DE ROZAMIENTO				>45°				45°-35°				35°-25°				25°-15°				<15°				25°-15°				25°-15°							



7.4. Estación Geomecánica 04

Estación geomecánica ubicada al centro NE del reservorio 04 propuesto (MAPA 11), sobre un afloramiento de roca metamórfica pizarra. Los datos de campo se presentan a continuación:

Tabla 29. Datos estructurales de fracturas de campo en estación geomecánica 04.

Tipo	DIP	DIPDIR	SET
Ss	33	215	1
Ss	34	217	1
Ss	30	215	1
Ss	34	216	1
Ss	32	219	1
Ss	30	219	1
Ja	50	58	2
Ja	52	60	2
Ja	54	62	2
Ja	50	58	2
Ja	50	59	2
Ja	54	60	2
Jb	85	289	3
Jb	83	289	3
Jb	82	287	3
Jb	81	289	3
Jb	83	286	3
Jb	81	287	3
Jc	53	190	4
Jc	51	190	4
Jc	52	187	4
Jc	53	187	4
Jc	55	189	4
Jc	54	190	4

De acuerdo al análisis en Dips v6.0 y posterior procesamiento, se pudo determinar que en dicho afloramiento existen cuatro familias de fracturas (Fig. 76) y la siguiente tabla:



Tabla 30. Datos estructurales de fracturas de campo procesado de estación geomecánica 04

PROCESADO DIPS			
TIPO	DIP	DIPDIR	STRIKE RHR
Ss	75	23	293
Ja	70	270	180
Jb	67	105	15
Jc	83	192	102

De acuerdo al análisis de rosetas (Fig.77), se pudo concluir que las fracturas poseen tres rumbos preferenciales, la familia Jb poseen un rumbo NE-SW, mientras que las familias Ss y Jc poseen un rumbo NW-SE, y la familia Ja dirección N-S.

De acuerdo a la figura 78, en la clasificación geomecánica de RMR BIENIAWSKI, el macizo rocoso se clasifica como de mala calidad con un valor básico de 40, un GSI:24.08 y un RMR corregido por ajuste de orientaciones aplicado a cimentaciones de 25.

Figura 93. Estereografía de 3 familias de fracturas encontradas en campo en estación geomecánica 04.

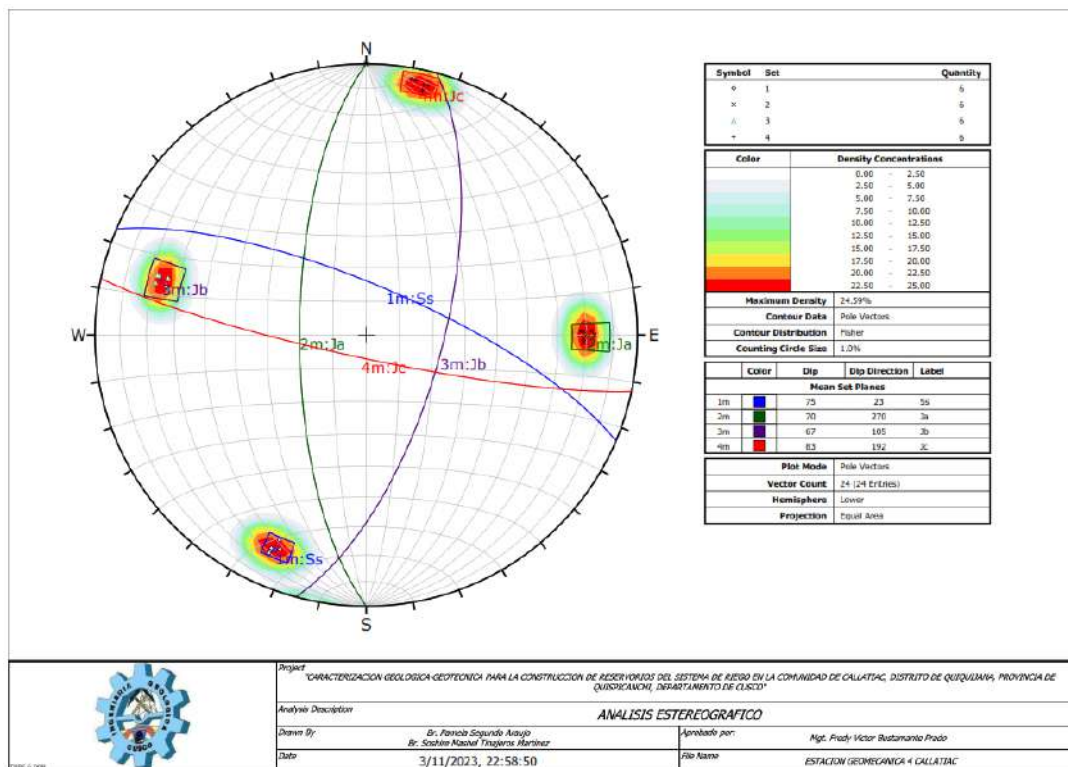




Figura 94. Roseta de Fracturas en estación geomecánica 04.

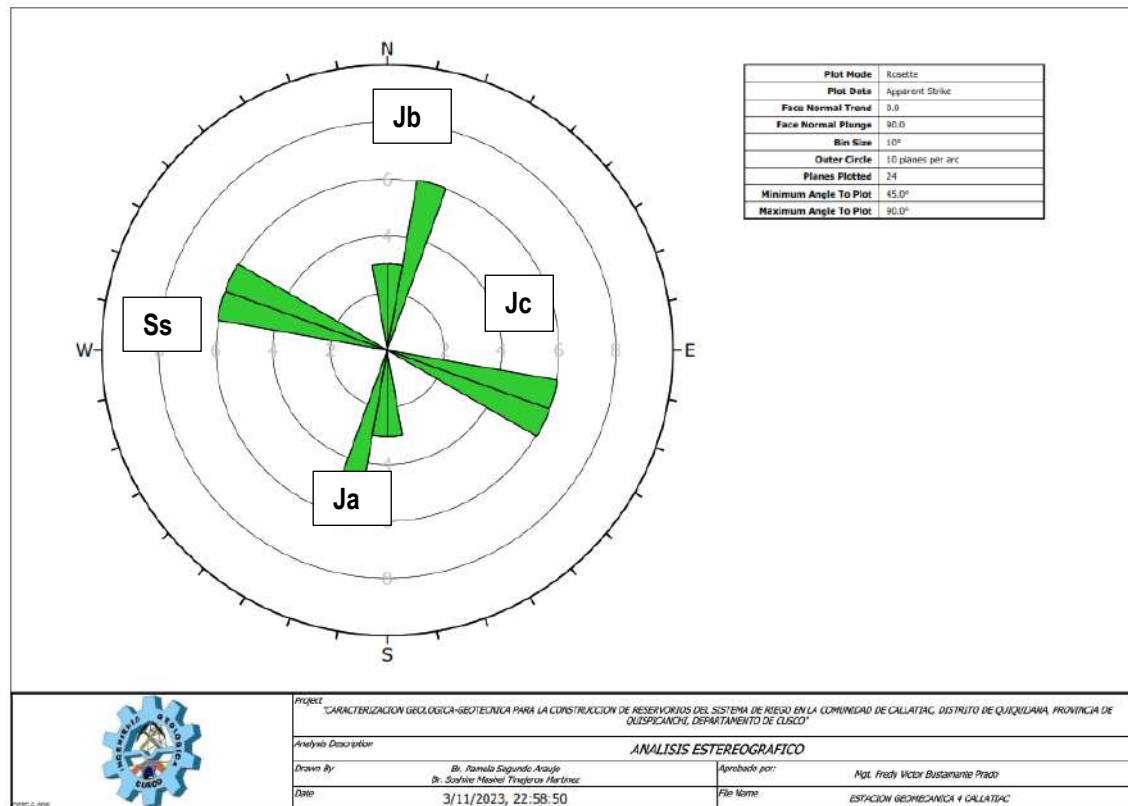
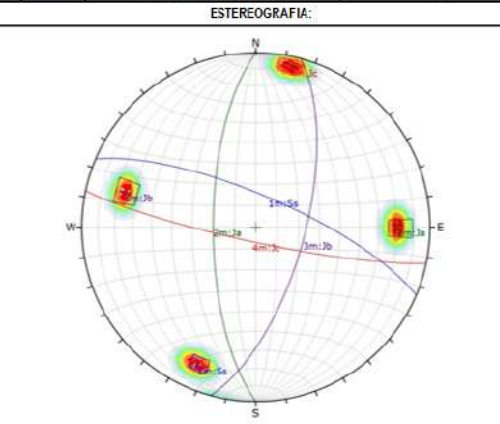




Figura 95. Clasificación geomecánica 04 de afloramiento rocoso de pizarra moderadamente meteorizada.

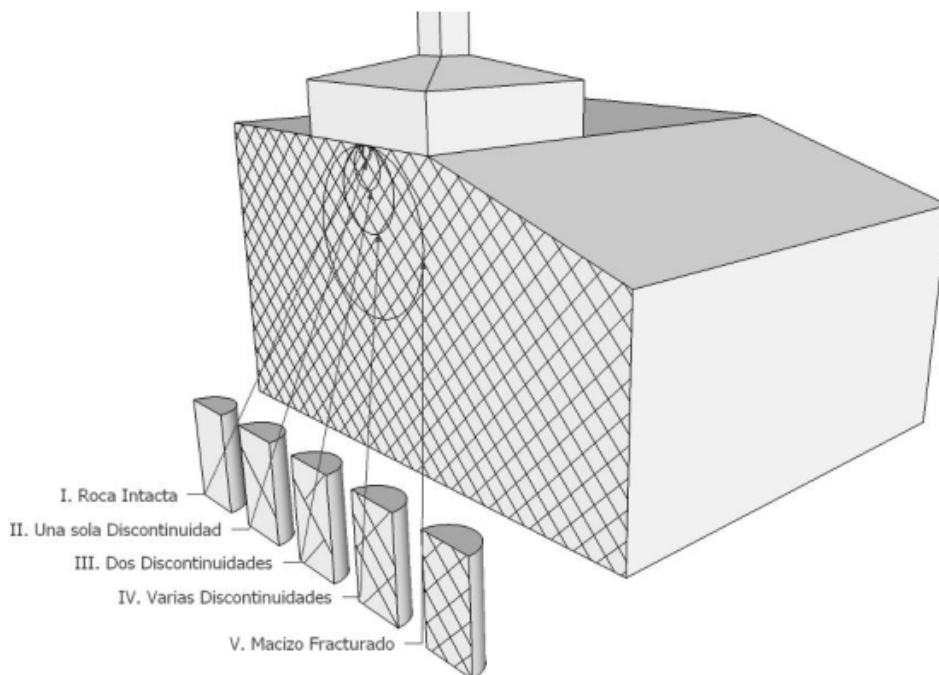
UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO														FECHA: 11/11/2023		ESTACION GEOMECAICA 4		Control Estructural		4	Frecuencia de Fracturamiento x m		40										
														REALIZADO POR: PSA & SMTM				RQD	RQD = 100e ^{-3.1λ/(0.1 λ+1)}	9.16	λ=1/S		40										
														ESTE: 227416.00						S= espaciamento promedio en metros		0.025											
														NORTE: 8476770.00						Tamaño de Bloque (m3)		0.0006											
														ALTITUD: 3835.00				GSI		GSI = 1.5 JCond _{ss} +RQD/2	24.08	Resistencia Estimada (Mpa)		35									
																EG-4																	
GEOMETRIA:										Longitud:		7 m																					
TALUD:										DIP:		71																					
										DIP DIRECTION :		319																					
GEOLOGIA:										Litología:		Pizarras																					
										Tipo de Roca:		Metamorfica																					
										Tipo de Estructura:		Laminar																					
TIPO O FORMA										ORIENTACION																							
										DIP		DIP DIR:																					
Sa										75		23																					
Ja										70		270																					
Jb										67		105																					
Jc										83		192																					
														</																			

7.5. Carga Última de Apoyo en Macizos Rocosos

7.5.1. Método de Serrano y Olalla (2001)

Este método se utiliza para adquirir deformaciones plásticas en un macizo rocoso cuando es homogéneo e isótropo, como en los casos I, IV y V de la clasificación de Hoek y Brown.

Figura 96. Clasificación roca Hoek y Brown



Fuente: Gallardo, M. (2012).

La expresión empleada para la capacidad de carga es:

$$q_{ult} = \beta(N_{\beta} - \zeta)$$

Donde:

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

$$\zeta = \frac{8s}{m^2} = \frac{8}{m_i^2} e^{\frac{RMR-100}{9}}$$



Siendo m , s y m_i parámetro de Hoek y Brown y el valor de la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

El coeficiente N_β es una generalización de los valores de N_c y N_q utilizados previamente en diversos métodos. Está influenciado por la inclinación de la tierra, el peso de la carga y la sobrecarga normalizada externamente, que actúa alrededor de la zapata, σ_{01} .

$$\sigma_{01}^* = \frac{\sigma_1}{\beta} + \zeta$$

$$\sigma_{01} = \gamma_{roca} \times H_{cimentacion}$$

Donde:

$$\gamma_{roca} = \text{peso específico de la roca}$$

$$H_{cimentacion} = \text{profundidad de cimentacion}$$

Los valores de N_β se pueden obtener en las gráficas de las figuras 79, 80 y 81 cuando la tierra está horizontal, presenta diferentes grados de inclinación del suelo y es el objeto de las abscisas para la sobriedad externa. Es necesario incrementar el valor anterior y luego ingresar al gráfico cuando existe una flexión en el nivel superior.

Figura 97. Factor N_β Pendiente 0°

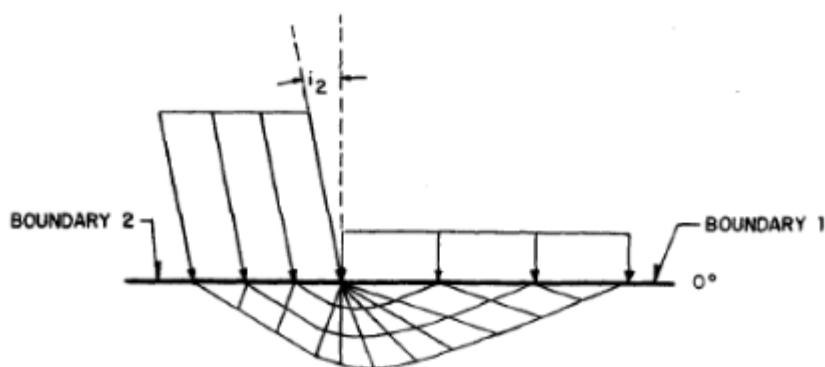
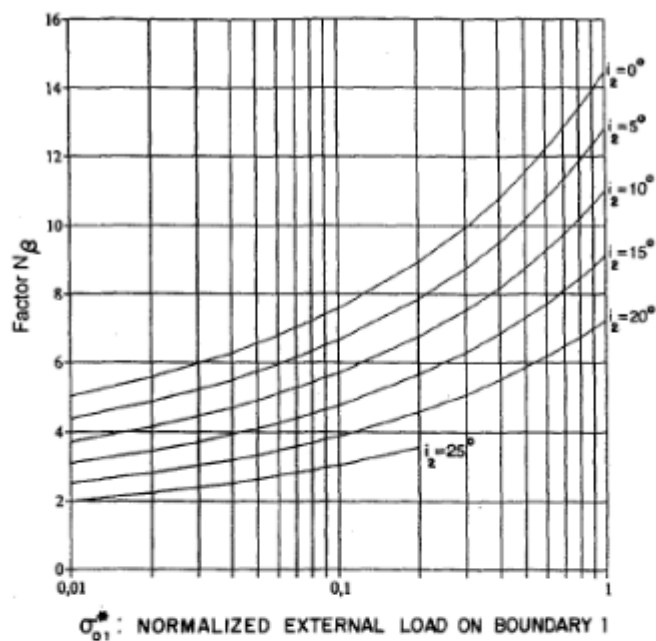


Fig. 3. Values of the load factor (N_β) dependent on the normalized external load on Boundary 1 and the inclination of the load on Boundary 2 (horizontal surface; $\alpha = 0^\circ$).

Fuente: Gallardo, M. (2012).

Figura 98. Factor $N\beta$ Pendiente 5°

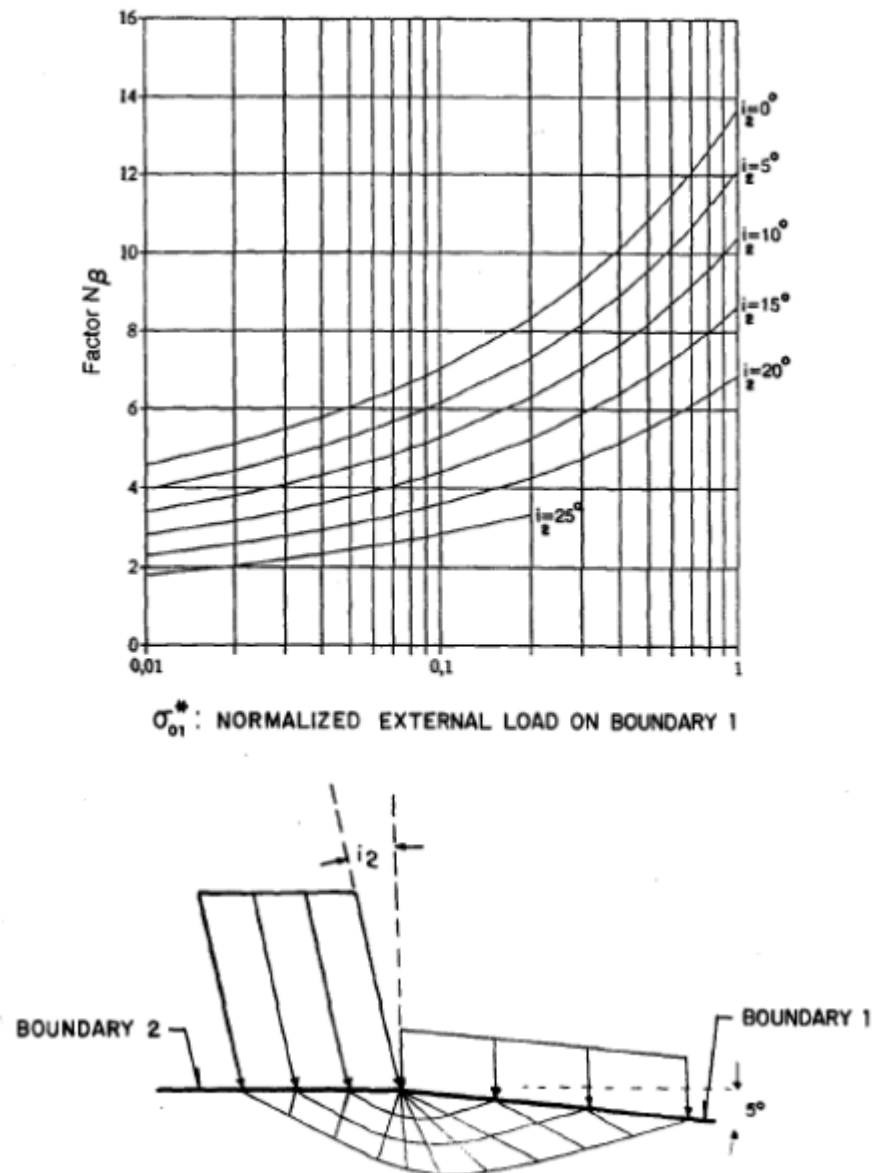


Fig. 4. Values of the load factor ($N\beta$) dependent on the normalized external load on Boundary 1 and the inclination of the load on Boundary 2 (slope inclination; $\alpha = 5^\circ$).

Fuente: Gallardo, M. (2012).

Figura 99. Factor $N\beta$ Pendiente 15°

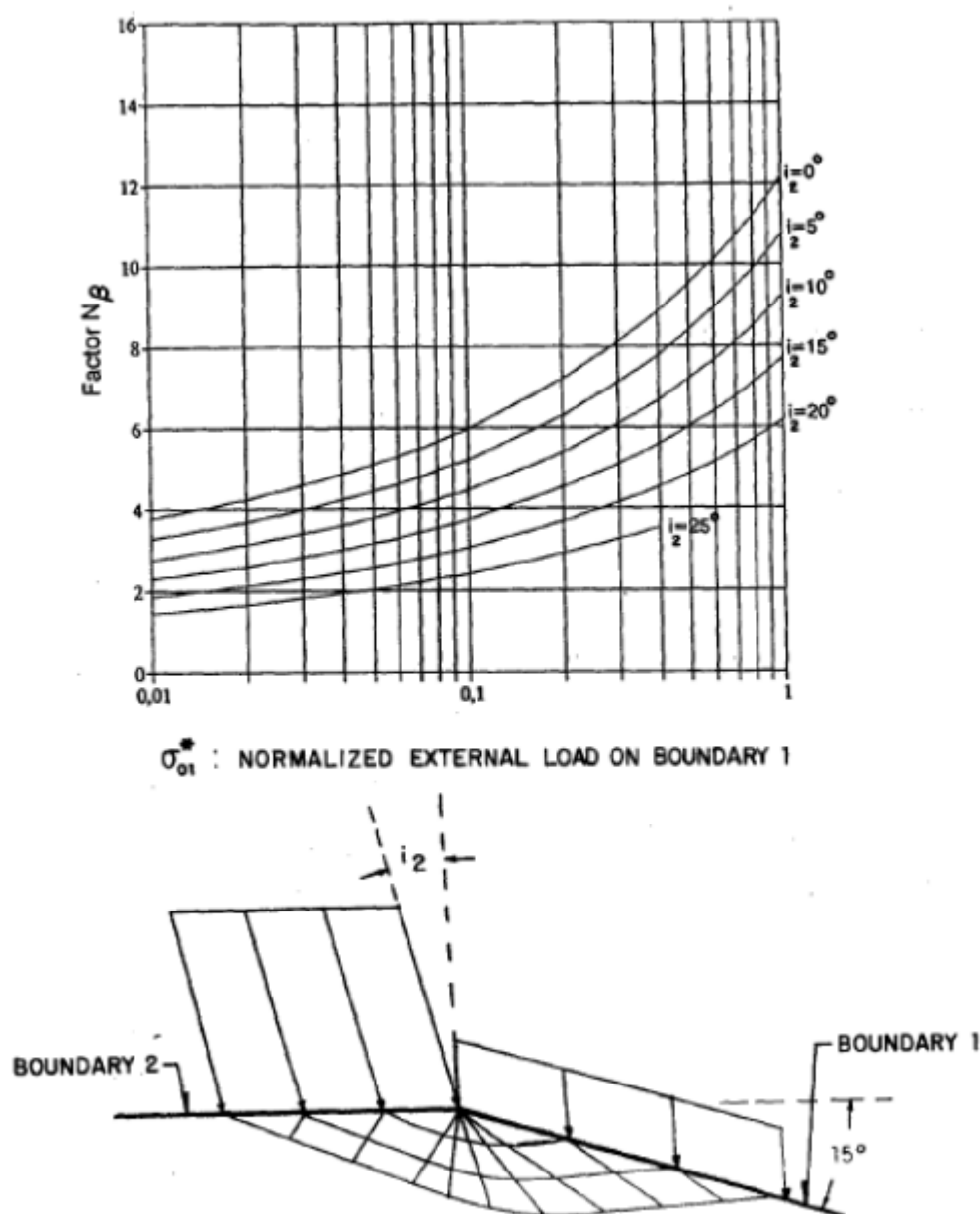
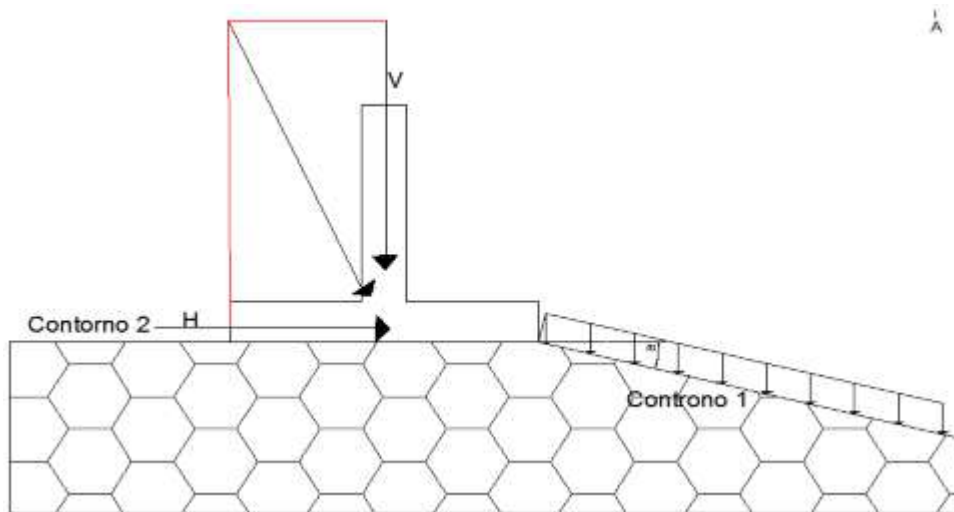


Fig. 6. Values of the load factor ($N\beta$) dependent on the normalized external load on Boundary 1 and the inclination of the load on Boundary 2 (slope inclination; $\alpha = 15^\circ$).

Fuente: Gallardo, M. (2012).

Se definen dos zonas, conocidas como Contorno 1 y Contorno 2. La primera se sitúa bajo la cimentación y la segunda cerca de ella. Cada uno de estos valores y parámetros se puede representar geométricamente en la siguiente figura 83.

Figura 100. Representación zonas de estudio de Serrano y Olalla



Fuente: Gallardo, M. (2012).

En la explicación anterior, no se considera el efecto del peso propio de la tierra sobre la segunda curva de nivel y la estructura, que en ocasiones puede ser ventajoso al trabajar con grandes dimensiones. Si el medio rocoso es anisótropo, su influencia puede considerarse mediante factores de reducción basados en la dirección de la familia de discontinuidades, como se explicará más adelante.

El peso admisible se obtiene dividiendo el peso de hundimiento por un coeficiente de seguridad F, que puede expresarse como el producto de dos factores:

$$F = F_p F_m$$

Mientras que el valor de Fm cubre la posibilidad de rotura por fragilidad al no ajustarse al modelo de Hoek y Brown, el factor Fp tiene en cuenta las variaciones estadísticas de los parámetros de la roca y la probabilidad de rotura.



En la gráfica se muestran coeficientes del valor F_p a utilizar, en función del RMR y de la resistencia a la compresión simple, para una probabilidad de rotura de $<10^{-4}$.

Figura 101. Factor F_p

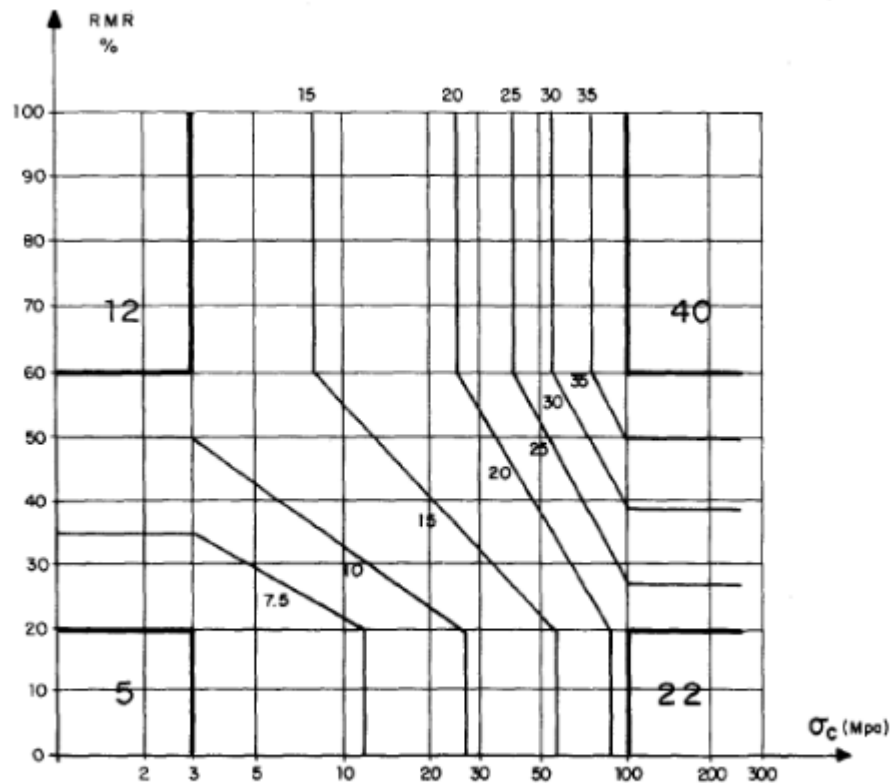


Fig. 18. A proposal of the partial safety factor of the parameters (F_p) for taking into account the variability of the rock parameters.

Fuente: Gallardo, M. (2012).

Las incertidumbres relacionadas con el criterio plástico determinan el coeficiente de seguridad parcial, o F_m . El comportamiento rígido de la roca y un F_m de 5 u 8 deben tenerse en cuenta en el caso de pequeñas cimentaciones sobre macizos rocosos del grupo I. Cuando el tipo de rotura es plástico, puede incluso alcanzar el valor de uno.

Para nuestras infraestructuras hídricas se planteó los siguientes datos:



Figura 102. Propiedades geotécnicas inferidas a partir de Rocdata 4.0

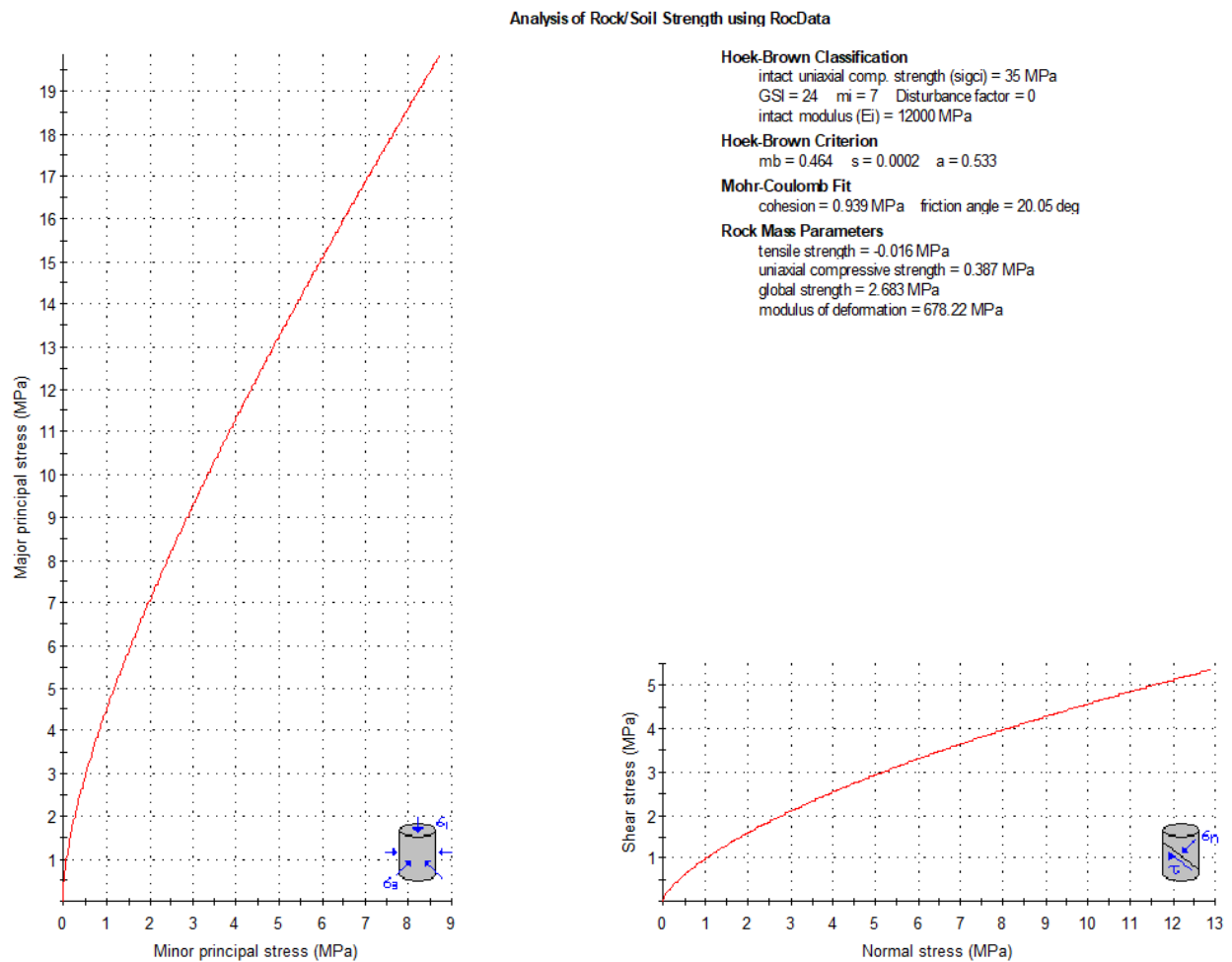




Tabla 31. Datos geotécnicos obtenidos de Roc Data 4.0

Hoek-Brown Classification	
sigci	35
GSI	24
mi	7
D	0
Ei	12000
Hoek-Brown Criterion	
mb	0.463766
s	0.00021509
a	0.533437
Failure Envelope Range	
Application	General
sig3max	8.75
Mohr-Coulomb Fit	
c	0.938543
phi	20.0475
Rock Mass Parameters	
sigt	-0.0162328
sigc	0.387037
sigcm	2.68313
Erm	678.225
Peso unitario	
24.517	kN/m3
Profundidad cimentación	
2	m

Tabla 32. Valores promedio

Datos	Valores	Unidades
RMR	41	
mi	7	
σ_{ci}	35	Mpa

De acuerdo a la teoría anteriormente desarrollada se aplicará la fórmula de capacidad portante para macizos no perturbados ($a=28$ y $b=9$).



$$\beta = \frac{m_0 \times \sigma_c}{8} \exp \frac{RMR - 100}{28} \quad \zeta = \frac{8}{m_0^2} \exp \frac{RMR - 100}{25.2}$$

Cuyos cálculos se detallan a continuación:

$$\beta = \frac{7 \times \sigma_c}{8} \exp \frac{41 - 100}{28}$$

$$\beta = 3.723536213 \text{ MPa}$$

$$\zeta = \frac{8}{7^2} \exp \frac{41 - 100}{25.2}$$

$$\zeta = 0.015707003 \text{ (Adimensional)}$$

Cálculo de Factor $N\beta$ (Pendiente 15° para el sector de estudio)

$$\sigma_{01} = \gamma_{roca} \times H_{cimentacion} \quad \sigma_{01}^* = \frac{\sigma_1}{\beta} + \zeta c$$

Donde:

γ_{roca} : Peso unitario de la roca

$H_{cimentacion}$: Profundidad de cimentacion

Tabla 33. Datos de entrada para cálculo de Factor $N\beta$

Peso unitario	
24.517	kN/m ³
Profundidad cimentación	
2	m

Calculo de Sigma 1:

$$\sigma_{01} = \gamma_{roca} \times H_{cimentacion}$$

$$\sigma_{01} = 24.517 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 2\text{m}$$

$$\sigma_{01} = 49.03 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{01} = 0.049034 \text{ MPa}$$

Calculo de Sigma 1 asterisco:

$$\sigma_{01}^* = \frac{\sigma_1}{\beta} + \zeta$$

$$\sigma_{01}^* = \frac{0.049034 \text{ MPa}}{3.723536213 \text{ MPa}} + 0.015707003$$

$$162 \mid \sigma_{01}^* = 0.03$$

Figura 103. Cálculo de Factor N_β (Pendiente 15° para el sector de estudio)

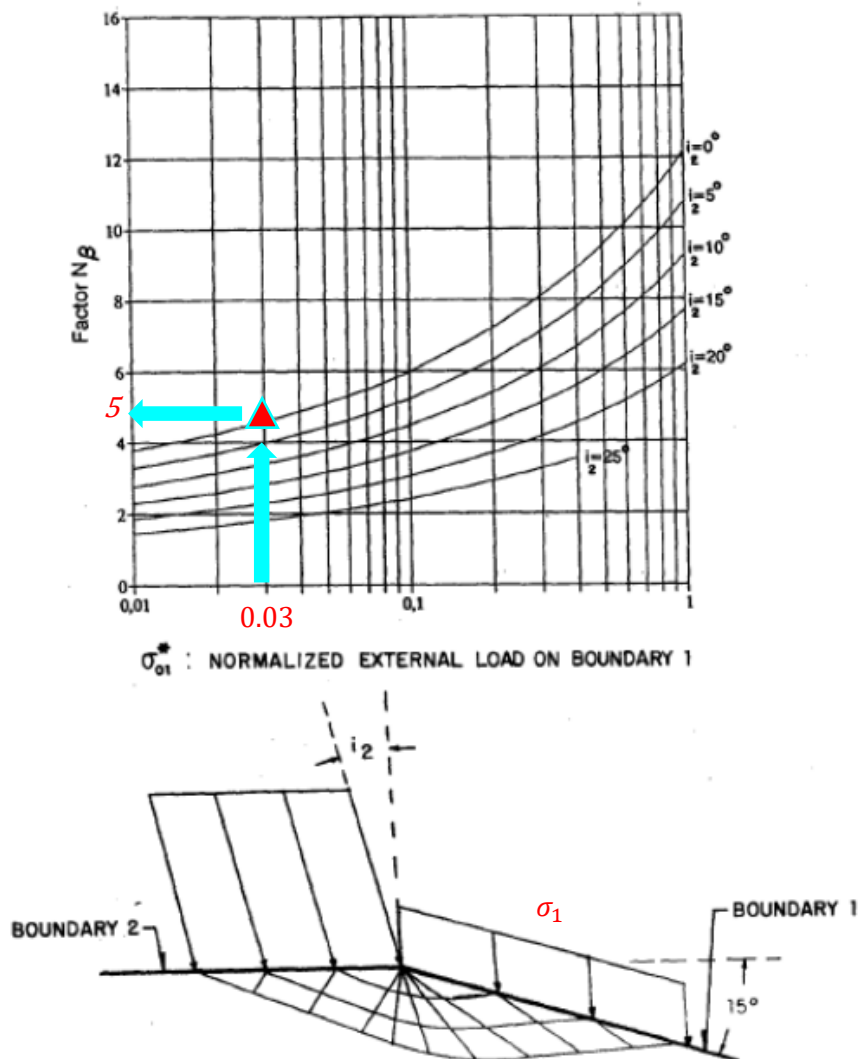


Fig. 6. Values of the load factor (N_β) dependent on the normalized external load on Boundary 1 and the inclination of the load on Boundary 2 (slope inclination; $\alpha = 15^\circ$).

Finalmente, de acuerdo al anterior grafico se determina que el factor N_β es 5

Con ello para calcular la carga de Hundimiento:

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

$$q_u = 3.723536213 \text{ MPa}(5 - 0.015707003)$$

$$q_u = 18.55919547 \text{ Mpa}$$



Una vez calculado la carga de hundimiento es necesario determinar la capacidad admisible del macizo el cual debe poseer un coeficiente de seguridad global ($FS=F_p F_m$) el cual se detalla a continuación:

Factor F_p

Figura 104. Cálculo de factor F_p

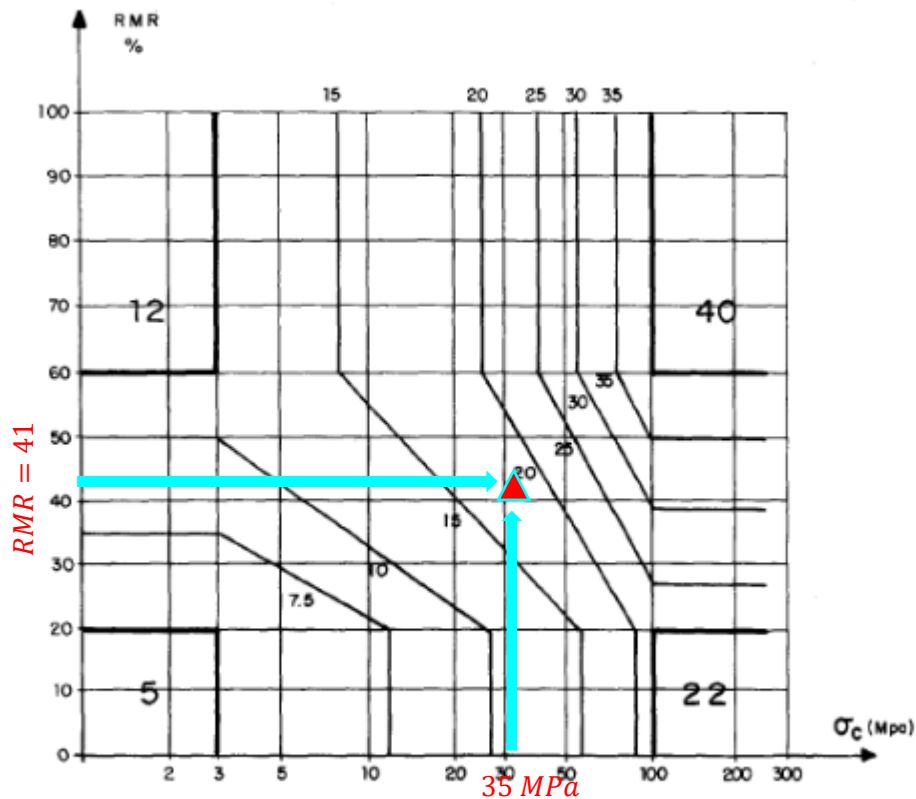
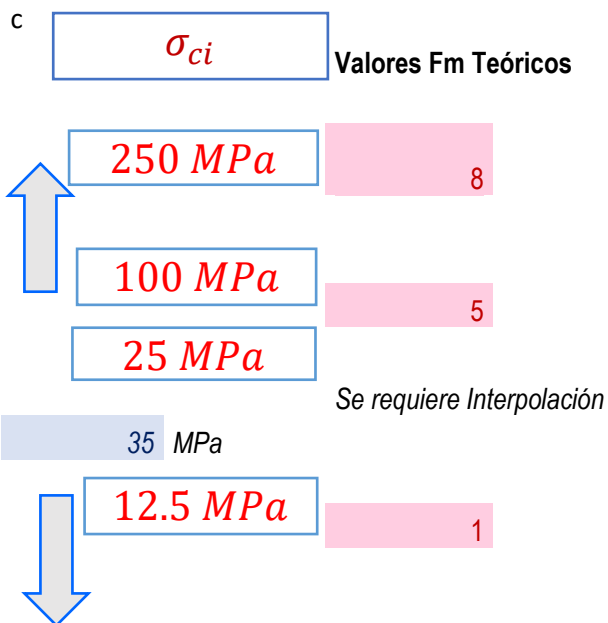


Fig. 18. A proposal of the partial safety factor of the parameters (F_p) for taking into account the variability of the rock parameters.

Por consiguiente, $F_p=20$.



Factor Fm



Resistencia	Fm
12.5	1
35	2
100	5
250	8

$$y_x = y_o + \frac{x - x_o}{x_1 - x_o} (y_1 - y_o)$$

X:	35	
Posición:		
X0:	12.5	Y0: 1
X1:	100	Y1: 5
Y:	2	

Por consiguiente, **Fm=2**

Es así que obtenemos coeficiente de seguridad global (FS=FpFm=40)



Finalmente, para calcular la capacidad admisible del terreno (capacidad de apoyo o capacidad portante).

$$q_a = \frac{q_u}{FS} \quad FS = F_p F_m$$

$$q_a = \frac{18.55919547 \text{ Mpa}}{2 \times 20}$$

$$q_a = \frac{18.55919547 \text{ Mpa}}{40}$$

$$q_a = 0.46 \text{ MPa} = 4.66 \text{ Kg/cm}^2$$

7.6. Asentamientos (Cimentaciones Rocosas)

Para calcular los asentamientos generados al largo de los reservorios se utilizó el método de cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, los cuales se detallan en Rock_Foundations, U.S. Army Corps of Engineers, sección 5. Para lo cual se realizó los siguientes cálculos en base a las siguientes formulas:

$$\delta_a = \frac{1.12qB(1 - \mu^2) \left(\frac{L}{B}\right)^{0.5}}{E_d}$$

Donde:

δ_a = *Maxima deformacion* (en el punto a)

q = *Carga Unitaria*(fuerza/area)

B = *Ancho de fundacion*

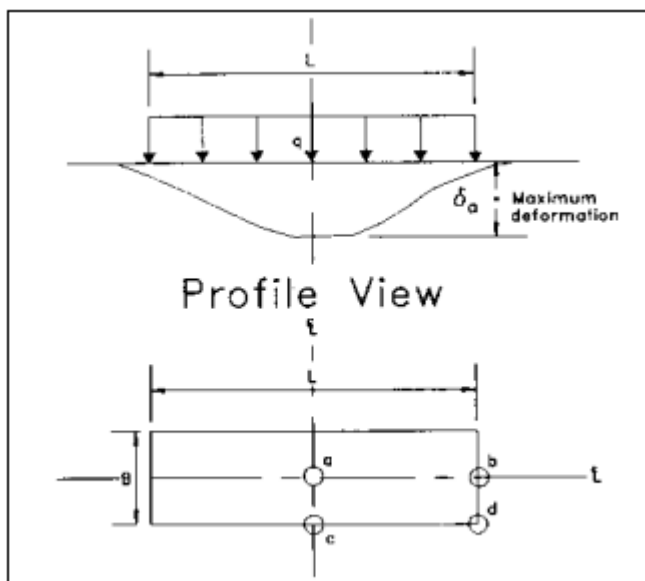
L = *Largo de fundacion*

μ = *Relación de Poisson del Macizo rocoso*

E_d = *Módulo de deformación de la roca de fundación*

El cálculo general de la formula anteriormente descrita se encuentra determinada para el punto a.

Figura 105. Perfil de deformación típico bajo una base flexible, de forma rectangular y carga uniforme



Fuente: EM1110-1-2908 - en *Rock_Foundations*, U.S. Army Corps of Engineers, Sección 5

Para ellos se calculó para cada uno de los reservorios puesto que sus dimensiones eran variables.

Tabla 34. Cálculo de Asentamiento para los reservorios

Ubicación	Ed Mpa	u	Df m	B m	L m	q Mpa	S (mm)
RES 01	678.225	0.25	2.00	20	23	0.029	0.977
RES 02	678.225	0.25	2.00	15	20	0.029	0.789
RES 03	678.225	0.25	2.00	20	32	0.037	1.464
RES 04	678.225	0.25	2.00	20	38	0.044	1.869

Por lo expuesto en las tablas anteriores se deduce que los asentamientos varían entre 0.977 mm a 1.869 mm a una profundidad de 2m.



Capítulo VIII

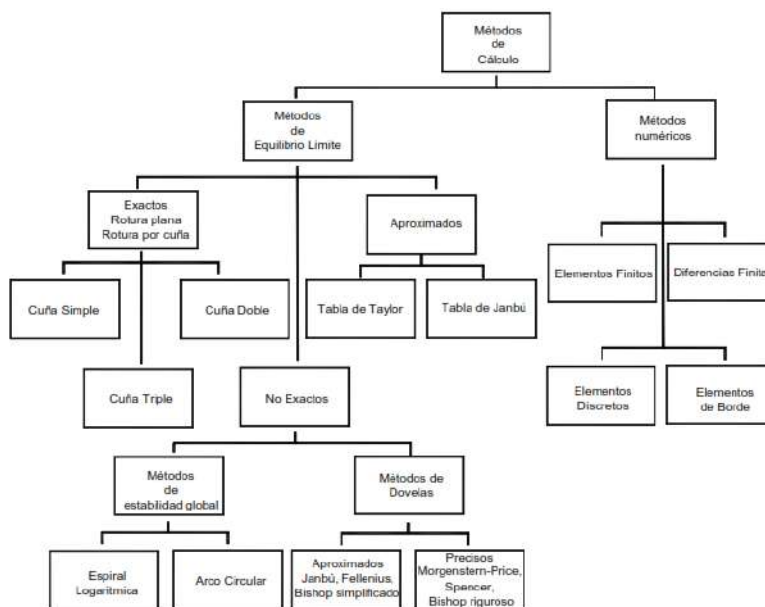
Análisis de Estabilidad de Taludes

Debido a localización de los reservorios en ladera se determinó realizar un análisis de estabilidad de taludes para evitar posibles impactos negativos en las infraestructuras planteadas.

8.1. Métodos de Equilibrio Limite

El análisis puede realizarse examinando directamente toda la longitud de la superficie de la caída o dividiendo la masa resultante en tajadas o dovelas. Los sistemas de dovelas desarrollados por Petterson y Fellenius (1936) mejoran día a día. Algunos métodos son precisos, mientras que otros son solo aproximados. Los métodos de Bishop (1955) y Janbú (1954) se han utilizado ampliamente durante los últimos 50 años, y se han desarrollado métodos de análisis más precisos y complejos, como los de Morgenstern y Price (1965) y Spencer (1967), mediante el uso de programas informáticos que permiten un análisis extremadamente exhaustivo. Los métodos suelen ser iterativos, y cada uno tiene un cierto nivel de precisión. (Suarez J., 2009).

Figura 106. Métodos de análisis de estabilidad de taludes



Fuente: Jaime Suarez. 2009. Deslizamientos, Volumen I, Análisis Geotécnico. Universidad Industrial de Santander. Colombia. Pag 137.



Tabla 35. Métodos de análisis de estabilidad de taludes características por equilibrio limite

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ($\phi = 0$).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, sea asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

Fuente: Jaime Suarez. 2009. *Deslizamientos, Volumen I, Análisis Geotécnico*. Universidad Industrial de Santander. Colombia. Pag 136

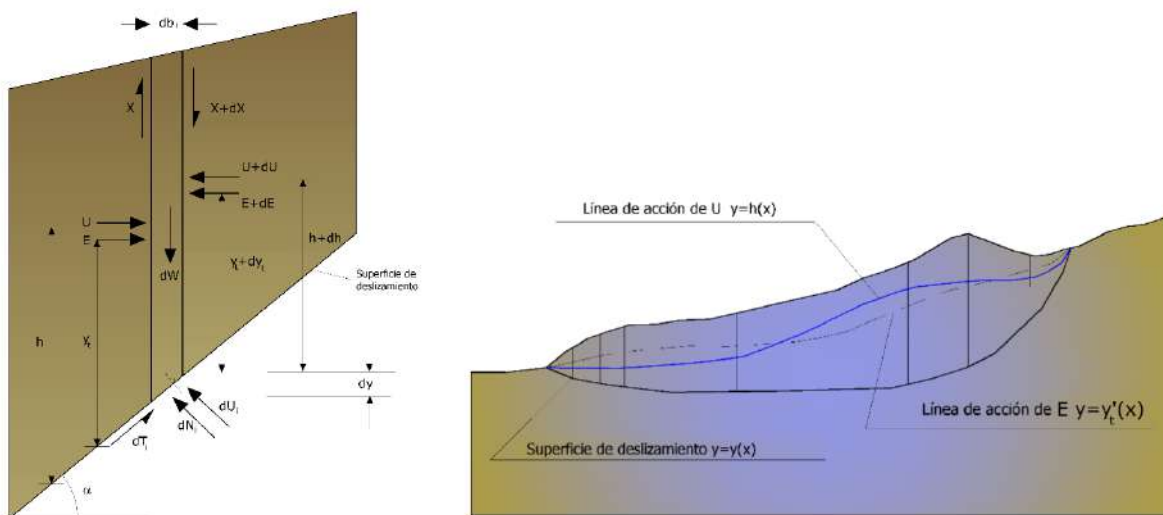
Debido a sus características el método a utilizar será el de Morgenstern y Price, el cual analiza superficies de falla de cualquier forma, con equilibrio de momentos y fuerzas.

8.2. Método de Morgenstern y Price

Se establece una relación entre los componentes de las fuerzas de interconexión del tipo $X = \lambda f(x) E$, donde λ es un factor de escala y $f(x)$, que depende de las posiciones de E y X . Esta relación se establece entre las variaciones de las fuerzas de interconexión X y E en la masa deslizante. La función $f(x)$ se elige aleatoriamente (constante, sinusoidal, semisinusoidal, trapezoidal, fraccionada) y tiene poco efecto en el resultado, pero es necesario confirmar que los valores recibidos de las incógnitas sean físicamente admisibles.

La característica única del método reside en que la masa se divide en un número infinitesimal de franjas, a las que se aplican las ecuaciones de equilibrio para la traslación y rotación horizontal y vertical. Esto da como resultado la primera ecuación diferencial, que suma las fuerzas de conexión desconocidas E y X , el coeficiente de seguridad F_s , el peso de la franja infinita dW y el resultado de las presiones neutrónicas en la base dU . (Software Geoestru)

Figura 107. Acciones en la i -ésima rebanada según las hipótesis de Morgenstern y Price y representación del conjunto



Fuente: Geoestru Software

Se obtiene la llamada “ecuación de las fuerzas”:



$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + tg \varphi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - tg \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una segunda ecuación, llamada “ecuación de los momentos”, se escribe imponiendo la condición de equilibrio a la rotación respecto a la base:

$$X = \frac{d(E_r)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

Estas dos ecuaciones se obtienen integrando toda la masa del delizante. El método de cálculo es aplicable a superficies de cualquier tipo y satisface todas las ecuaciones de equilibrio, aunque requiere el uso de un ordenador. (Geoestru Software).

8.3. Análisis de Estabilidad de Taludes Bajo Acción Sísmica

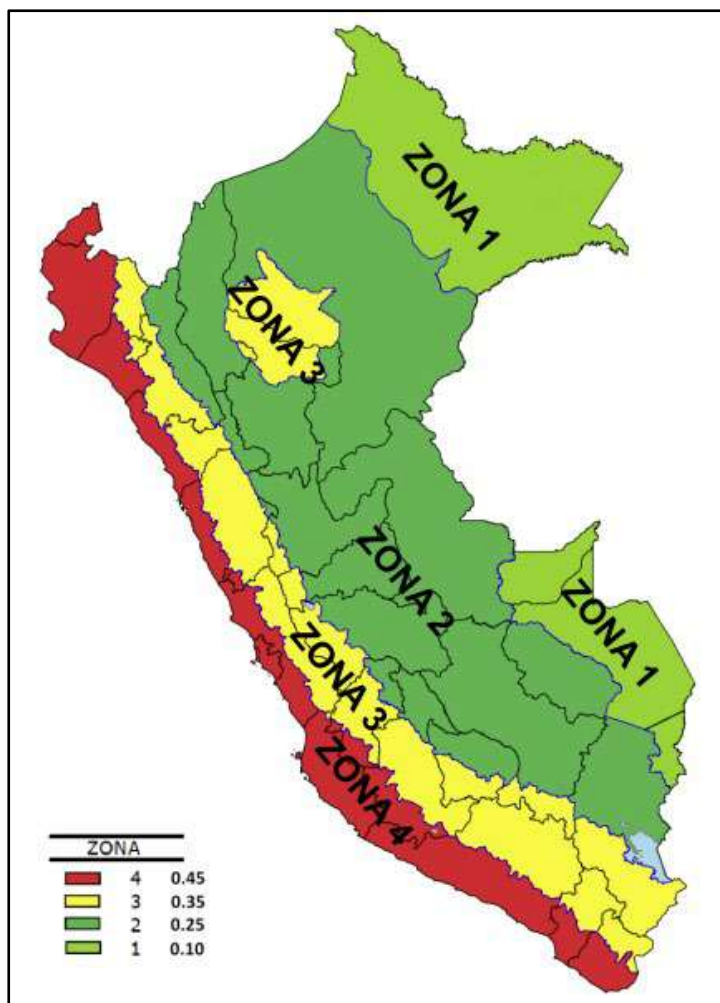
El valor de la aceleración máxima horizontal para el análisis pseudoestadístico será la mitad de la aceleración máxima horizontal en el componente horizontal, y de acuerdo con Sismorresistente E030, si se toma en cuenta la influencia del componente vertical en el movimiento sísmico, se deben estimar dos tercios del valor de la aceleración máxima horizontal, sin embargo esta última aceleración máxima vertical será opcional debido a que el mayor proceso destructivo se amplifica de manera horizontal según diversos autores.

En la Tabla 36, señala el factor asignado a cada zona (PGA= peak ground aceleration) para un período de retorno T=500 años, de acuerdo con las 4 zonas en las que se divide el Perú.

Tabla 36. Factor de la zona

Zona	Z(PGA)
1	0.10
2	0.25
3	0.35
4	0.45

Figura 108. Mapa de zonificación sísmica



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones D.S. N° 003-2016-VIVIENDA

En Perú, existen cuatro marcos normativos nacionales e internacionales que regulan los coeficientes de seguridad aceptables en condiciones de estado y pseudoestado (sísmicas), según el período y el contexto del cálculo del análisis de estabilidad. Los factores de seguridad que cumplen con la normativa y son aceptados en Perú se listan en la Tabla N.° 37



Tabla 37. Factores de seguridad según distinta normativa

Normativa	Talud temporal		Talud permanente	
	Estática	Sísmica	Estática	Sísmica
AASHTO	1.3 – 1.53	1.1	1.33 – 1.53	1.1
NAVFAC-DM7	1.3 – 1.25	1.15 – 1.2	1.5	1.15 – 1.2
FHWA		1.1	-	1.1
CE 020			1.5	1.25

Fuente: Revista CIVILIZATE N° 7, 2015, Dónde: LRFD = Load and Resistance Factor Desing

Por tanto, tomando como guía la norma peruana CE020, se puede concluir que un talud permanente es inestable si el factor de seguridad es menor a 1,5 en condiciones legítimas y menor a 1,25 en condiciones pseudoestaticas.

Por otra parte, de acuerdo a los estudios de campo se utilizó el modelo de Generalizado de Hoek y Brown para el análisis de rotura en rocas.

Figura 109. Valores utilizados en el análisis de estabilidad SLIDE. Pizarra

Define Material Properties

Pizarra

Name: Colour: Hatch:

Unit Weight: kN/m3 ☐ Saturated U.W. kN/m3

Strength Type: $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d((m_b \sigma_3 / \sigma_d) + s)^a$

Strength Parameters

UCS (intact): kN/m2 mb:

s: a:

Water Parameters

Water Surface: Ru Value:

☐ Show only properties used in model



8.4. Cálculos de Factores de Seguridad en los Taludes Analizados

Luego de realizar este cálculo mediante el software SLIDE, se ha podido determinar los valores numéricos de los factores de seguridad obtenidos mediante el método de GLE-MORGENSTERN PRICE con unos valores de 0.125 en componente sísmica horizontal y en condiciones saturadas de las litologías, finalmente se ha filtrado los valores para localizar los factores de seguridad menores a 1.25 en condiciones pseudoestáticas, los cuales constituyen los taludes inestables, dando como resultado las siguientes figuras:

Figura 110. Corte A-A' Reservoirio 01

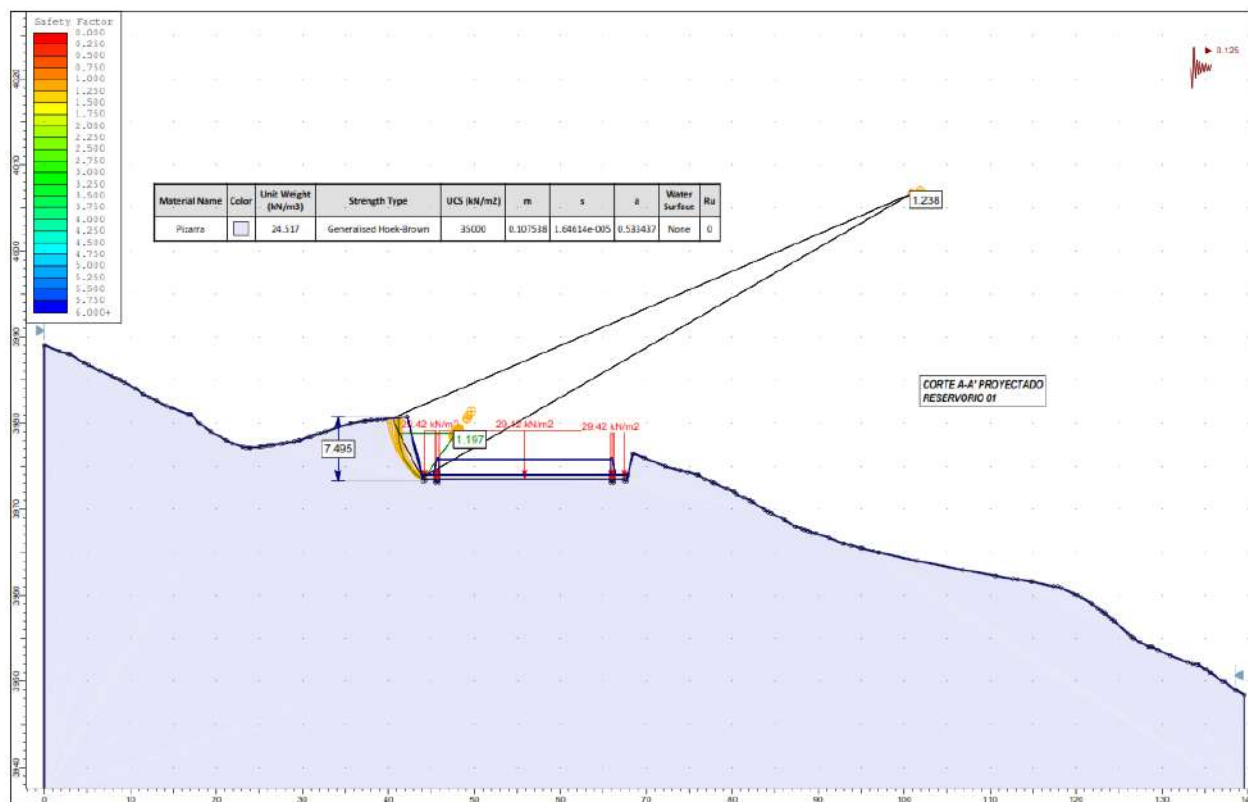




Figura 111. Corte B-B' Reservoirio 01

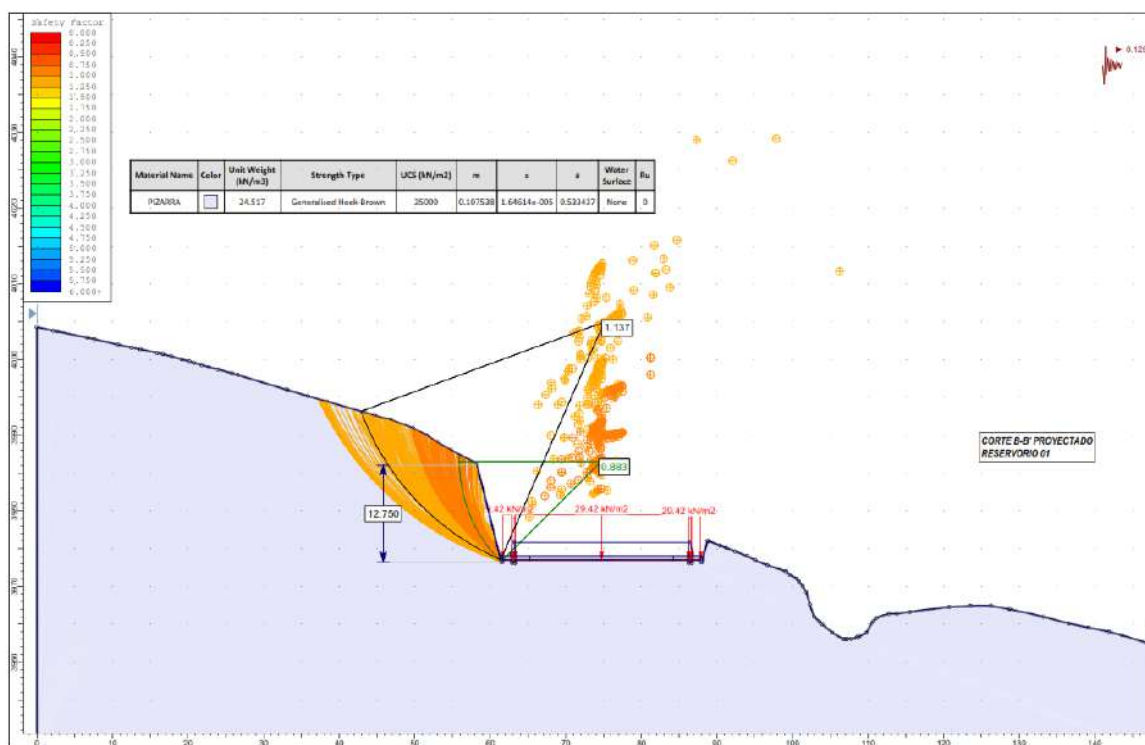


Figura 112. Corte A-A' Reservoirio 02

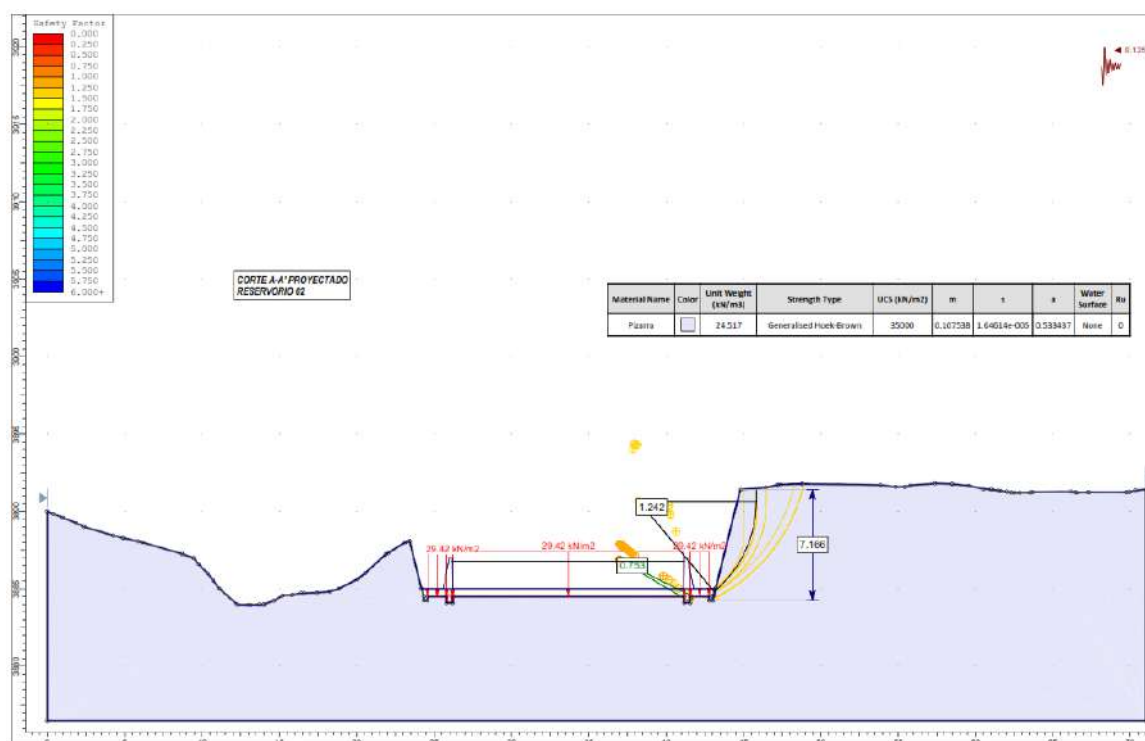




Figura 113. Corte B-B' Reservoirio 02

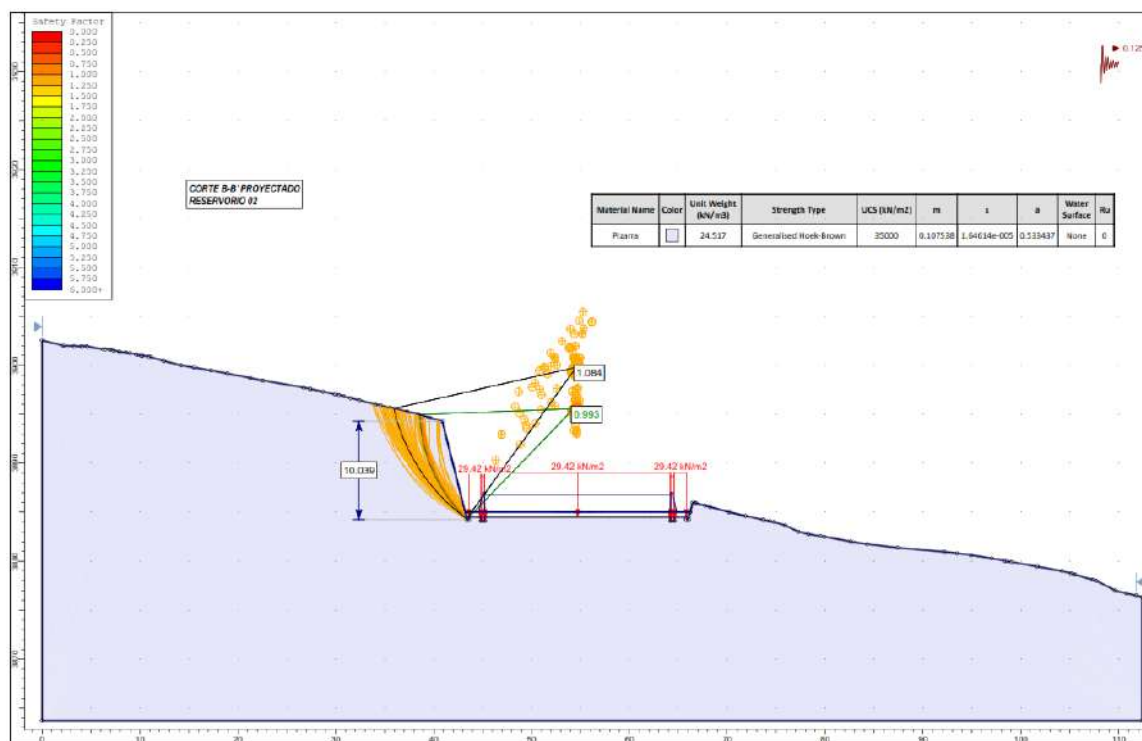


Figura 114. Corte A-A' Reservoirio 03

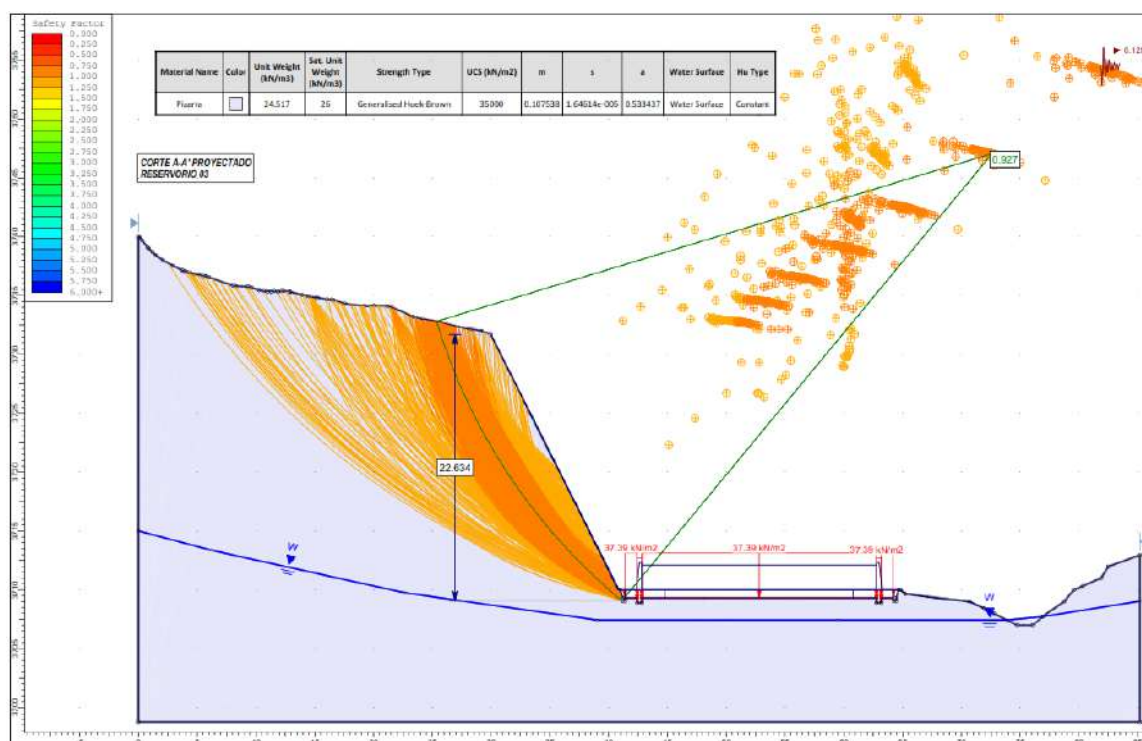




Figura 115. Corte B-B' Reservoirio 03

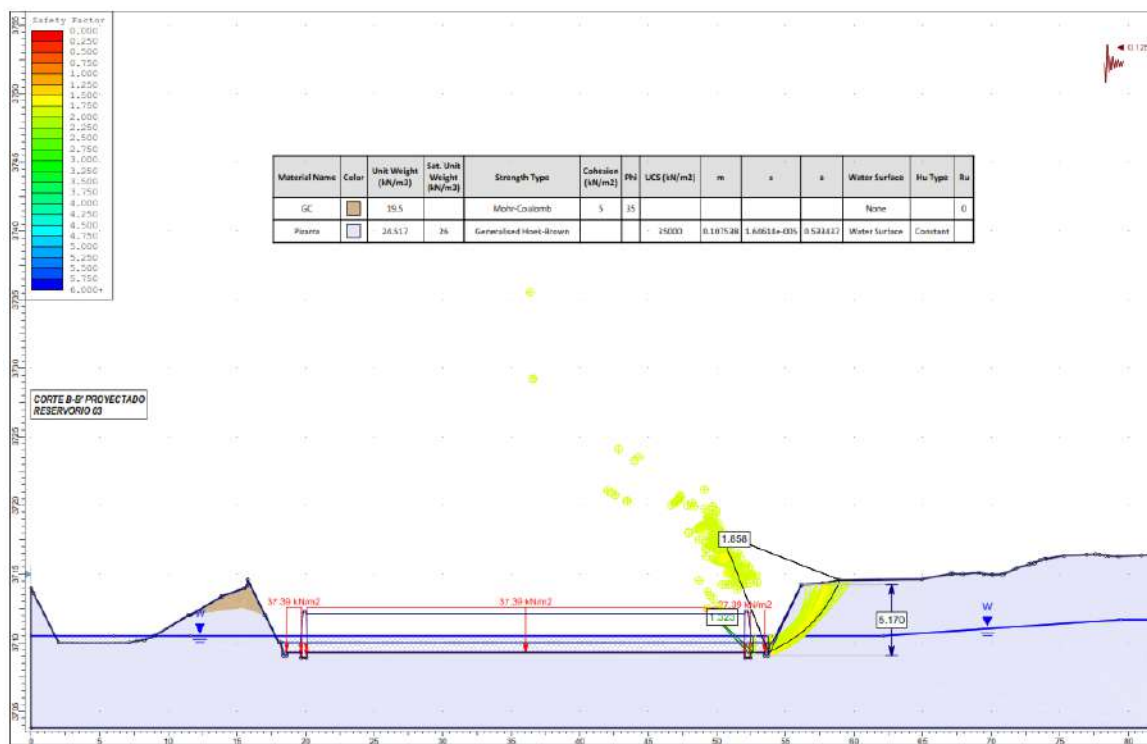


Figura 116. Corte A-A' Reservoirio 04

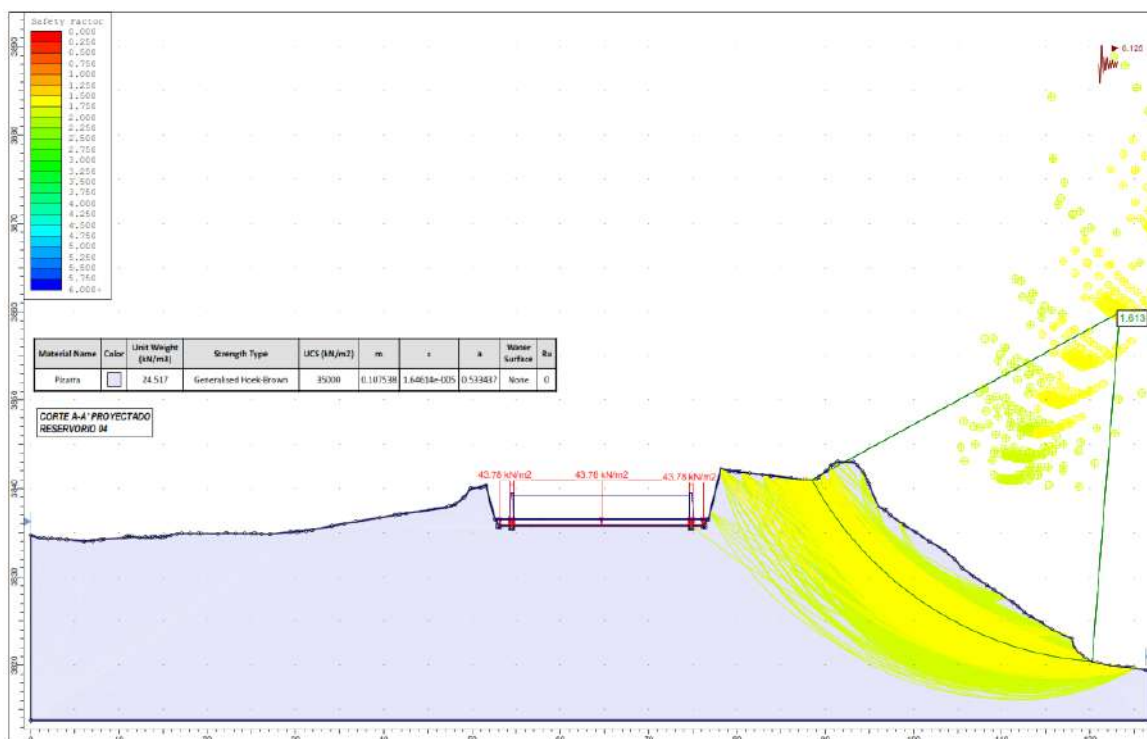
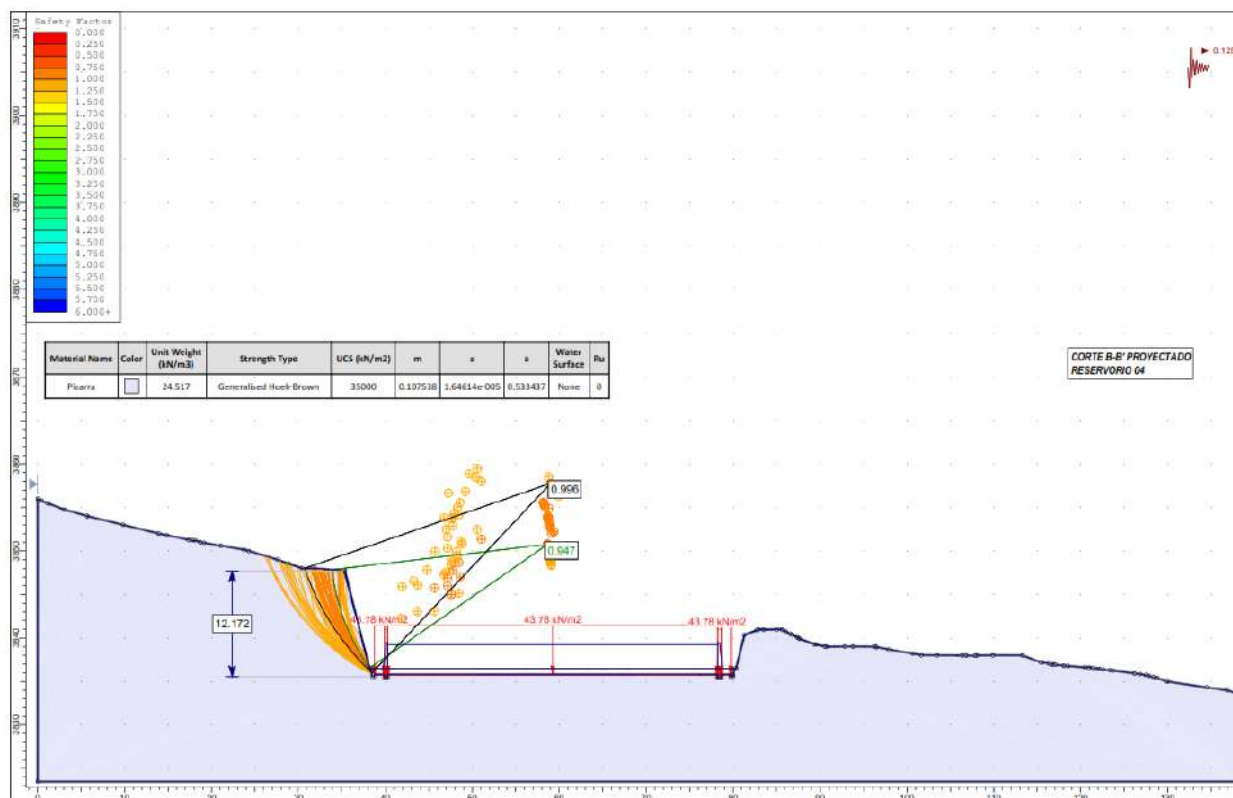




Figura 117. Corte B-B' Reservoirio 04



De acuerdo a las figuras mostradas la localización y el terreno de las infraestructuras críticas corresponden a sectores inestables en varios sectores, en condiciones críticas (con sismo) lo que constituye incidencia en problemas estructurales por fenómenos de geodinámica externa, los cuales constituirán un problema geotécnico latente.



8.5. Remediación de la amenaza y el riesgo a los deslizamientos

Si bien se optó por la reconfiguración del talud para este proyecto, en ocasiones la eliminación de todo el material inestable puede ser la mejor opción de estabilización si la eliminación de los materiales inestables no produce cambios en la estabilidad de las áreas circunvecinales.

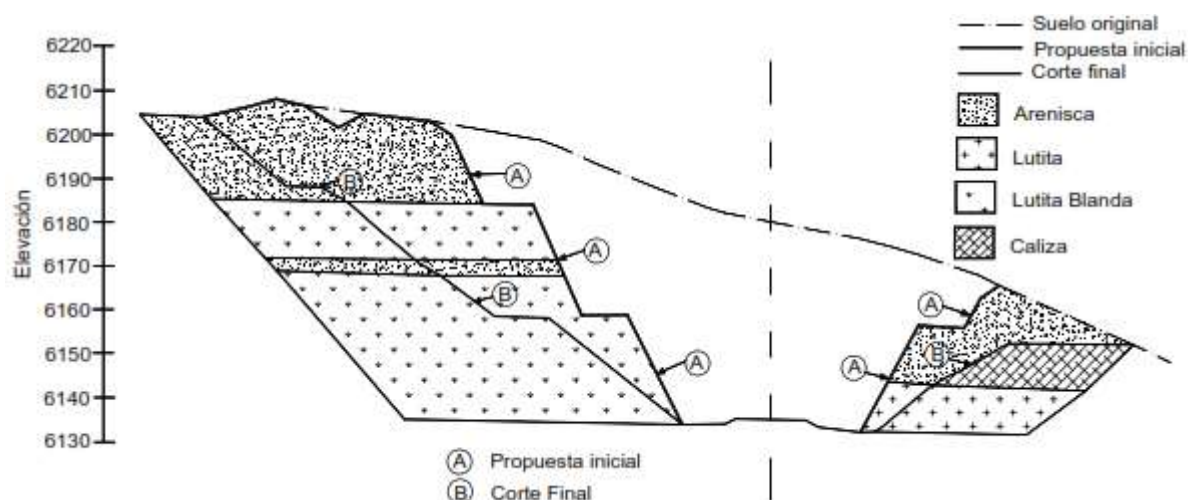
Este terraceo aumentara el factor de seguridad.

Tabla 38. Pendientes típicas para taludes en materiales tropicales

Unidad	Litología	Altura del Talud (metros)	Inclinación del Talud H:V (grados)	Método de Excavación
1	Roca competente o ligeramente meteorizada sin discontinuidades desfavorables. RQD > 75%	11 +/- 6	1/6:1 (73° +/- 12°)	Explosivos
2	Lateritas, y suelos re-cementados por oxidación.	4 +/- 1	1/6:1 (78° +/- 6°)	Raspado "Ripping"
3	Saprolitos, moderadamente meteorizados con algunas discontinuidades desfavorables. RQD 45 a 75%	9 +/- 3	1/3:1 (67° +/- 6°)	Raspado con uso ocasional de explosivos
4	Saprolitos, moderadamente a muy meteorizados. RQD < 45%	10 +/- 5	1:1 (48° +/- 12°)	Raspado

Fuente: Tsidzi, (1997).

Figura 118. La conformación de un talud requiere de un análisis para determinar las pendientes, terraceos etc.



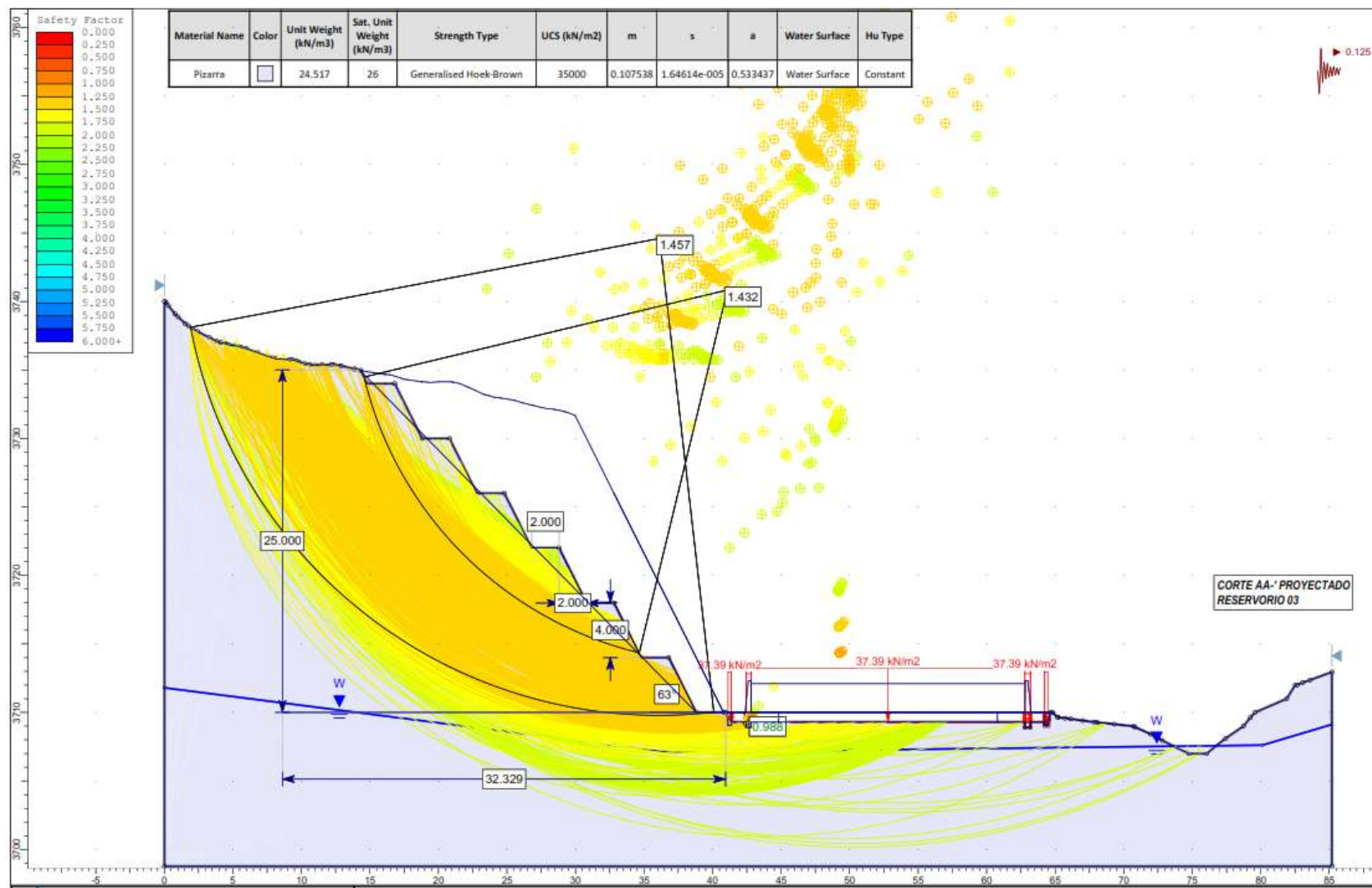
Fuente: Jaime Suarez. 2009. *Deslizamientos, Volumen I, Análisis Geotécnico*. Universidad Industrial de Santander. Colombia. Pag 270.

Para el sector de estudio y debido a presentar un solo tipo de litología y propiedades geotécnicas similares se realizó una propuesta para reconformación de taludes inestables.

Donde se determinó que se debe realizar banquetas con relación 1H: 2V (2 metros horizontal, 4 metros altura), formando un ángulo de 63° , con bermas de 2 metros. Para obtener valores superiores a 1.25 en factores de seguridad en condiciones pseudoestáticas, lo cual lo hace estable.



Figura 119. Reconformación de talud para factor de seguridad estable





Capítulo IX

Peligros Geológicos

En esta sección se conocerá los fenómenos naturales que podrían afectar el proyecto de investigación “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO”, para este proyecto en particular se ha identificado 3 fenómenos originados por geodinámica externa:

9.1. Erosión Fluvial

Se refiere a la pérdida y descomposición del material del lecho y cauce por la acción de las corrientes de agua cuando la energía del flujo supera la resistencia del material. Debido al cauce irregular, se producen frecuentemente remolinos que arrastran arenas y gravas, puliendo su fondo y cavidades.

Este fenómeno geodinámico externo afectaría al área del reservorio 03, debido a su cercanía al río Kuyumayo, el cual se acentuaría aún más con una avenida máxima, generando socavación y posterior inundación de la infraestructura, que se vería afectada también por el material de arrastre. En las figuras a continuación se podría ver la proximidad y posible susceptibilidad a dicho peligro.

Figura 120. Imagen satelital del reservorio 03 proyectado





Figura 121. Corte SE-NW del reservorio 03 proyectado



9.2. Asentamiento del Terreno

Las cargas transferidas desde los cimientos al suelo provocan su deformación, por lo que la estructura se asienta, se desplaza horizontalmente y gira, y si es demasiado grande pueden aparecer grietas, fisuras u otras patologías.

En el sector de estudio se ha observado que las aguas subterráneas surgen puntalmente por manantes u ojos de agua, en diversos sectores, y las litologías del lugar constituidas de pizarras al mantenerse en contacto constante con el agua, se desintegran formando arcillas, por lo que el asentamiento puede ocurrir en nuevas construcciones a causa de la carga sobre el suelo o la migración del agua contenida. En esta área, los suelos cohesivos poseen una componente expansiva que tienden a levantarse y asentarse (cambio de volumen) como resultado de cambios en las condiciones de humedad del suelo. Prueba de ello son las fisuras observadas en el reservorio antiguo en el área del reservorio 4 proyectad, en el capítulo de geotecnia se desarrolló un cálculo preliminar de los asentamientos en mm., porcada uno de los reservorios.

Figura 122. Fisuras desarrolladas por asentamientos en el reservorio antiguo en el área del nuevo reservorio 04 proyectado



9.3. Deslizamientos

Un deslizamiento de tierra es un movimiento o conflicto en la corteza terrestre causado por la inconsistencia de una superficie inclinada de un terreno. Ocurre cuando una gran masa de tierra se transforma en una zona insegura y luego se desplaza hacia un lugar estable a través de un espacio o franja de tierra. Sus causas son las pendientes pronunciadas, así como la sobresaturación del terreno por intensa precipitación pluvial.

Este fenómeno se ocasionaría por el cambio del talud al momento de realizar los cortes para la construcción de los reservorios, sobre todo en los sectores con pendientes muy abruptas. Para este fin se realizó un estudio de estabilidad de taludes, utilizando el método de Morgenstern Price en base al equilibrio limite en condiciones pseudoestáticas (Sismos), de todos los cortes AA' y BB' en todos los reservorios, arrojando valores de toda índole en donde generalmente se categorizan como inestables debido a que el factor de seguridad mínimo en estas condiciones es de 1.25 de acuerdo a la norma peruana CE 020, y los valores inferiores son inestables.



Figura 123. Corte A-A' del reservorio 03



Figura 124. Corte B-B' del reservorio 04

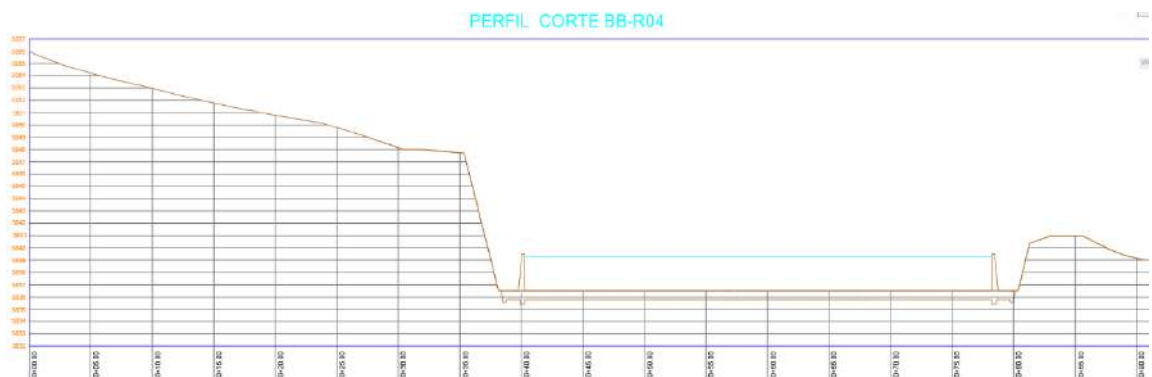


Figura 125. Análisis de estabilidad de taludes a lo largo del corte A-A' del reservorio 03 proyectado

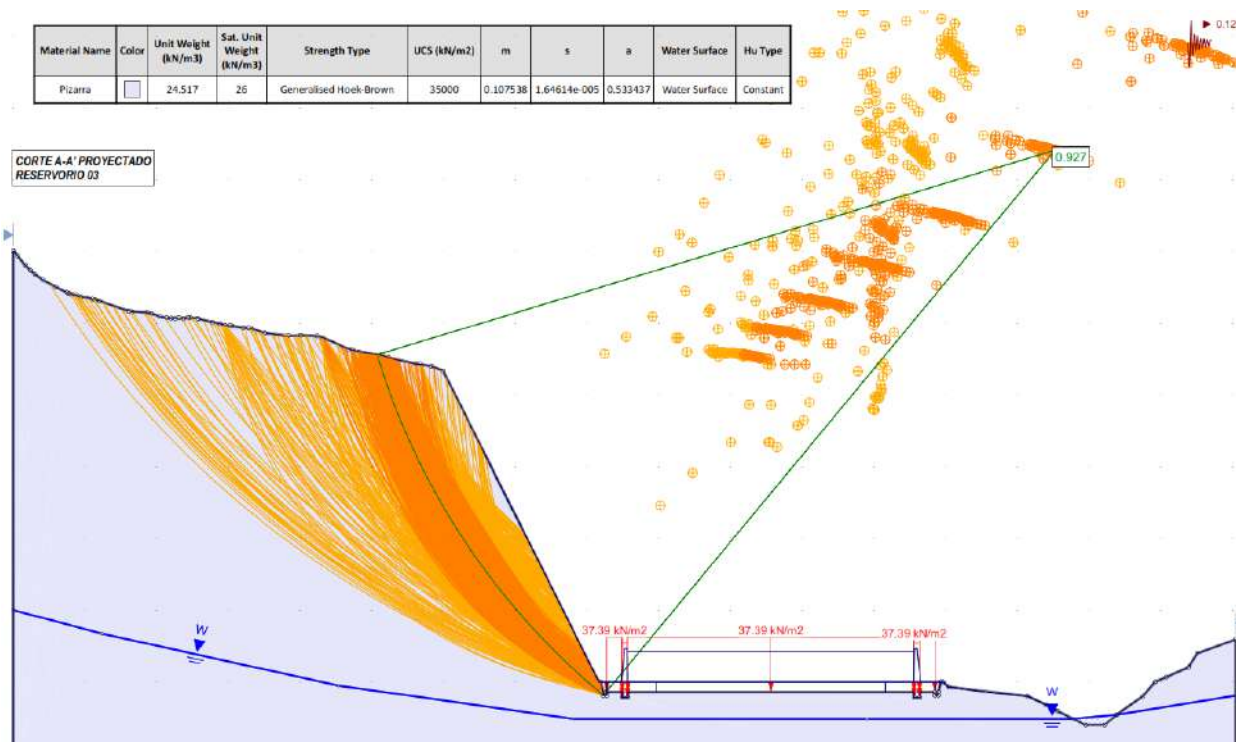
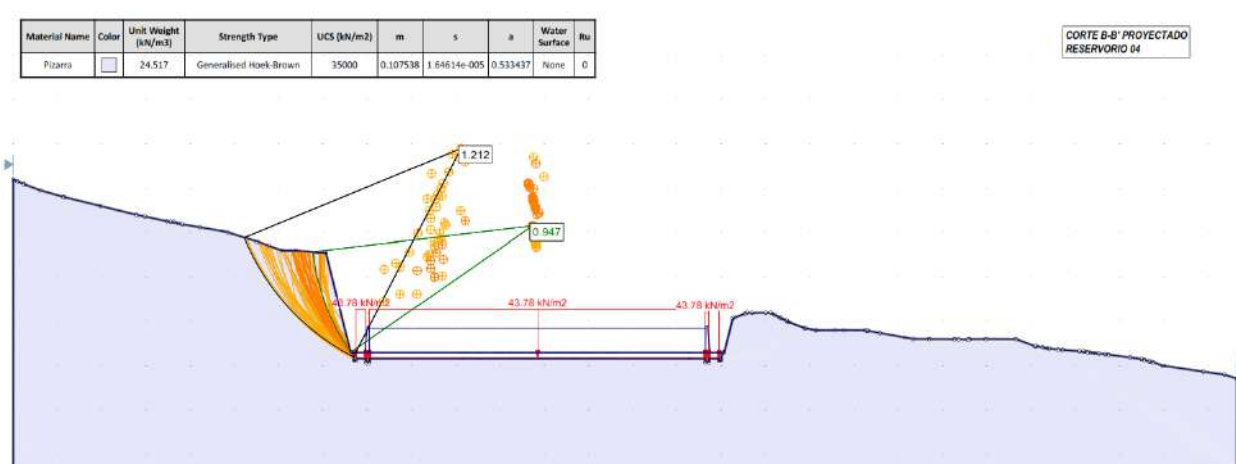


Figura 126. Análisis de estabilidad de taludes a lo largo del corte B-B' del reservorio 04 proyectado





Capítulo X

Resultados

De acuerdo a las infraestructuras propuestas:

1. Geomorfológicamente:

Regionalmente se encuentra en la cordillera oriental, constituida de dos subcategorías que son:

- Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) donde se ubican los reservorios 02 y 03. (MAPA 02)
- Montaña en roca sedimentaria (RM-rs) donde se ubican los reservorios 01 y 04. (MAPA 02)

Localmente se encuentran:

- ✓ Reservorio 01 sobre Laderas de montaña con pendiente muy empinada a escarpada (Ldm-PmeE), y Laderas de montaña con pendiente moderada a empinada (Ldm-Pme), ver MAPA 04.
- ✓ Reservorio 02 sobre Laderas de montaña con pendiente moderada a empinada (Ldm-Pme), ver MAPA 05.
- ✓ Reservorio 03 sobre Laderas de montaña con pendiente muy empinada a escarpada (Ldm-PmeE), y Laderas de montaña con pendiente moderada a empinada (Ldm-Pme), ver MAPA 06.
- ✓ Reservorio 04 sobre Laderas de montaña con pendiente moderada a empinada (Ldm-Pme), ver MAPA 07.

2. Geológicamente:

Regionalmente se encuentra situado sobre la Formación Ananea ver MAPA 08.

Localmente se encuentran:

- ✓ Reservorio 01 sobre afloramientos de rocas metamórficas foliadas (Pizarra) en diversos sectores, a lo largo de toda el área de estudio, asimismo pequeños



acumulaciones de suelos coluviales constituidas de fragmentos de pizarras y arcillas como matriz, la dirección e inclinación de las esquistosidades son similares (esquistosidad promedio: Azimut N25, con buzamiento 37SE). La infraestructura propuesta se encontrará sobre afloramientos de pizarras, puesto que los suelos en este sector no son potentes, siendo inferiores a 1 metro aproximadamente en su mayor zona de acumulación., ver MAPA 09.

- ✓ Reservoirio 02 sobre afloramientos de rocas metamórficas foliadas (Pizarra) al Este, asimismo pequeños acumulaciones de suelos coluviales al Oeste, constituidas de fragmentos de pizarras y arcillas como matriz, así como depósitos lacustres con mayor contenido de arcillas y componentes orgánicos, por otro lado, la dirección e inclinación de las esquistosidades son similares (esquistosidad promedio: Azimut N213, con buzamiento 31NW). La infraestructura propuesta se encontrará sobre afloramientos de pizarras, puesto que los suelos en este sector no son potentes, siendo inferiores a 1.5 metros aproximadamente en su mayor zona de acumulación, ver MAPA 10.
- ✓ Reservoirio 03 sobre afloramientos de rocas metamórficas foliadas (Pizarra), asimismo se observa acumulaciones de suelos coluviales-aluviales en dirección SW/NE constituidas de fragmentos de pizarras y arcillas como matriz, así como depósitos fluviales con mayor contenido de arenas, gravas, cantos bloques de rocas (cuarcitas, pizarras), por otro lado, la dirección e inclinación de las esquistosidades son similares (esquistosidad promedio: Azimut N127, con buzamiento 32SW). La infraestructura propuesta se encontrará sobre afloramientos de pizarras, puesto que los suelos en este sector no son potentes, siendo inferiores a 2.5 metros aproximadamente en su mayor zona de acumulación, ver MAPA 11.



- ✓ Reservoirio 04 sobre afloramientos de rocas metamórficas foliadas (Pizarra), asimismo también se observa acumulaciones de suelos coluviales constituidas de fragmentos de pizarras y arcillas como matriz, así como un reservorio de concreto anteriormente construido que presenta fisuras por fallas de asentamientos, por otro lado, la dirección e inclinación de las esquistosidades son Azimut N295, con buzamiento 55NE. La infraestructura propuesta se encontrará sobre afloramientos de pizarras, puesto que los suelos en este sector no son potentes, siendo inferiores a 1.5 metros aproximadamente en su mayor zona de acumulación, ver MAPA 12.

3. Estructuralmente:

Se identifico presencia de microfallas por medio de indicadores cinemáticos en el sector del reservorio 04, con cinemática preferencial de rumbo Dextral con componente vertical inversa, lo que indica estar sobre zonas de debilidad ocasionadas por fallas regionales. Sin embargo, no se evidencio en campo lineamientos estructurales muy pronunciados lo que indica una incidencia mínima de dicha falla sobre el reservorio, aunque a mayor profundidad con las tomografías realizadas si se observó zonas de cizalla.

Peligros por Geodinámica interna o externa

Para este proyecto se ha identificado 3 peligros geológicos que son: erosiones fluviales, asentamientos de terreno y deslizamientos, detallados a continuación:

- Reservoirio 01, deslizamiento.
- Reservoirio 02, deslizamiento.
- Reservoirio 03, erosiones fluviales, asentamientos de terreno y deslizamiento.
- Reservoirio 04, deslizamiento.



Capítulo XI

Conclusiones y Recomendaciones

11.1. Conclusiones

Primero, en cuanto a las características geomorfológicas, regionalmente los reservorios propuestos se localizan sobre rocas sedimentarias y vertientes de deslizamiento. Mientras que, a nivel local, se localizan sobre laderas de montaña con pendiente variable.

Litológicamente, los reservorios propuestos se localizan sobre pizarras correspondientes a la Formación Ananea, con suelos cuaternarios correspondientes a suelos coluviales, aluviales y fluviales en menores proporciones.

Geodinámicamente, a nivel externo por el alta pendiente se puede inferir movimiento en masa debido a deslizamientos en rocas muy fracturadas, asimismo a nivel interno se localiza sobre un sector de fallas regionales denominada como sistema Urcos y Pitucancha, el cual corresponde movimientos de rumbo los cuales no reflejan activación y movimiento reciente.

Segundo, de acuerdo al mapeo geomecánico sumado a pruebas de resistencia en laboratorio se ha establecido que posee un peso unitario de 24.517 KN/m³, así como una resistencia de 35 Mpa, además por medio del mapeo geomecánico se determinó que poseen media a mala calidad en el RMR básico de Bieniawski con valores de 40 y 44, GSI con valores de 24.08 y 30.08, y RMR corregido por ajuste de orientaciones aplicado a cimentaciones de 25 y 29.

Tercero, los perfiles geoelectricos, han permitido determinar el contacto entre roca y basamento rocoso no supera los 8 metros en los reservorio localizados en las partes bajas, mientras que en los localizados en las partes altas solo existe una capa de suelo orgánico que en sus sectores más potentes presenta 20 cm, del mismo modo ha permitido localizar sectores intensamente fracturados por fallas antiguas, que geotécnicamente causarían asentamientos futuros y fallas estructurales de la infraestructuras propuestas, sin embargo al poseer un



fracturamiento relativamente constante se infiere como un terreno geotécnicamente homogéneo.

11.2. Recomendaciones

Primera: Se recomienda realizar el cálculo de capacidad admisible por medio de las fórmulas de Serrano y Olalla (GRUPO IV), así como Hoek y Brown (2001). En base a los mapeos geo mecánicos realizados en el presente estudio.

Segunda: Para realizar banquetas en los cortes con pendientes muy altas para reducir el círculo de falla y reducir posibles deslizamientos sobre los reservorios, tomando en cuenta el manual del MTC o las siguientes figuras extraídas del libro de Técnicas de remediación de taludes de Jaime Suarez.

Tercera: Se debe realizar banquetas con relación 1H: 2V (2 metros horizontal, 4 metros altura), formando un ángulo de 63° , con bermas de 2 metros. Para obtener valores superiores a 1.25 en factores de seguridad en condiciones pseudoestáticas, lo cual lo hace estable.

Cuarta: Se debe realizar subdrenes para poder deprimir la napa freática y evitar posibles asentamientos, en el reservorio 03 ubicado muy cerca al cauce de río Kuyumayo, donde se concentran flujos de aguas subterráneas en zonas puntuales.

Para el reservorio 03, que será afectado por su cercanía al río y concentración de redes de flujo de aguas subterráneas, se debe utilizar un enrocado debajo de la cimentación de losas con salida hacia el río pendiente abajo, que servirán como drenajes y también como área estable y permeable para las losas del reservorio. Que a su vez debe ser reducida o aumentada según se requiera en la ejecución.

Quinta: Se debe realizar enrocados como defensas ribereñas para el reservorio 03, para evitar posible inundación y socavación de la infraestructura, previo análisis de erosión del sector por medio de un estudio hidrológico – hidráulico.



Referencias Bibliográficas

- Adatao Barzola María Cristina y Chueyling Cheong Lizárraga Jina (2018), Estudio Geotécnico para el Diseño de la Cimentación de un Reservoirio de Cabecera de 20.000 m³ en el Sector 330 Villa María del Triunfo – Lima. (Tesis para optar Título), Universidad de San Martín de Porres.
- Carlotto V. et al. (2003). REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL CUADRÁNGULO DE CUSCO (28-s) Escala 1:50 000. INGEMMET. Perú.
- Carlotto, V., Cardénas, J. y Carlier, G. (2011) - Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p., 6 mapas.
- Chirinos Gutiérrez Juan Carlos Crisologo y Alfaro Navinta Medardo (2019), Estudio geotécnico para la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo, Espinar - Cuzco, (Tesis para optar Título), Universidad Continental.
- Fossen H. (2010). Structural Geology. Cambridge University Press.
- Gallardo, M. (2012). Cimentaciones en roca. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México.
- Gallardo Contreras Miguel (2013), Cimentaciones en Roca, (Tesis para optar Título), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jorda, L., Tomas, R., Arlandi, M. y Abellán, A. (2016). Manual de estaciones geomecánicas. Descripción de macizos rocosos. E.T.S.I. Minas. Universidad Politécnica de Madrid.
- 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.
- Orellana E. 1972. Prospección geoelectrica de corriente continua (2nd Edition). Editorial Paraninfo. Madrid. Pag 75.



- Pérez, G. 2018. Ordenamiento Territorial del Distrito de Quiquijana. Tesis para optar el grado de magister Scientiae en recursos hídricos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. Pág. 96
- 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.
- Pinilla del Canto Ricardo E. (2016), Factibilidad Geotécnica del Proyecto Embalse el Rosario para Abastecimiento de agua Potable del Litoral Central Cordillera de la Costa de Chile Central (Tesis para optar Título), Universidad de Chile.
- 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 291.
- Qureshi, M. U., Mahmood, Z., & Rasool, A. M. (2022). Using multivariate adaptive regression splines to develop relationship between rock quality designation and permeability. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 14(4), 1180–1187. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.06.011>
- Suarez J. Técnicas de remediación de taludes. Conformación de taludes. Pag.273
- Valdivia J. et. al. 2012. Mapa Fisiográfico Región Cusco. Área de Fisiografía. Subgerencia de acondicionamiento territorial. Gobierno regional Cusco. Pag 60.
- 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



Anexo A: Matriz de Consistencia

Anexo B: Panel Fotográfico

Anexo C: Descripciones Macroscópicas de muestras de mano

Anexo D: Análisis Estereográfico

Anexo E: Análisis de Taludes Slide

Anexo F: Secciones del modelo geológico 3D y tomografía eléctrica

Anexo G: Valores de Rocdata



ANEXO A

Matriz de Consistencia



PROBLEMA DE INVESTIGACION	OBJETIVOS	MARCO TEORICO - ANTECEDENTES	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA	POBLACION Y MUESTRA
<u>PROBLEMA GENERAL</u> ¿Cuál son los parámetros geotécnicos más críticos para el diseño y construcción de los reservorios en la comunidad de Callatiac? <u>PROBLEMAS ESPECIFICOS</u> • ¿De qué manera las condiciones geomorfológicas, geológicas y geodinámicas influyen en el diseño y construcción de los reservorios de agua? • ¿De qué manera los parámetros geotécnicos influyen en el diseño y construcción de los reservorios? • ¿De qué manera los ensayos geofísicos determinaran las características geológicas-geotécnicas en el diseño y construcción de los reservorios?	<u>OBJETIVO GENERAL</u> Determinar los parámetros geotécnicos para el diseño y construcción de los reservorios de agua para riego en la zona de estudio. <u>OBJETIVOS ESPECIFICOS</u> • Determinar las unidades geomorfológicas, geológicas y geodinámicas de la zona de estudio. • Determinar las unidades geotécnicas de la zona de estudio. • Determinar los ensayos geofísicos para la construcción del reservorio.	<u>A NIVEL REGIONAL:</u> • Chirinos J. y Alfaro M. (2019), Estudio geotécnico para la construcción de la represa de almacenaje de agua en Huayllumayo, Espinar - Cuzco), Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Continental, Arequipa, Perú. <u>A NIVEL NACIONAL:</u> • Aduato C. y Chueyling J. (2018), ESTUDIO GEOTECNICO PARA EL DISEÑO DE LACIMENTACIÓN DE UN RESERVORIO DE CABECERA DE 20.000 M3 EN EL SECTOR 330 VILLA MARIA DEL TRIUNFO – LIMA, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú. <u>A NIVEL INTERNACIONAL:</u> • Pinilla R. (2016), FACTIBILIDAD GEOTÉCNICA DEL PROYECTO EMBALSE EL ROSARIO PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL LITORAL CENTRAL CORDILLERA DE LA COSTA DE CHILE CENTRAL, Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.	<u>HIPOTESIS GENERAL</u> El estudio geotécnico nos permitirá conocer las unidades geomorfológicas, las características geológicas, estructurales existentes en la zona de estudio, para así determinar el diseño más adecuado y la capacidad del terreno que servirá para realizar la construcción los reservorios. <u>HIPOTESIS ESPECIFICAS</u> • Al examinar las características geomorfológicas, geológicas y geodinámicas presentes en los sectores de estudio suministrara parámetros favorables para el diseño y construcción de los reservorios propuestos. • Al examinar los ensayos geotécnicos se determinará los parámetros de resistencia que permitirá establecer el diseño y construcción de los reservorios. • Al examinar los perfiles geoelectrónicos se logrará inferir las litologías subterráneas	<u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u> Caracterización Geológica- Geotécnica <u>INDICADORES</u> • Geotecnia • Geología • Geología estructural • Geomorfología • Hidrogeología • Geofísica <u>VARIABLE DEPENDIENTE</u> Construcción de reservorios del sistema de riego <u>INDICADORES</u> • Diseño de Taludes • Análisis de cimentación	<u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u> • Exploratorio • Descriptivo <u>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</u> • No experimental • Transaccionales Correlacionales	<u>POBLACIÓN</u> N: 4 RESERVORIOS DE RIEGO <u>MUESTRA</u> • R01: Chichayoc • R02: Pauchipata • R03: Río Kuyumayo • R04: M. Hatunhuaycco <u>TÉCNICAS</u> • Fase pre campo • Fase campo • Fase gabinete <u>INSTRUMENTOS:</u> • Mapa base • Tablero • Formatos Geomecánicas • Libretas de campo • Equipos de campo • Computadora Portátil • Resistivímetro- tomógrafo eléctrico GD-10 • Software



ANEXO B

PANEL FOTOGRAFICO













ANEXO C

Descripciones Macroscópicas de muestras de mano



MUESTRA 01- RESERVORIO 01

Fotografía R01

Muestra de mano de pizarra correspondiente a la Formación Ananea, con aumento de 20x y escala 1/100



Cuadro R01

Muestra de pizarra Reservorio 01

Descripciones macroscópicas de rocas metamórficas	
Estructura:	Foliada
Textura metamórfica:	Lepidoblastica
Tamaño de grano:	Afanítica-muy fino
Tipo de metamorfismo:	Regional
Mineralogía principal:	Clorita, sericita, moscovita y cuarzo
Mineralogía secundaria:	Oxidos
Clasificación:	Roca metamórfica foliada de bajo grado
Grado metamórfico:	Bajo grado
Condiciones de Presión y Temperatura:	5kbar-200°C
Serie composicional:	Pelítico-Grauvaquica
Facies metamórficas:	Prehnita-pumpellita
Probable Protolito:	Pelítico
Color al fresco:	N5 Gris medio
Color a la intemperie:	N6 Gris medianamente claro
Grado de alteración:	Bajo a medio
COORDENADAS UTM ZONA 19L	
Este:	225981.00
Norte:	8476362.00

MUESTRA 02- RESERVORIO 02

Fotografía R02

Muestra de mano de pizarra correspondiente a la Formación Ananea, con aumento de 20x y escala 1/100



Cuadro R02

Muestra de pizarra Reservorio 02

Descripciones macroscópicas de rocas metamórficas	
Estructura:	Foliada
Textura metamórfica:	Lepidoblastica
Tamaño de grano:	Afanítica-muy fino
Tipo de metamorfismo:	Regional
Mineralogía principal:	Clorita, sericita, moscovita y cuarzo
Mineralogía secundaria:	-
Clasificación:	Roca metamórfica foliada de bajo grado
Grado metamórfico:	Bajo grado
Condiciones de Presión y Temperatura:	5kbar-200°C
Serie composicional:	Pelítico-Grauvaquica
Facies metamórficas:	Prehnita-pumpellita
Probable Protolito:	Pelítico
Color al fresco:	5PB 5/2 Azul oscuro
Color a la intemperie:	5PB 5/2 Azul oscuro
Grado de alteración:	Bajo a medio
COORDENADAS UTM ZONA 19L	
Este:	227025.00
Norte:	8476077.00



MUESTRA 03- RESERVORIO 03

Fotografía R03

Muestra de mano de pizarra correspondiente a la Formación Ananea, con aumento de 20x y escala 1/100



Cuadro R03

Muestra de pizarra Reservoirio 03

Descripciones macroscópicas de rocas metamórficas	
Estructura:	Foliada
Textura metamórfica:	Lepidoblastica
Tamaño de grano:	Afanítica-muy fino
Tipo de metamorfismo:	Regional
Mineralogía principal:	Clorita, sericita, moscovita y cuarzo
Mineralogía secundaria:	Oxidos-Venillas de calcita
Clasificación:	Roca metamórfica foliada de bajo grado
Grado metamórfico:	Bajo grado
Condiciones de Presión y Temperatura:	5kbar-200°C
Serie composicional:	Pelítico-Grauvaquica
Facies metamórficas:	Prehnita-pumpellita
Probable Protolito:	Pelítico
Color al fresco:	5PB 5/2 Azul oscuro
Color a la intemperie:	5PB 5/2 Azul oscuro
Grado de alteración:	Bajo a medio
COORDENADAS UTM ZONA 19L	
Este:	227930.00
Norte:	8477260.00



MUESTRA 04- RESERVORIO 04

Fotografía R04

Muestra de mano de pizarra correspondiente a la Formación Ananea, con aumento de 20x y escala 1/100



Cuadro R04

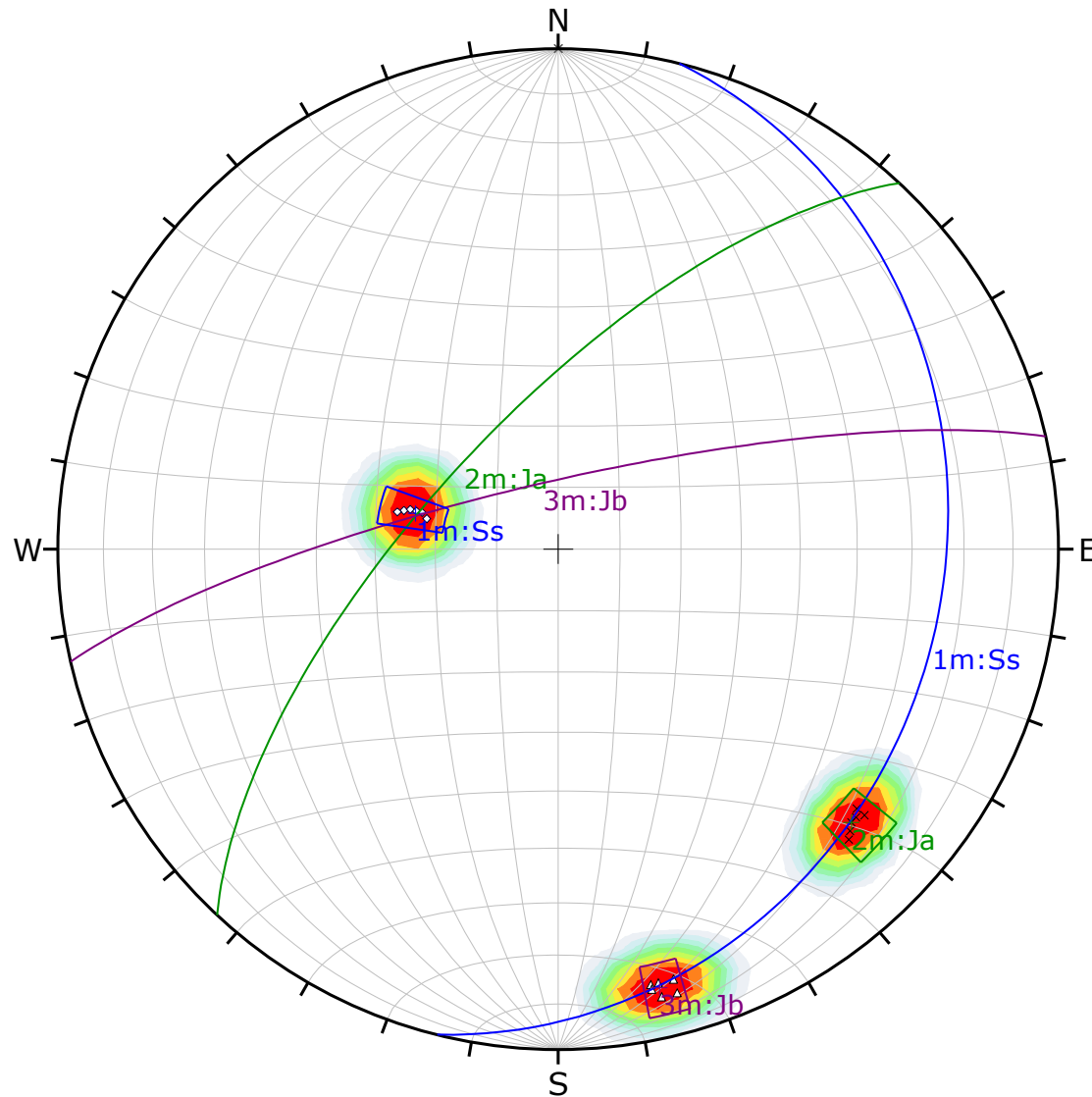
Muestra de pizarra Reservoirio 04

Descripciones macroscópicas de rocas metamórficas	
Estructura:	Foliada
Textura metamórfica:	Lepidoblastica
Tamaño de grano:	Afanítica-muy fino
Tipo de metamorfismo:	Regional
Mineralogía principal:	Clorita, sericita, moscovita y cuarzo
Mineralogía secundaria:	Oxidos
Clasificación:	Roca metamórfica foliada de bajo grado
Grado metamórfico:	Bajo grado
Condiciones de Presión y Temperatura:	5kbar-200°C
Serie composicional:	Pelítico-Grauvaquica
Facies metamórficas:	Prehnita-pumpellita
Probable Protolito:	Pelítico
Color al fresco:	5PB 5/2 Azul oscuro
Color a la intemperie:	10 YR8/2 naranja muy pálida
Grado de alteración:	Bajo a medio
COORDENADAS UTM ZONA 19L	
Este:	227416.00
Norte:	8476770.00



ANEXO D

Análisis Estereográfico



Symbol	Set	Quantity
◇	1	6
×	2	6
△	3	6

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.30
	3.30 - 6.60
	6.60 - 9.90
	9.90 - 13.20
	13.20 - 16.50
	16.50 - 19.80
	19.80 - 23.10
	23.10 - 26.40
	26.40 - 29.70
	29.70 - 33.00

Maximum Density	32.84%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	Blue	24	104	Ss
2m	Green	69	313	Ja
3m	Purple	79	347	Jb

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	18 (18 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Project
"CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"

Analysis Description

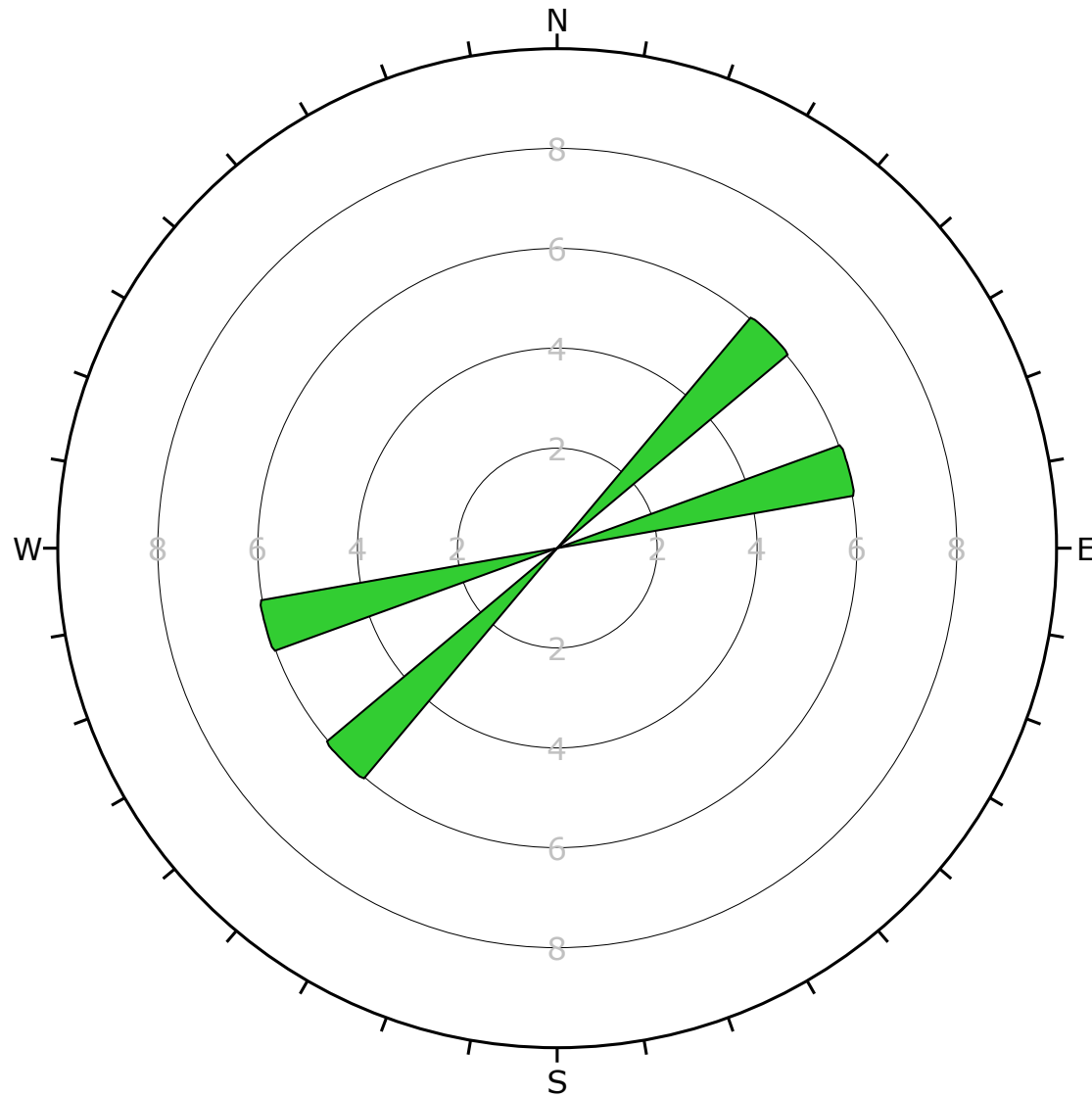
ANALISIS ESTEREOGRAFICO

Drawn By
Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez

Aprobado por:
Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado

Date
3/11/2023, 22:34:56

File Name
ESTACION GEOMECANICA 1 CALLATIAC

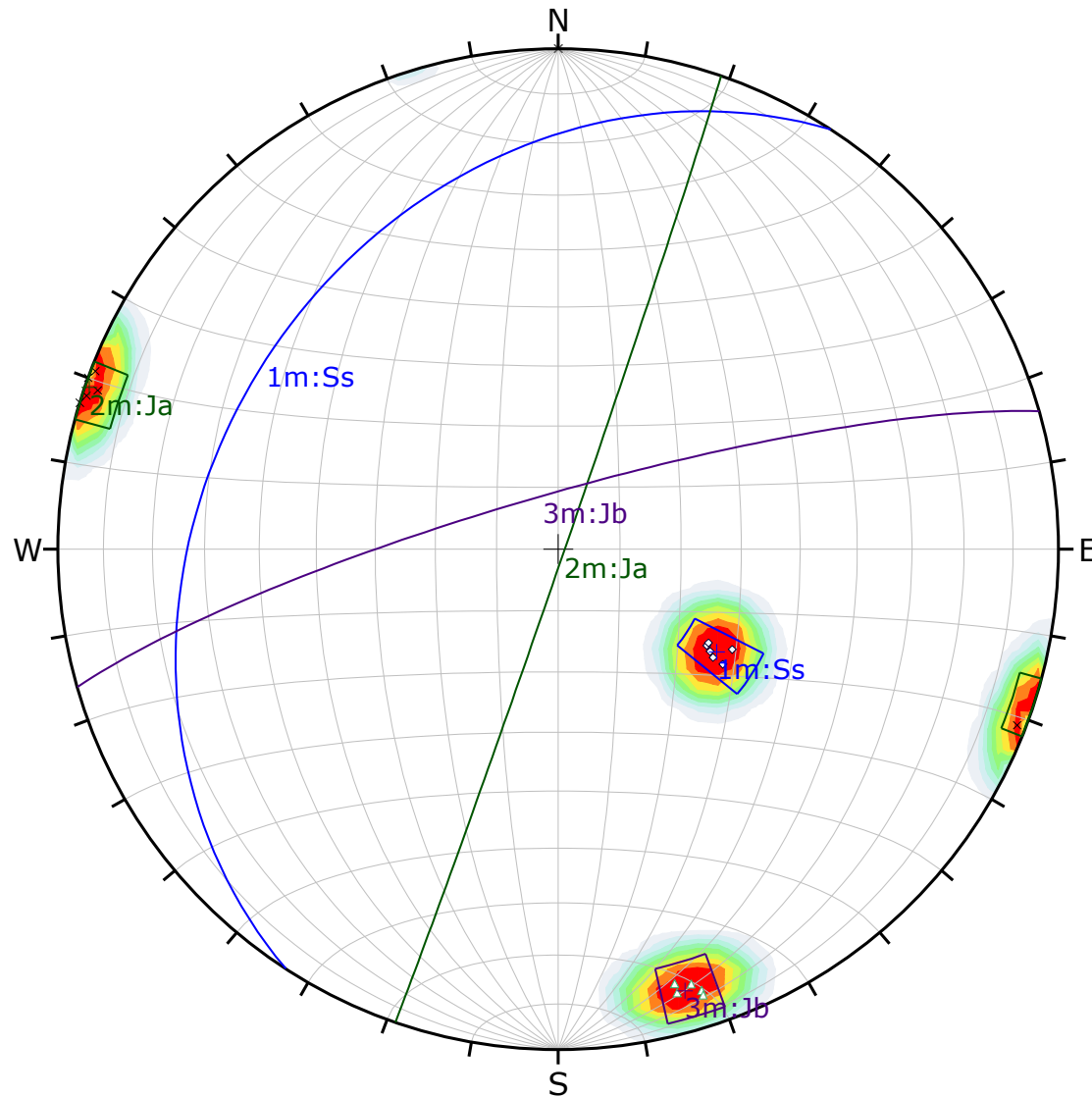


Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	12
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



DIPS 6.008

Project "CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"			
Analysis Description		ANALISIS ESTEREOGRAFICO	
Drawn By	Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Aprobado por:	Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado
Date	3/11/2023, 22:34:56	File Name	ESTACION GEOMECANICA 1 CALLATIAC



Symbol	Set	Quantity
◇	1	6
×	2	6
△	3	6

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.30
	3.30 - 6.60
	6.60 - 9.90
	9.90 - 13.20
	13.20 - 16.50
	16.50 - 19.80
	19.80 - 23.10
	23.10 - 26.40
	26.40 - 29.70
	29.70 - 33.00

Maximum Density	32.80%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	Blue	31	303	Ss
2m	Green	89	109	Ja
3m	Purple	81	344	Jb

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	18 (18 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Project
"CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"

Analysis Description

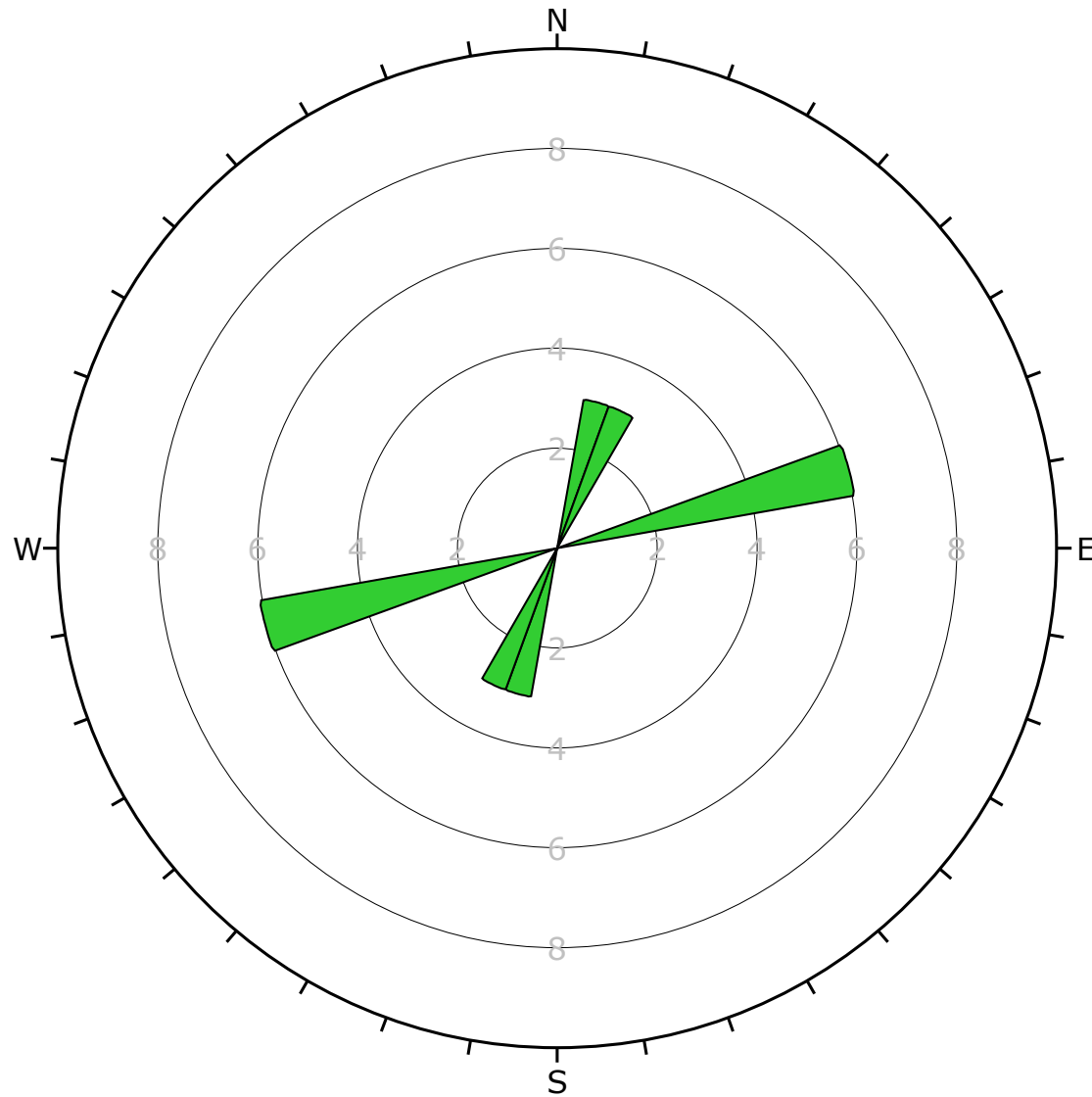
ANALISIS ESTEREOGRAFICO

Drawn By
Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez

Aprobado por:
Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado

Date
3/11/2023, 22:54:40

File Name
ESTACION GEOMECANICA 2 CALLATIAC

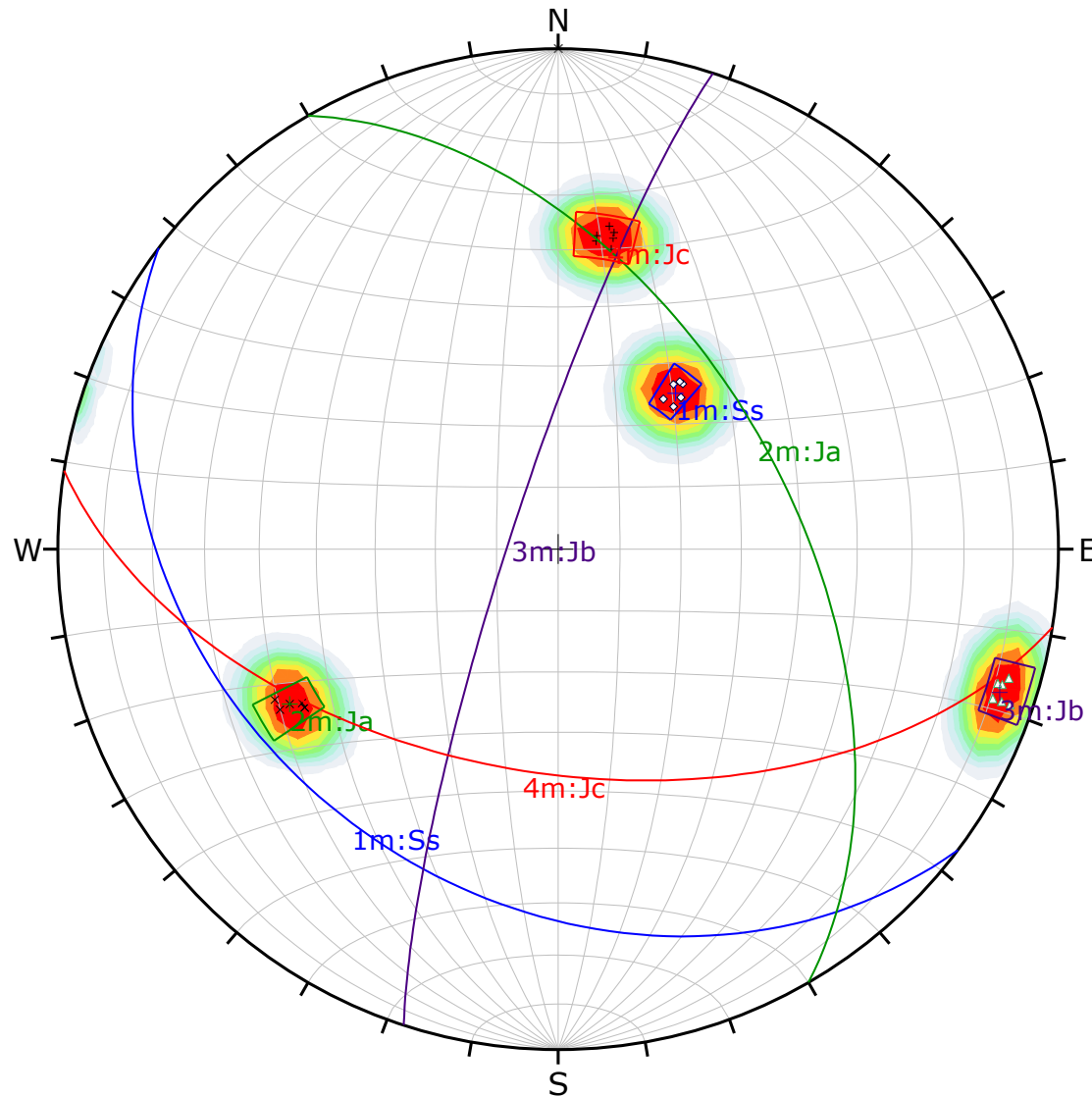


Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	12
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



DIPS 6.008

Project "CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	
Analysis Description ANALISIS ESTEREOGRAFICO	
Drawn By Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Aprobado por: Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado
Date 3/11/2023, 22:54:40	File Name ESTACION GEOMECANICA 2 CALLATIAC



Symbol	Set	Quantity
◇	1	6
×	2	6
△	3	6
+	4	6

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.50
	2.50 - 5.00
	5.00 - 7.50
	7.50 - 10.00
	10.00 - 12.50
	12.50 - 15.00
	15.00 - 17.50
	17.50 - 20.00
	20.00 - 22.50
	22.50 - 25.00
Maximum Density 24.59%	
Contour Data Pole Vectors	
Contour Distribution Fisher	
Counting Circle Size 1.0%	

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	Blue	32	217	Ss
2m	Green	52	60	Ja
3m	Purple	82	288	Jb
4m	Red	53	189	Jc

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	24 (24 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Project
"CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"

Analysis Description

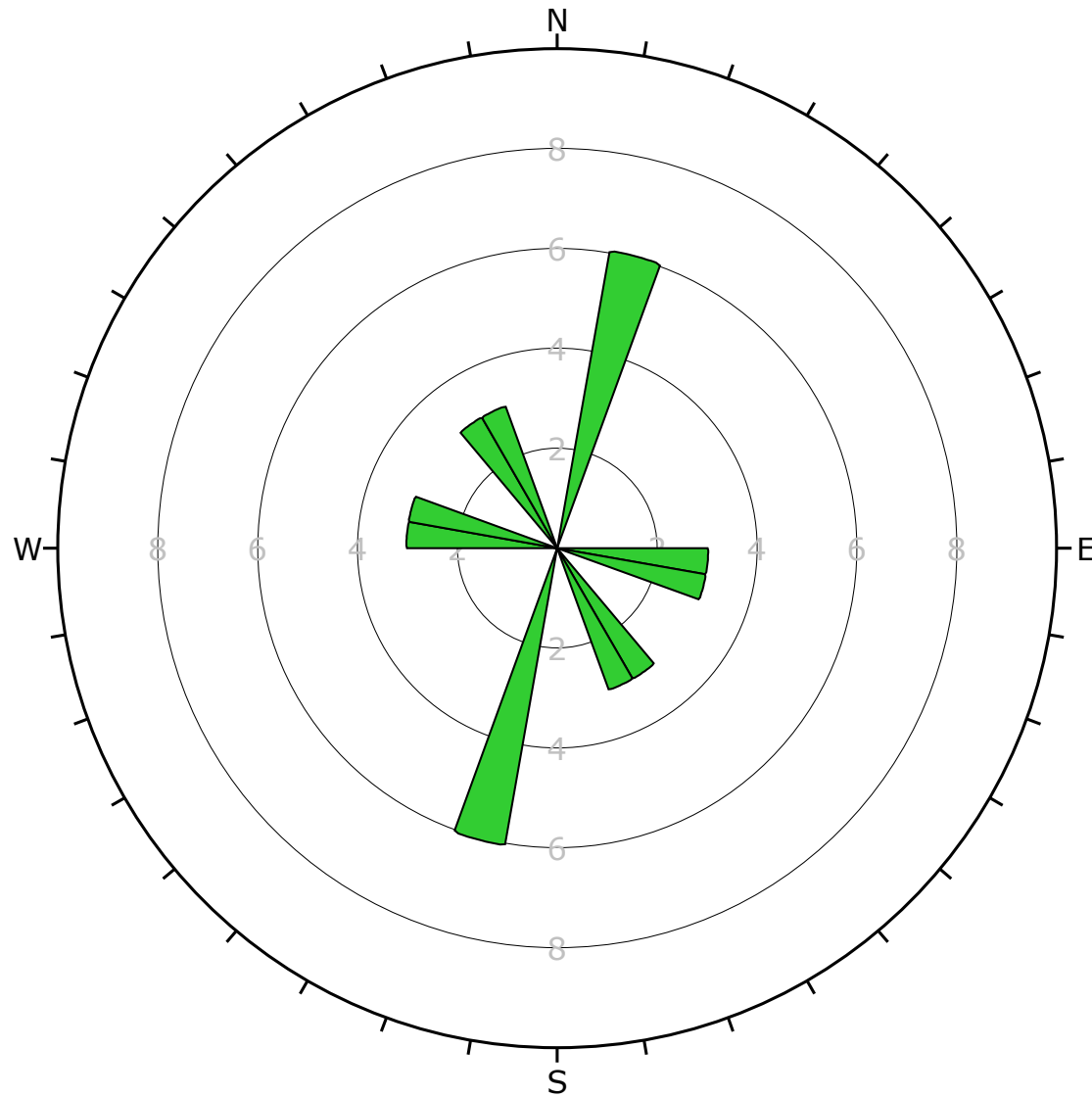
ANALISIS ESTEREOGRAFICO

Drawn By
Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez

Aprobado por:
Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado

Date
3/11/2023, 23:02:47

File Name
ESTACION GEOMECANICA 3 CALLATIAC

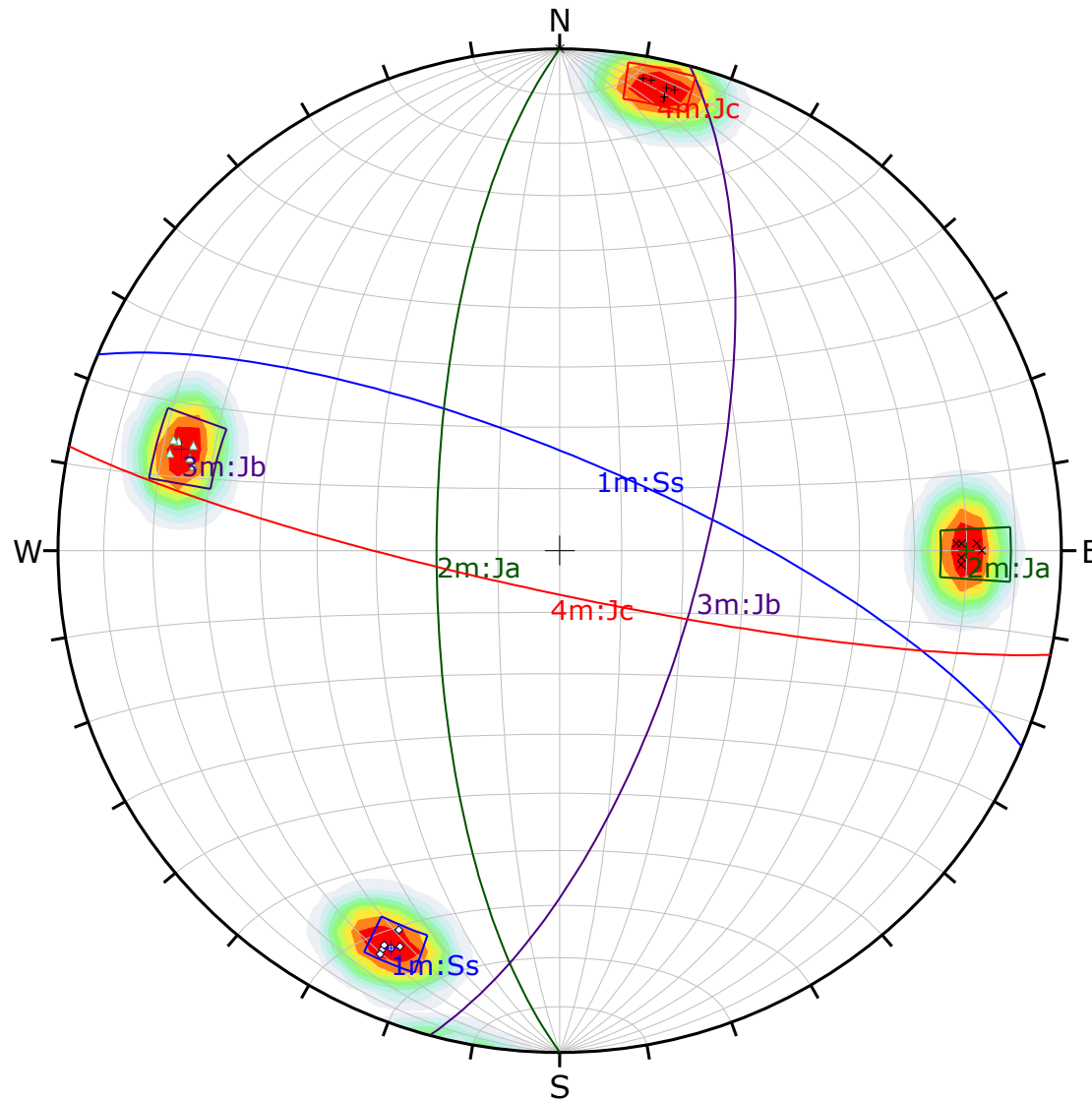


Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	18
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



DIPS 6.008

Project "CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"			
Analysis Description		ANALISIS ESTEREOGRAFICO	
Drawn By	Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Aprobado por:	Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado
Date	3/11/2023, 23:02:47	File Name	ESTACION GEOMECANICA 3 CALLATIAC



Symbol	Set	Quantity
◇	1	6
×	2	6
△	3	6
+	4	6

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.50
	2.50 - 5.00
	5.00 - 7.50
	7.50 - 10.00
	10.00 - 12.50
	12.50 - 15.00
	15.00 - 17.50
	17.50 - 20.00
	20.00 - 22.50
	22.50 - 25.00
Maximum Density 24.59%	
Contour Data Pole Vectors	
Contour Distribution Fisher	
Counting Circle Size 1.0%	

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	Blue	75	23	Ss
2m	Green	70	270	Ja
3m	Purple	67	105	Jb
4m	Red	83	192	Jc

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	24 (24 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area



Project: "CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"

Analysis Description

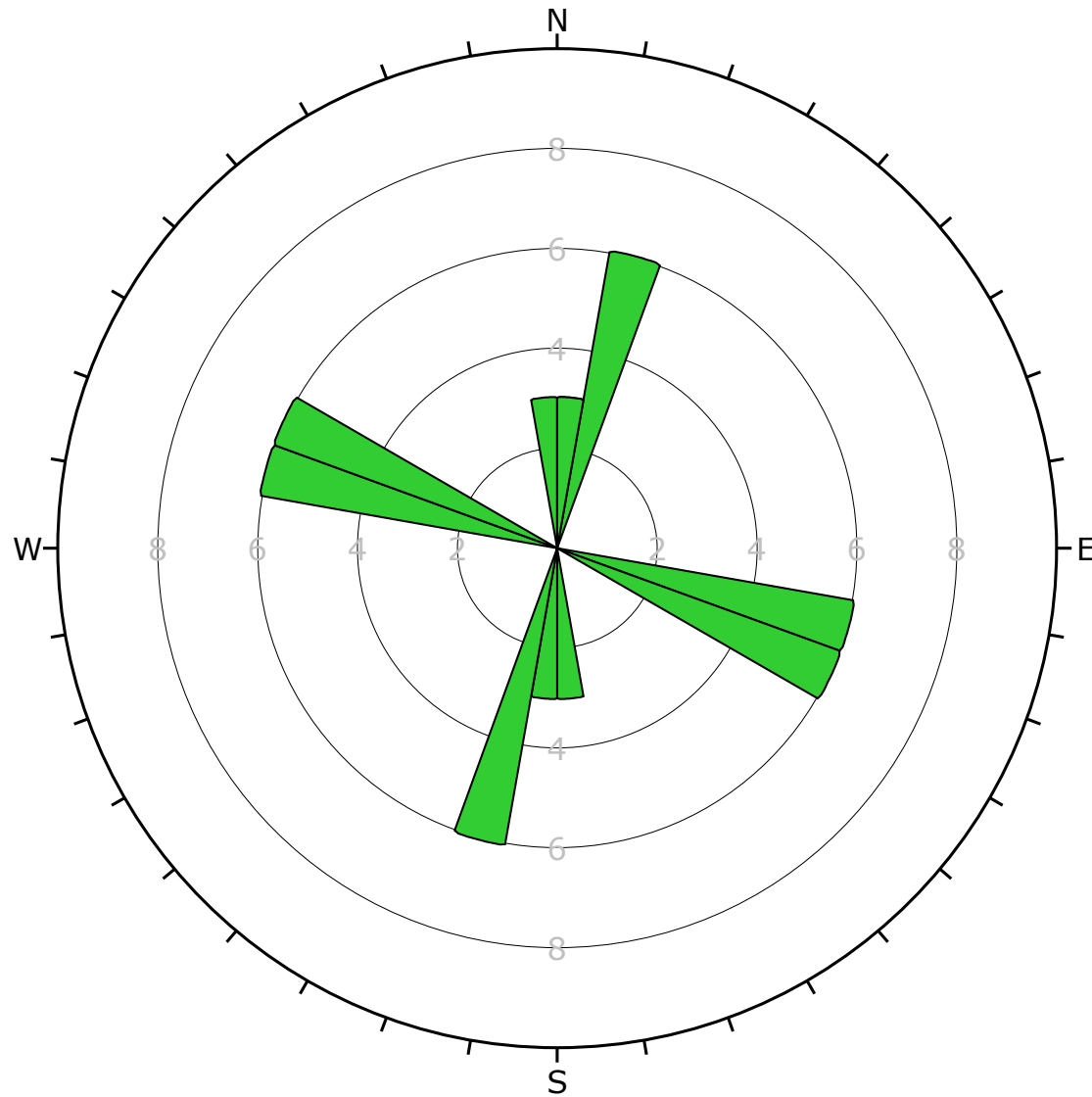
ANALISIS ESTEREOGRAFICO

Drawn By: Br. Pamela Segundo Araujo
Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez

Aprobado por: Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado

Date: 3/11/2023, 22:58:50

File Name: ESTACION GEOMECANICA 4 CALLATIAC



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	10 planes per arc
Planes Plotted	24
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°



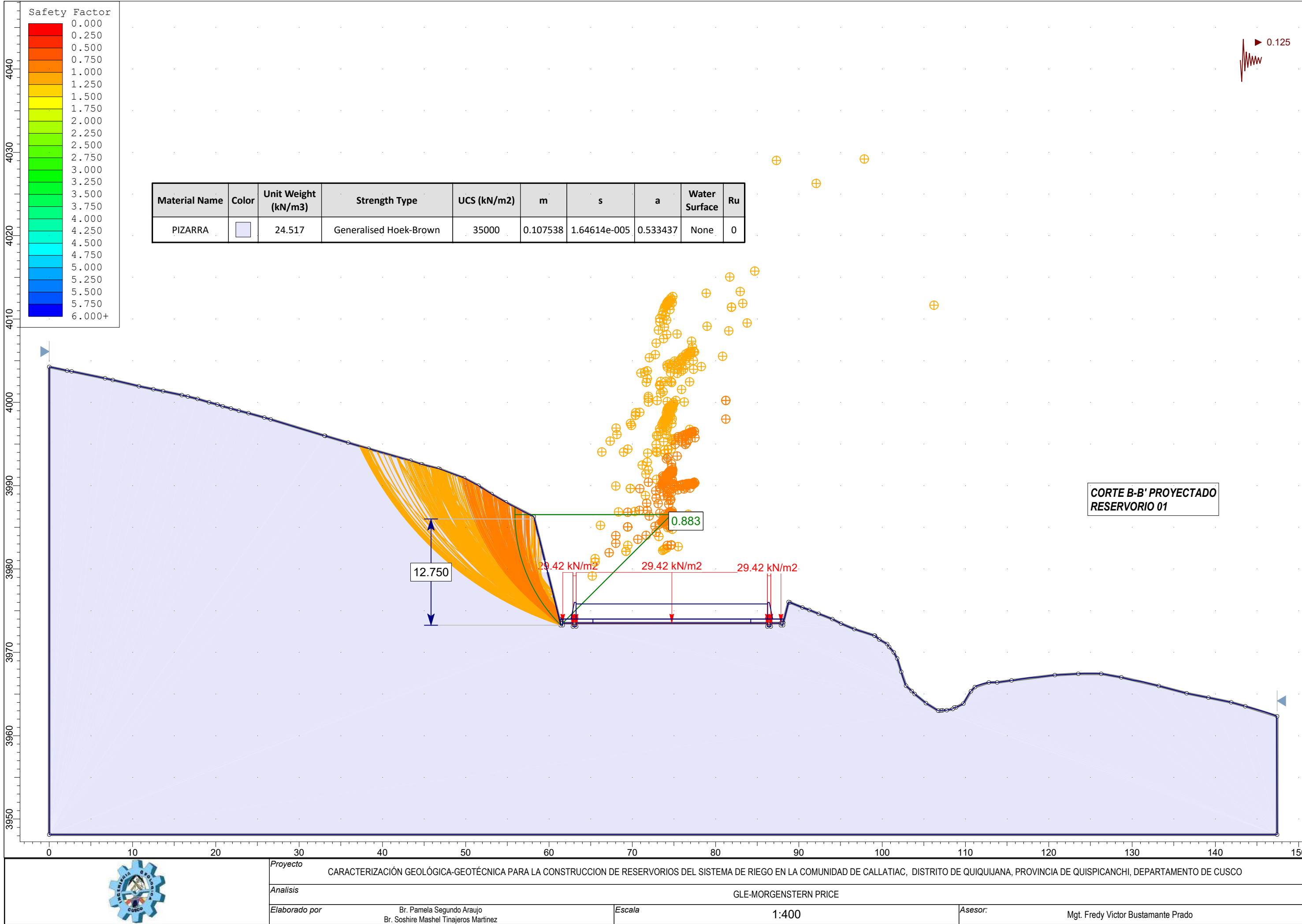
DIPS 6.008

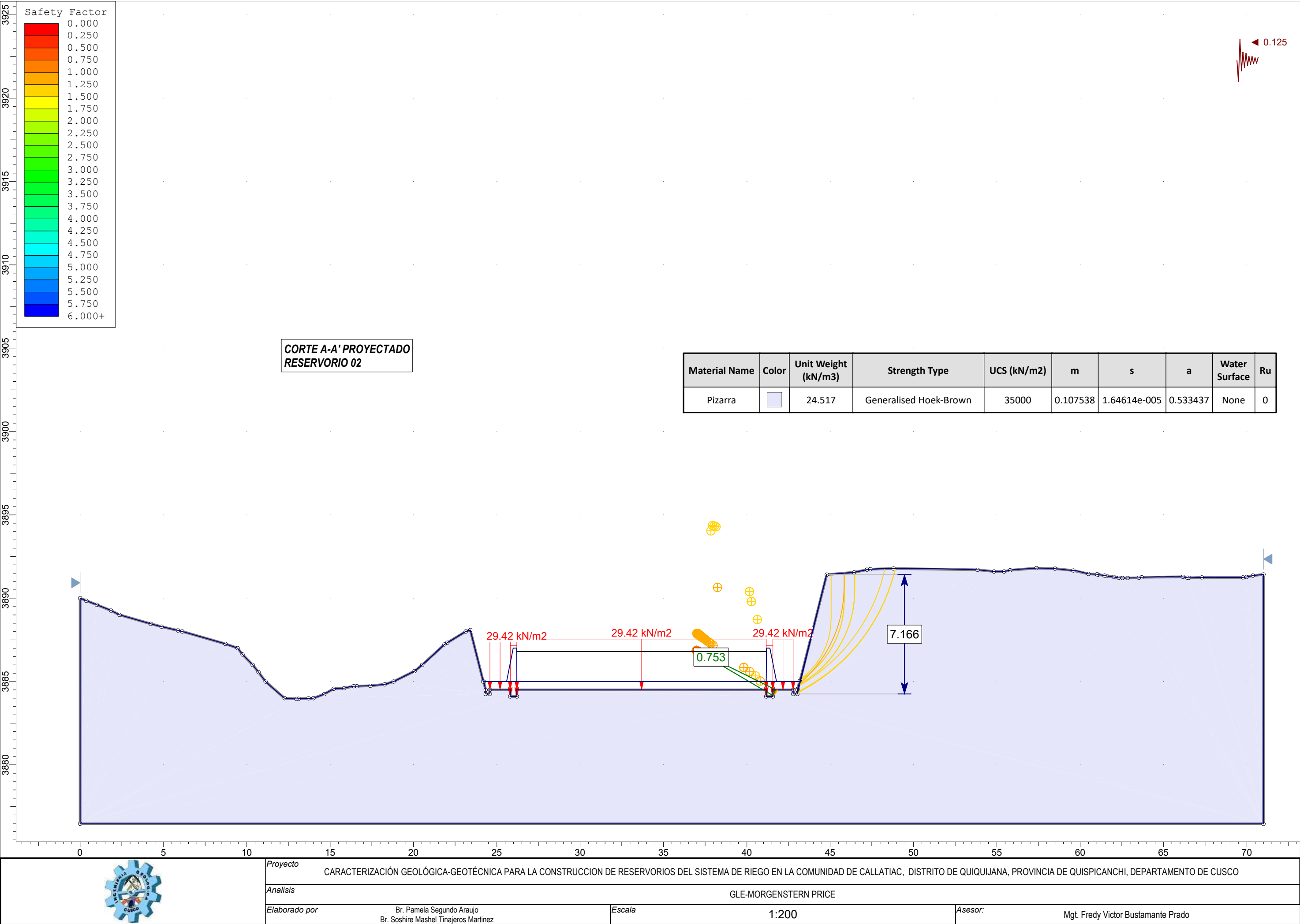
Project "CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"			
Analysis Description ANALISIS ESTEREOGRAFICO			
Drawn By	Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Aprobado por:	Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado
Date	3/11/2023, 22:58:50	File Name	ESTACION GEOMECANICA 4 CALLATIAC

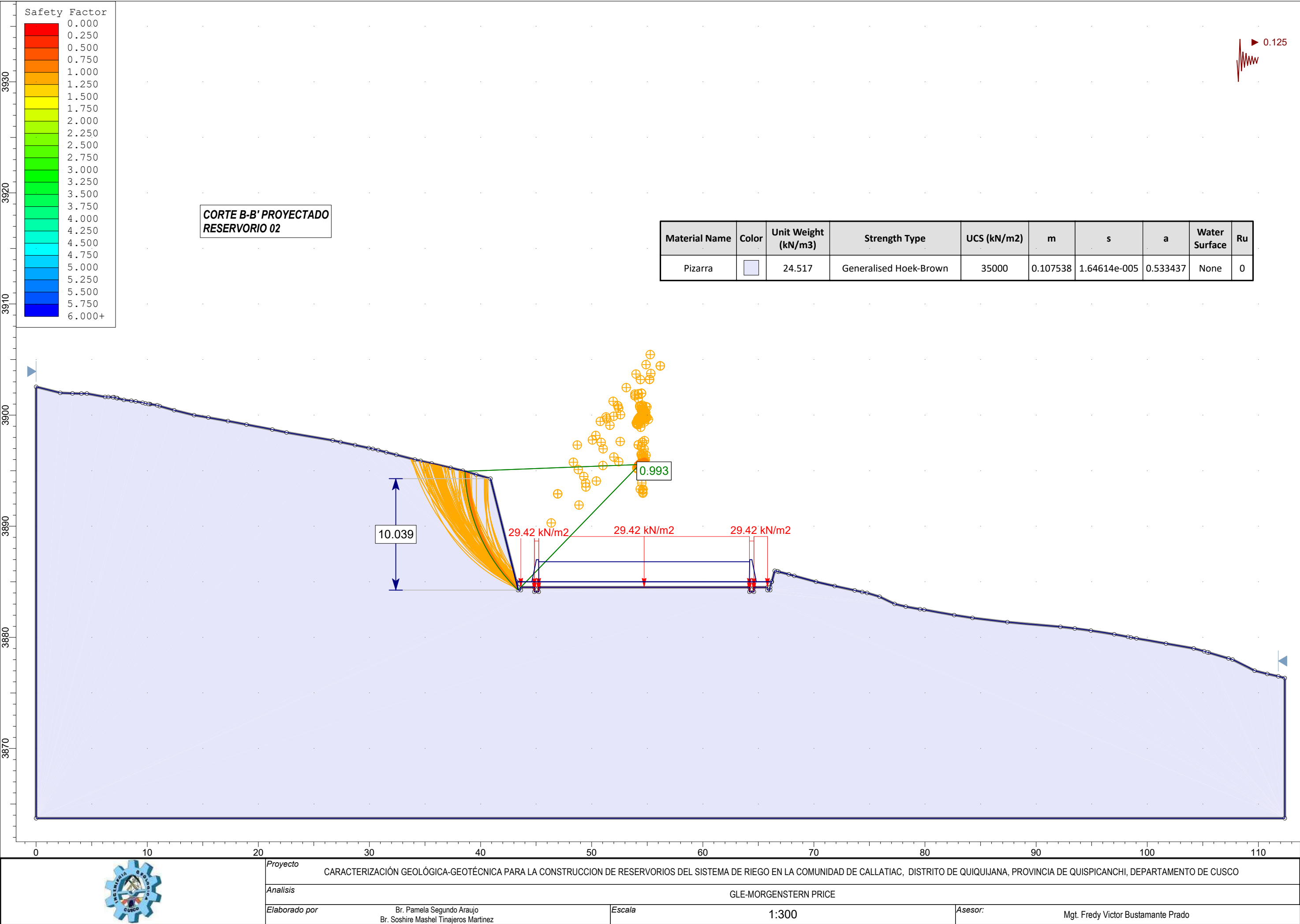


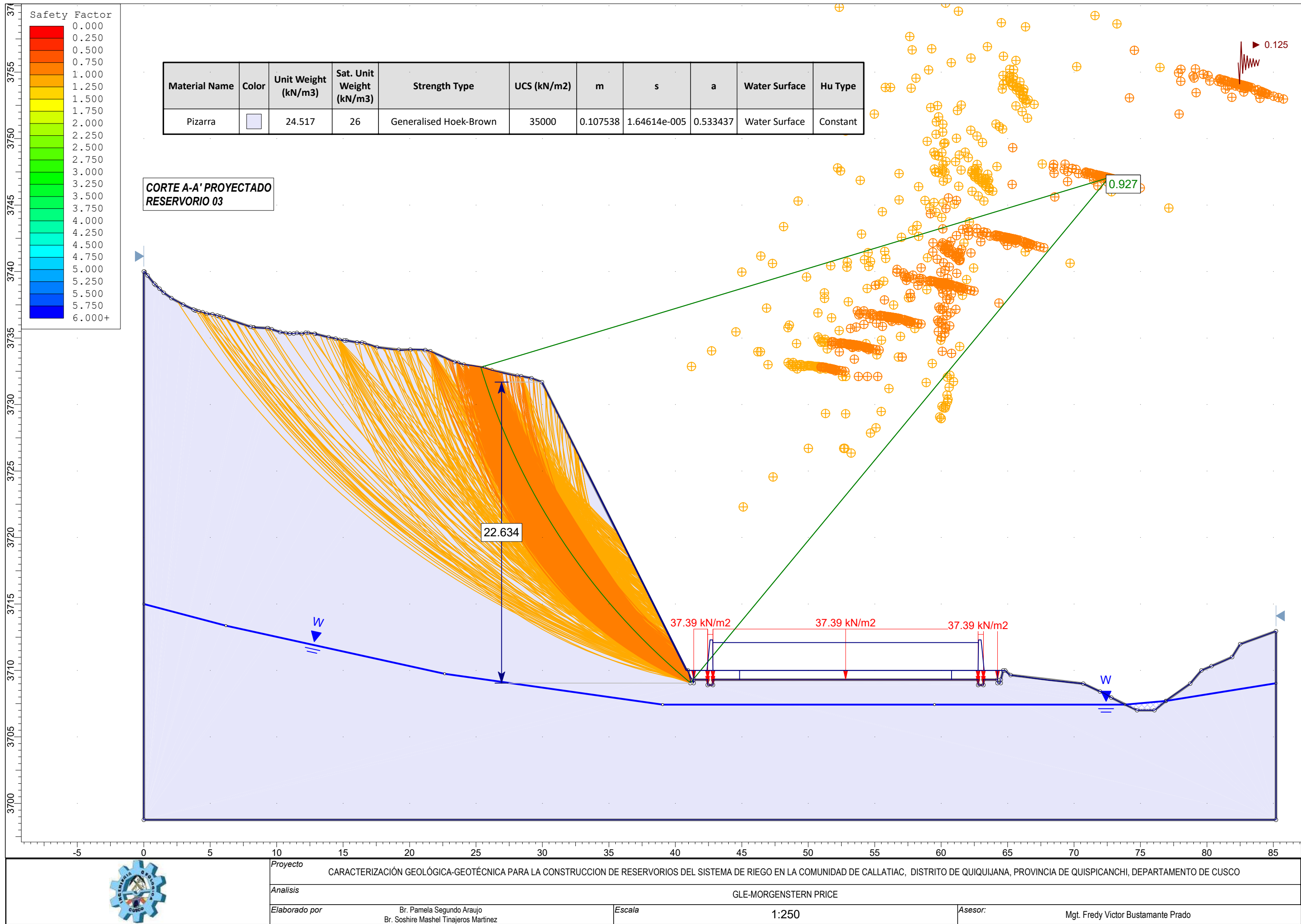
ANEXO E

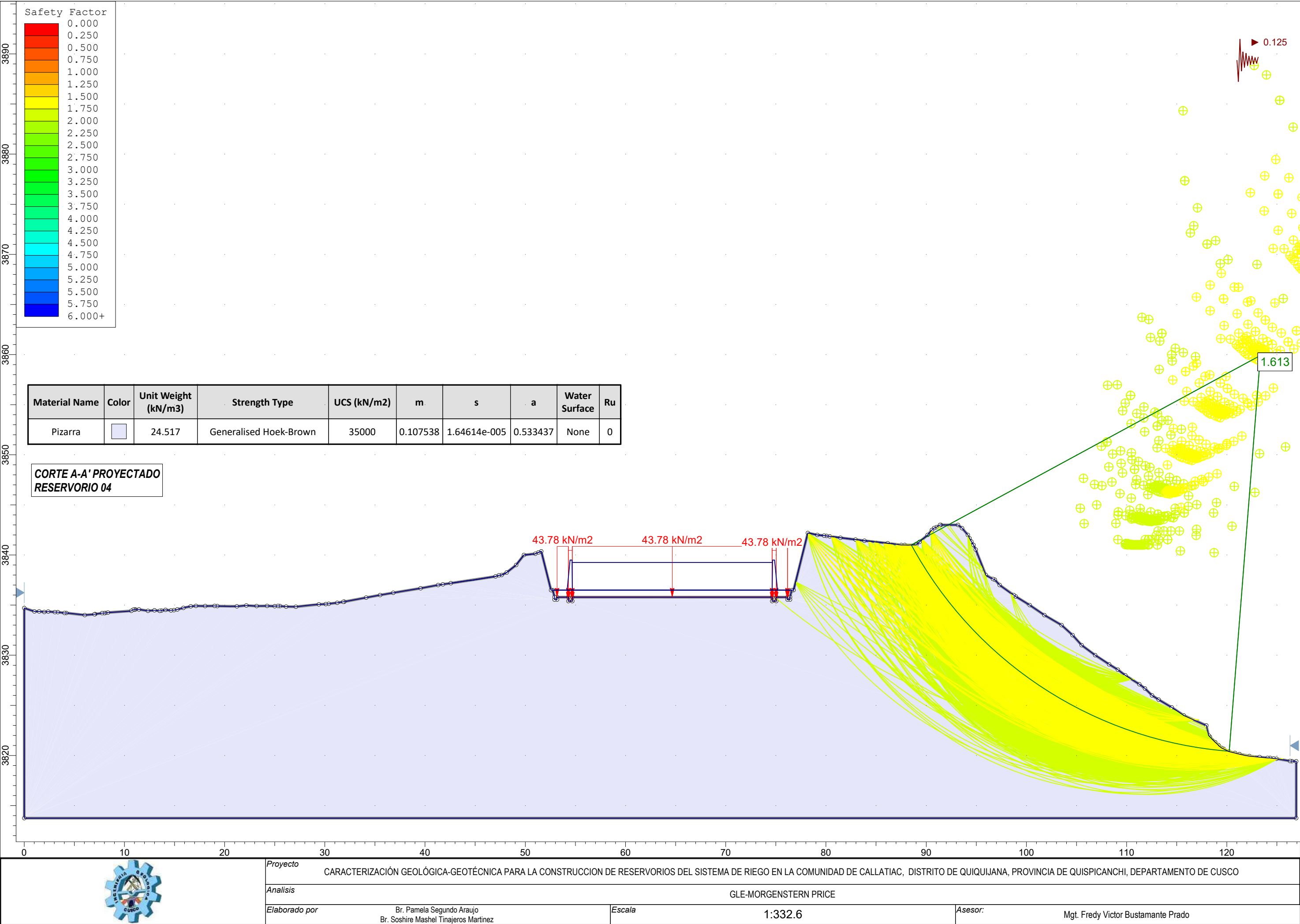
ANÁLISIS DE TALUDES SLIDE

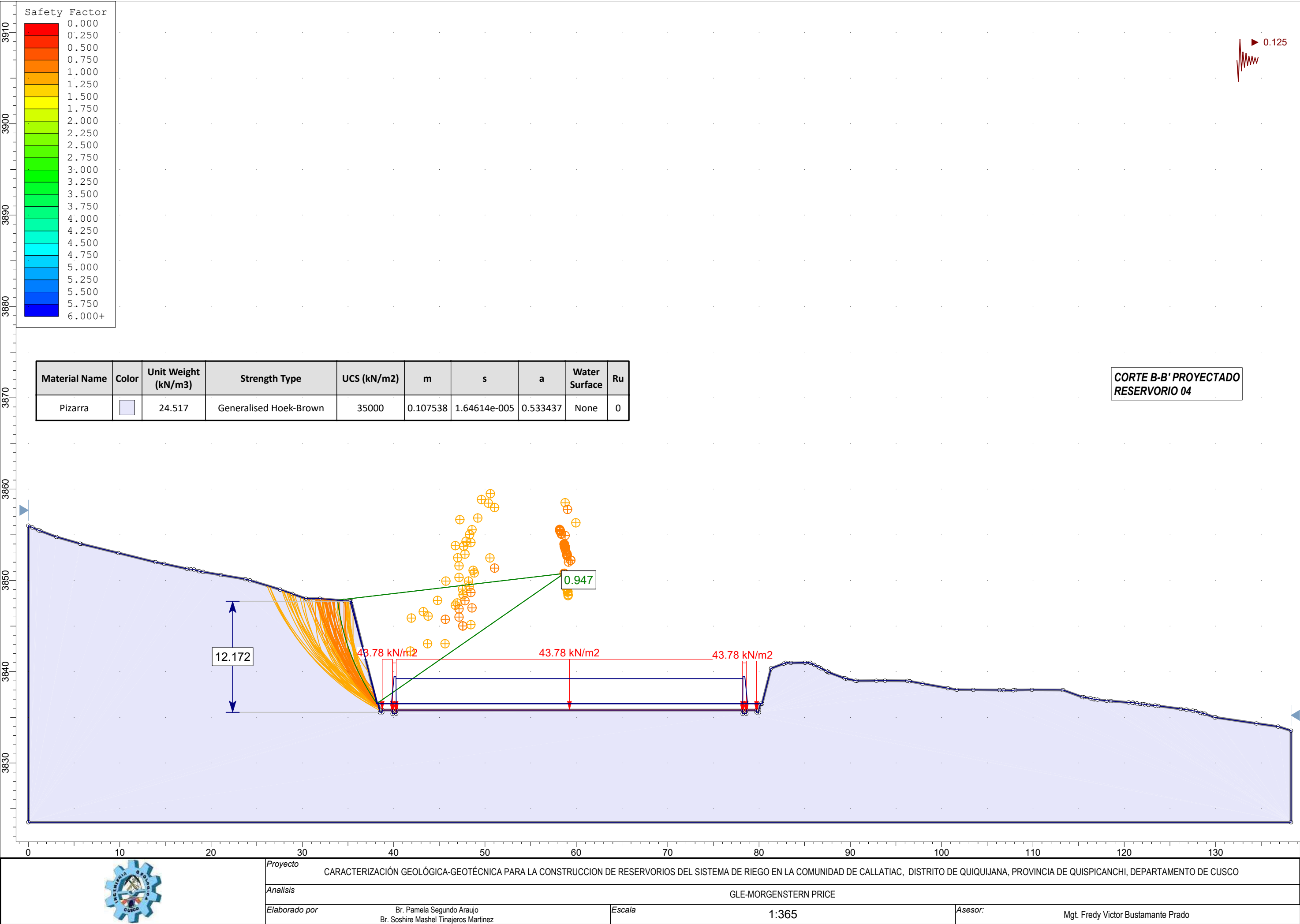


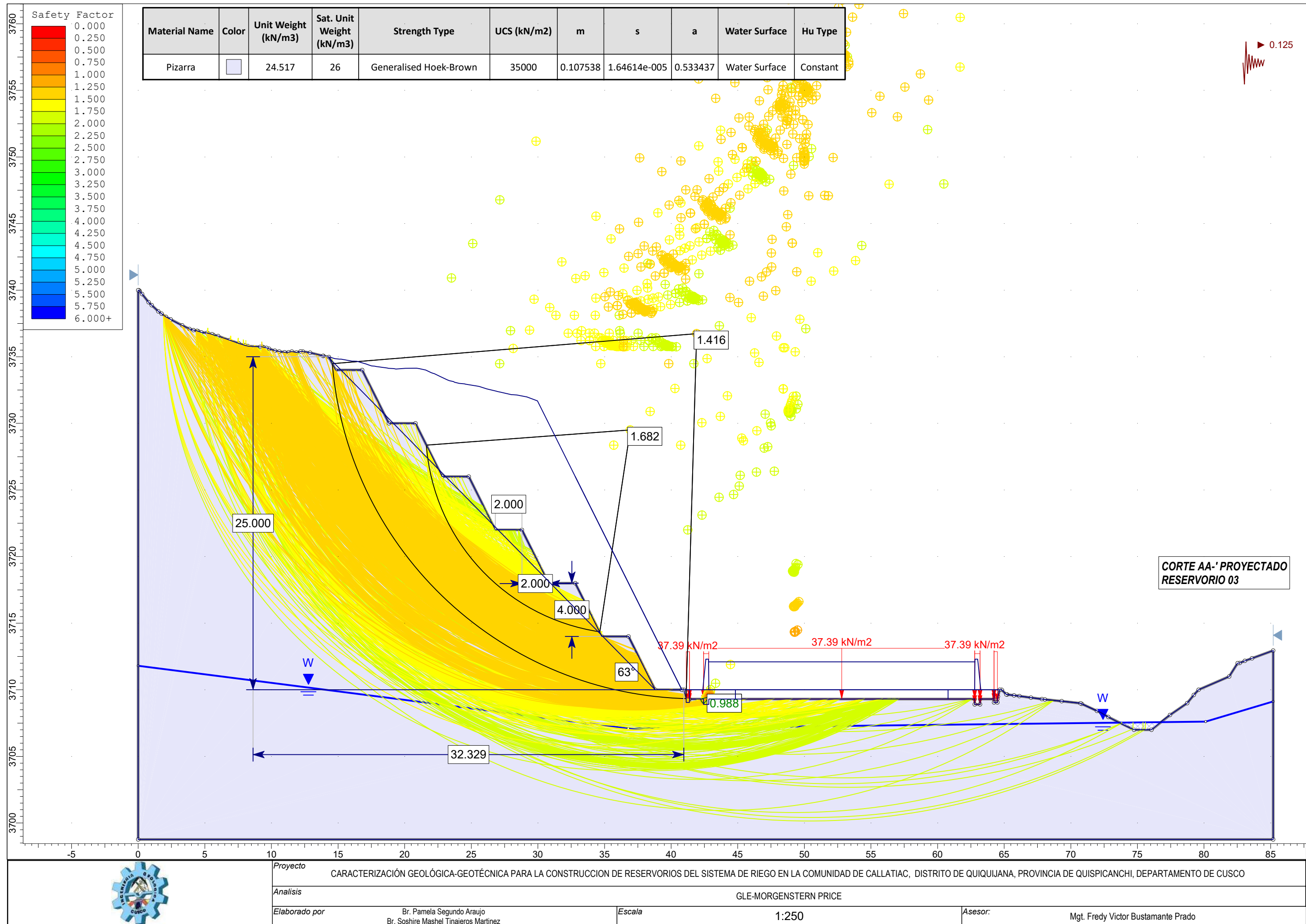










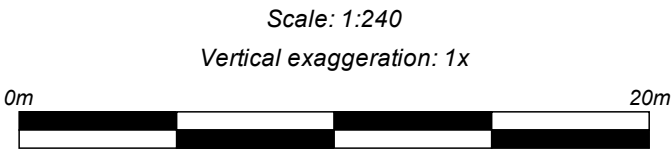
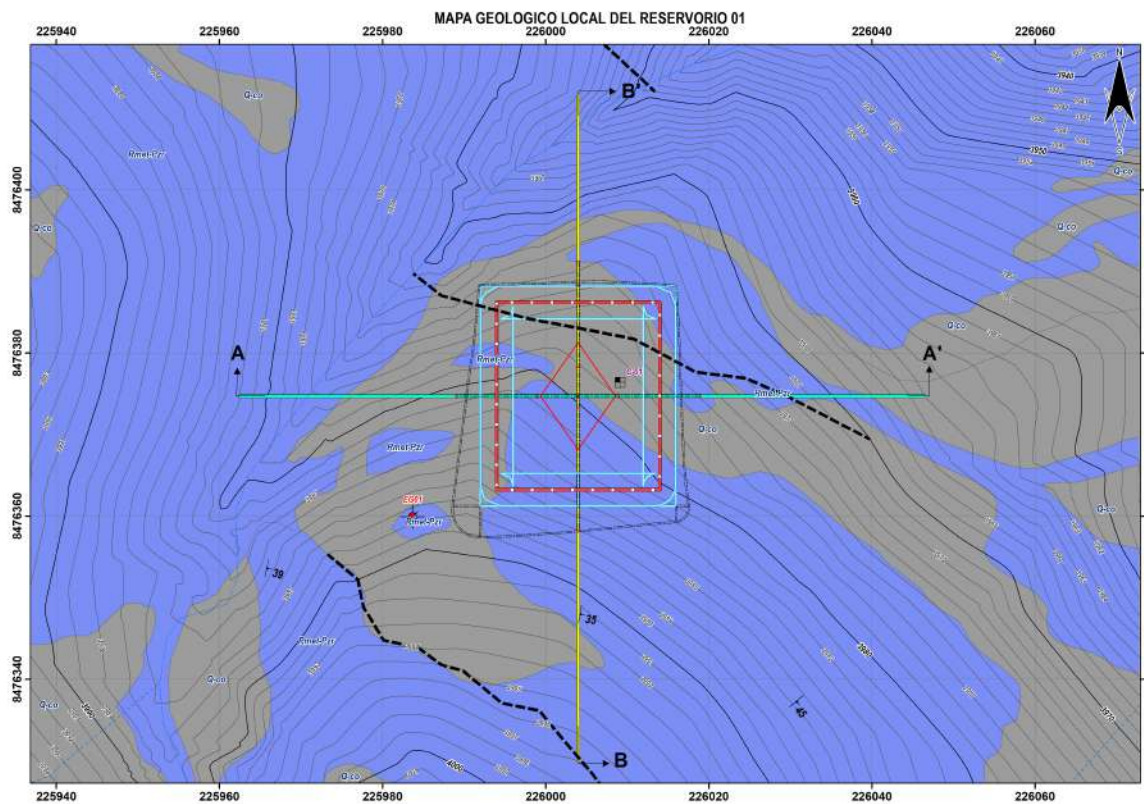
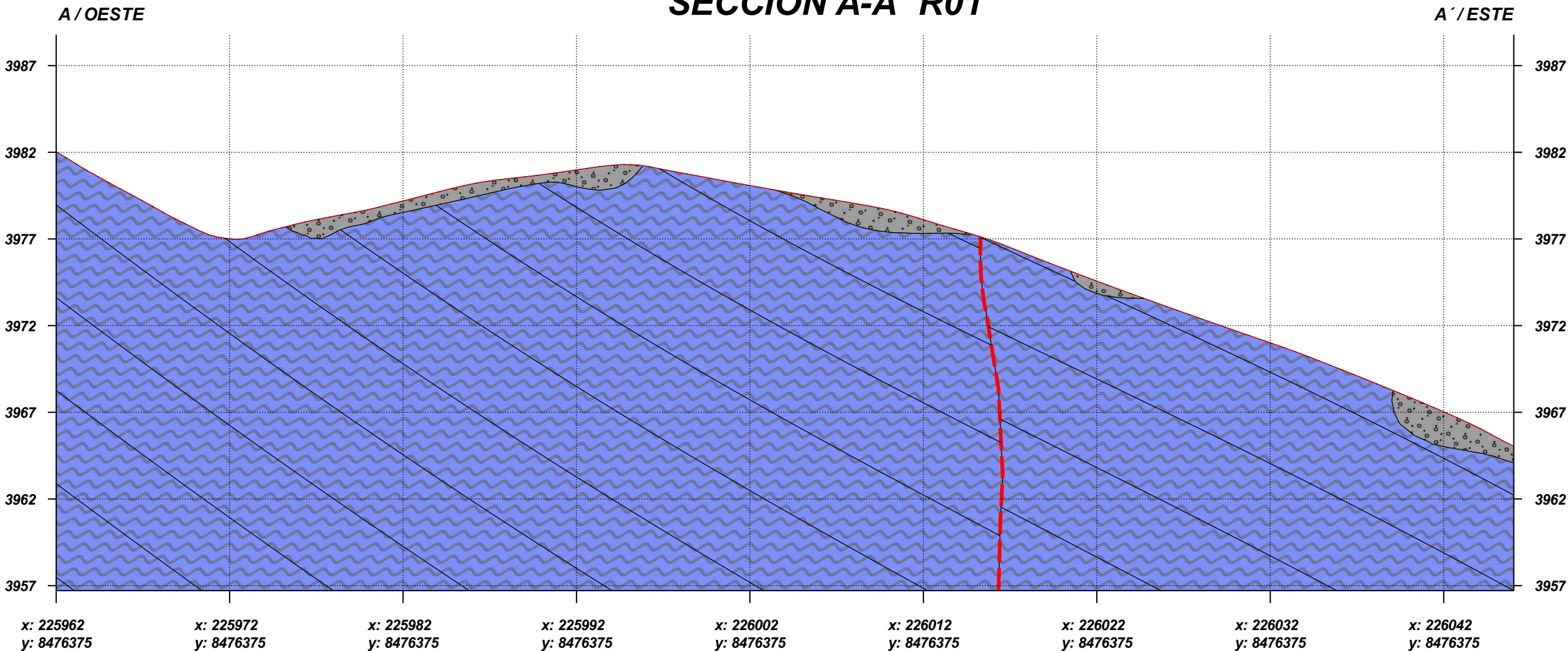




ANEXO F

Secciones del modelo geológico 3D y tomografía eléctrica

SECCION A-A' R01



Localizacion

A/OESTE: 225962, 8476375

A'/ESTE: 226046, 8476375

LEYENDA

MODELO3D-RESERVORIO 01

Depositos Aluviales(Q-co)

Pizarras(Rmet-Pzr)

Surfaces

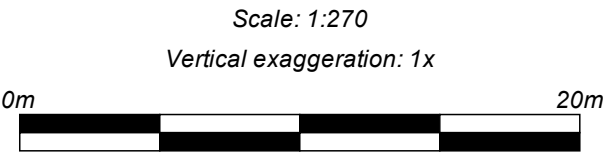
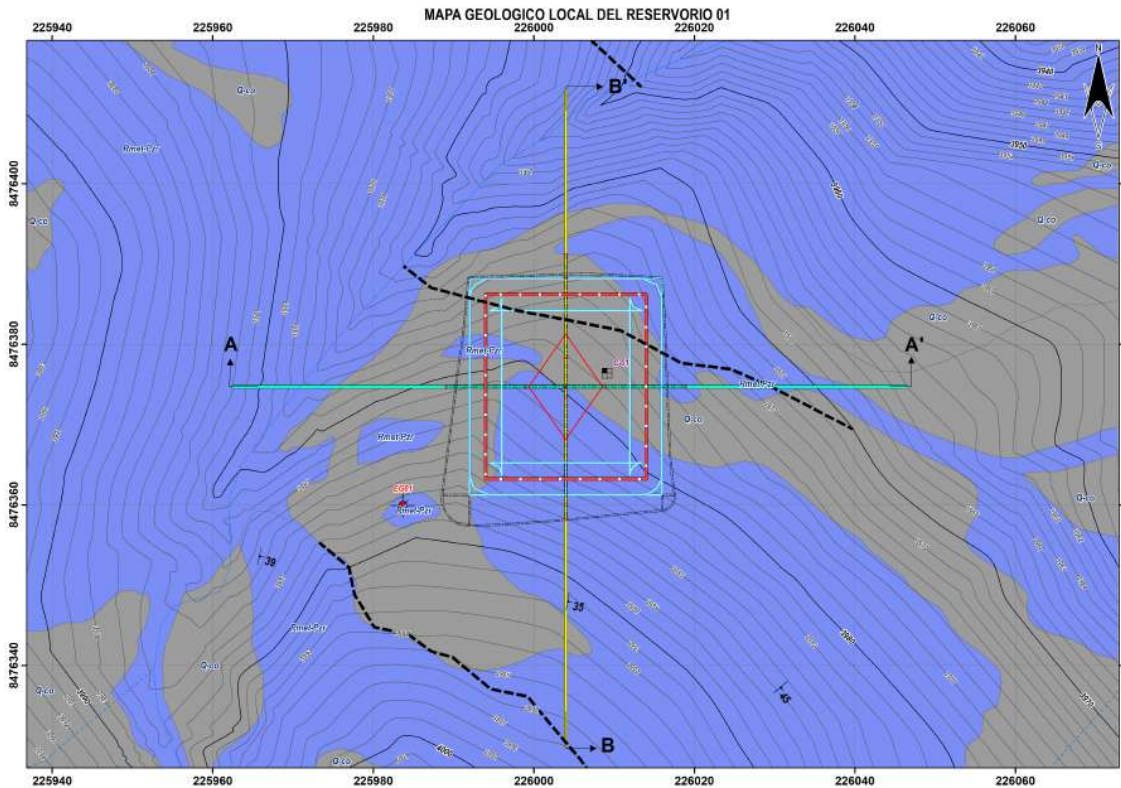
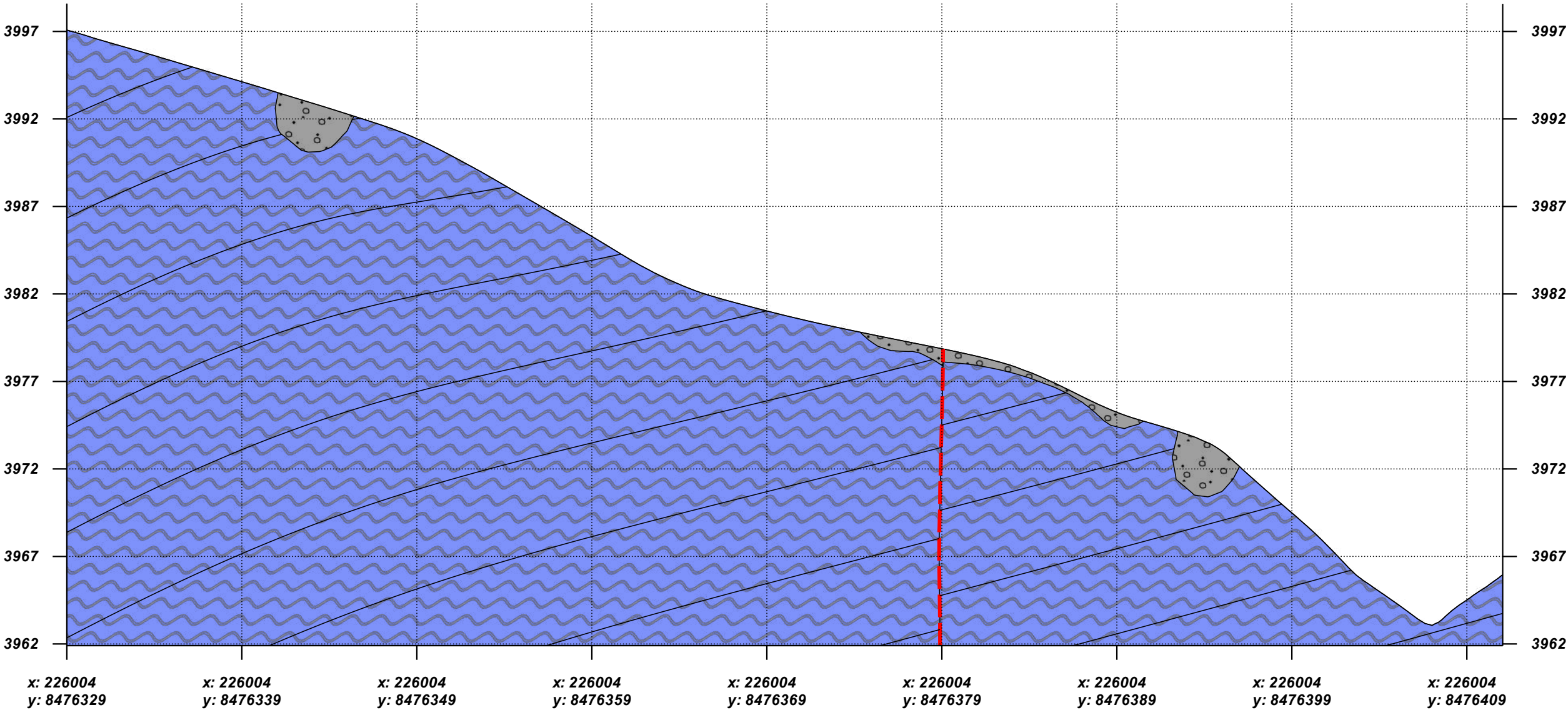
MODELO3D-RESERVORIO 01 - FALLA02

Responsible dept. Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	Technical reference UTM WGS 84 19L	Creator Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Approved by Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	
Legal owner 	Document type Seccion Geologica	Document status RESERVORIO 01	Identification number SEC-01	
	Title "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIA"	Rev. 01	Date of issue 07/03-2024	Sheet 01

B / SUR

SECCION B-B' R01

B' / NORTE



Leyenda

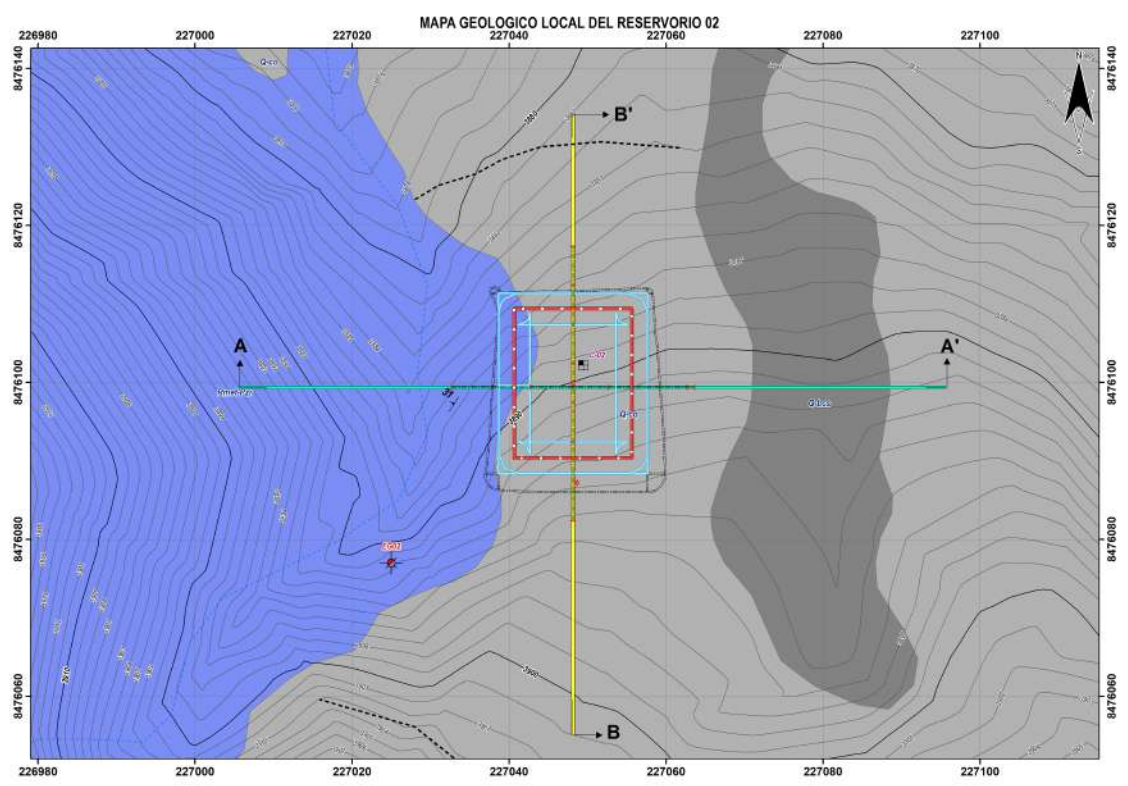
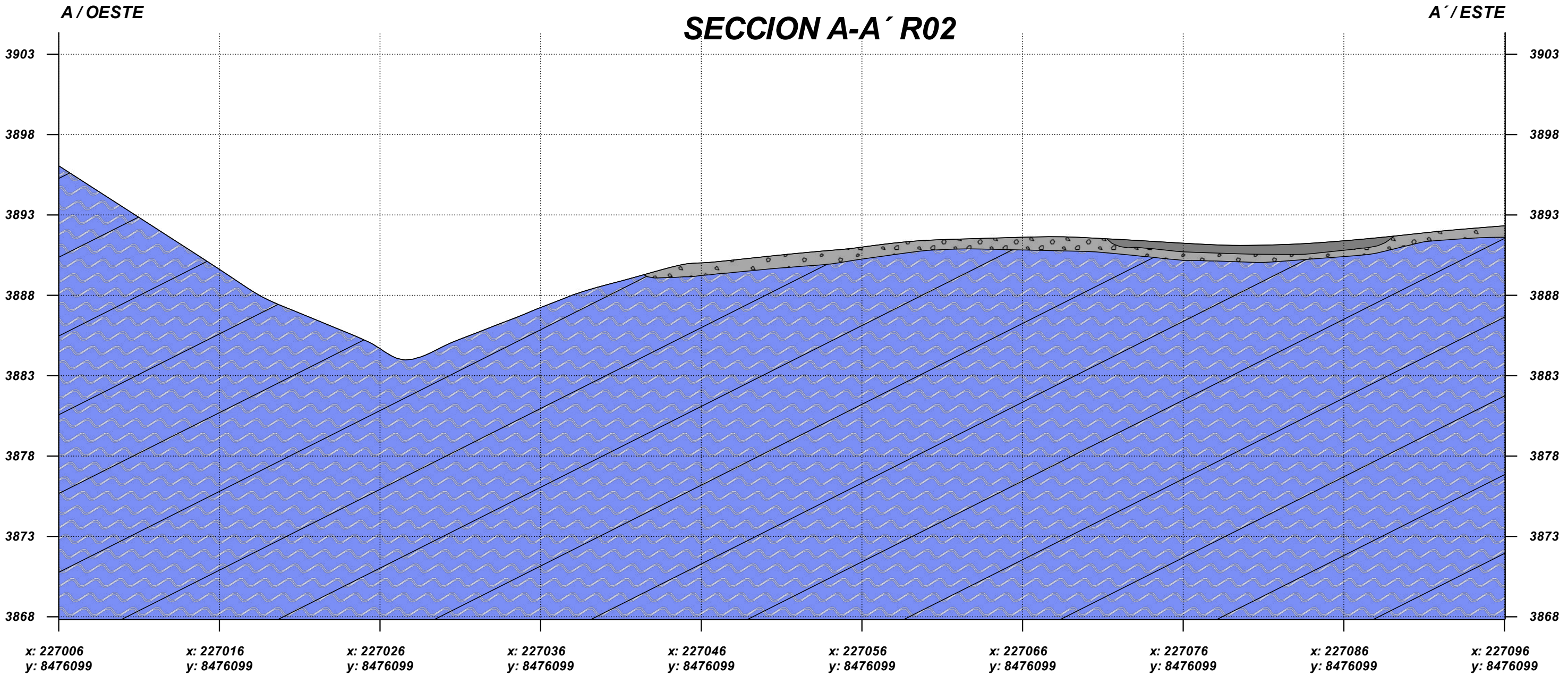
- MODELO3D-RESERVORIO 01
- Depositos Aluviales(Q-co)
 - Pizarras(Rmet-Pzr)

Localizacion

B / SUR: 226004, 8476329
B' / NORTE: 226004, 8476411

Surfaces
MODELO3D-RESERVORIO 01 - FALLA02

Responsible dept. Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	Technical reference UTM WGS 84 19L	Creator Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Approved by Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	
Legal owner 	Document type Seccion Geologica B-B'		Document status RESERVORIO 01	
		Title "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC"		Identification number SEC-02
		Rev. 02	Date of issue 07/03/2024	Sheet 02



LEYENDA

MODELO 3D - RESERVORIO 02

Q-co

Q-lcs

Rmet-Pzr

Localizacion

A / OESTE: 227006, 8476099

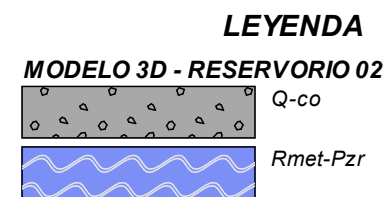
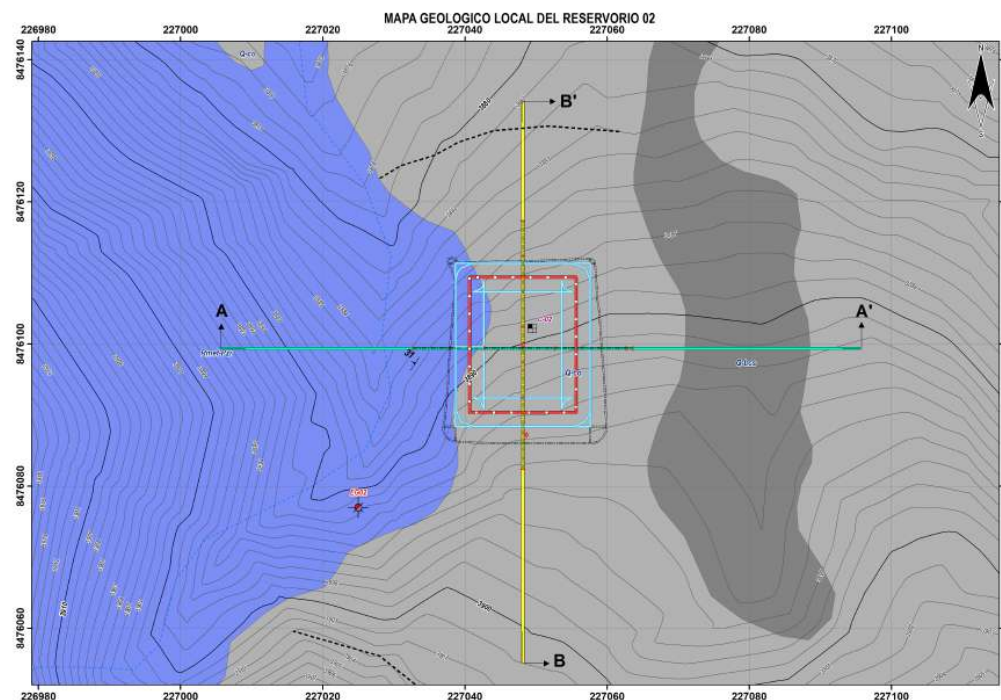
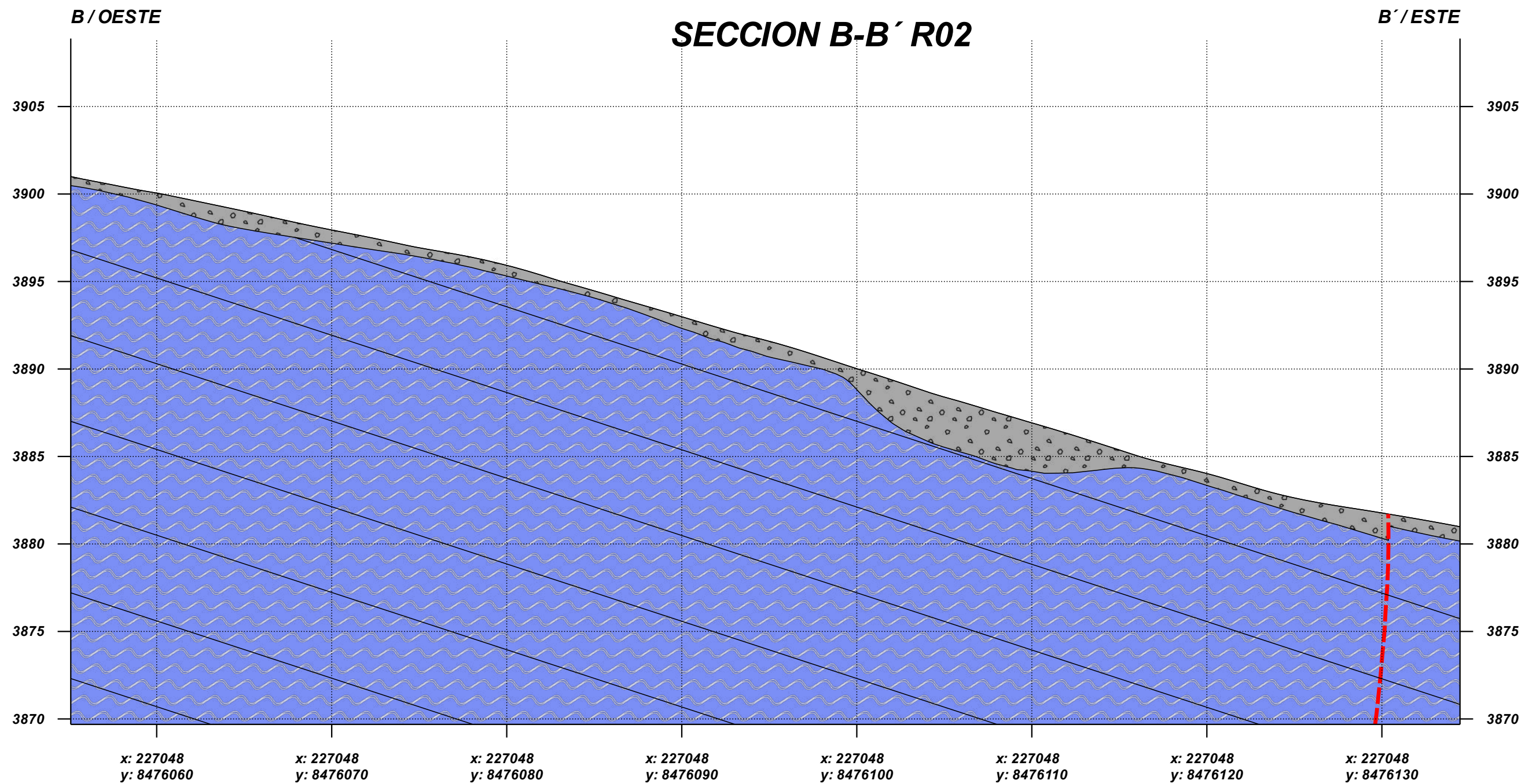
A' / ESTE: 227096, 8476099

Scale: 1:250

Vertical exaggeration: 1x

0m 20m

Responsible dept. Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	Technical reference UTM WGS 84 19L Sur	Creator Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Approved by Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	
Legal owner 		Document type Seccion Geologia A-A'	Document status RESERVORIO 02	
		Title CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIA C	Identification number SEC-03	
		Rev. 03	Date of issue 07/03/2024	Sheet 03



Surfaces

MODELO 3D - RESERVORIO 02 - FALLA_02

Localizacion

B / OESTE: 227048, 8476055
B' / ESTE: 227048, 8476134

Scale: 1:250
Vertical exaggeration: 1x

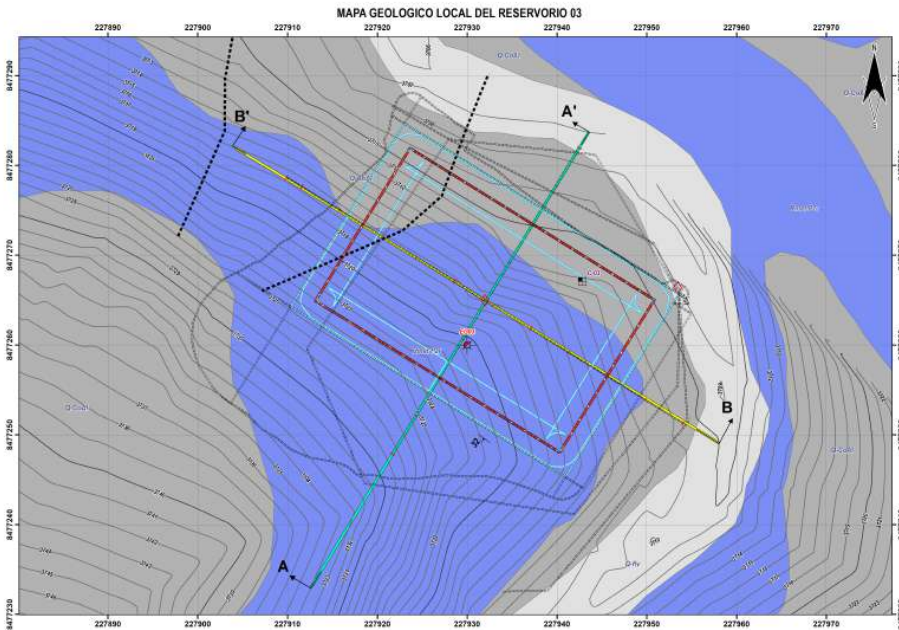
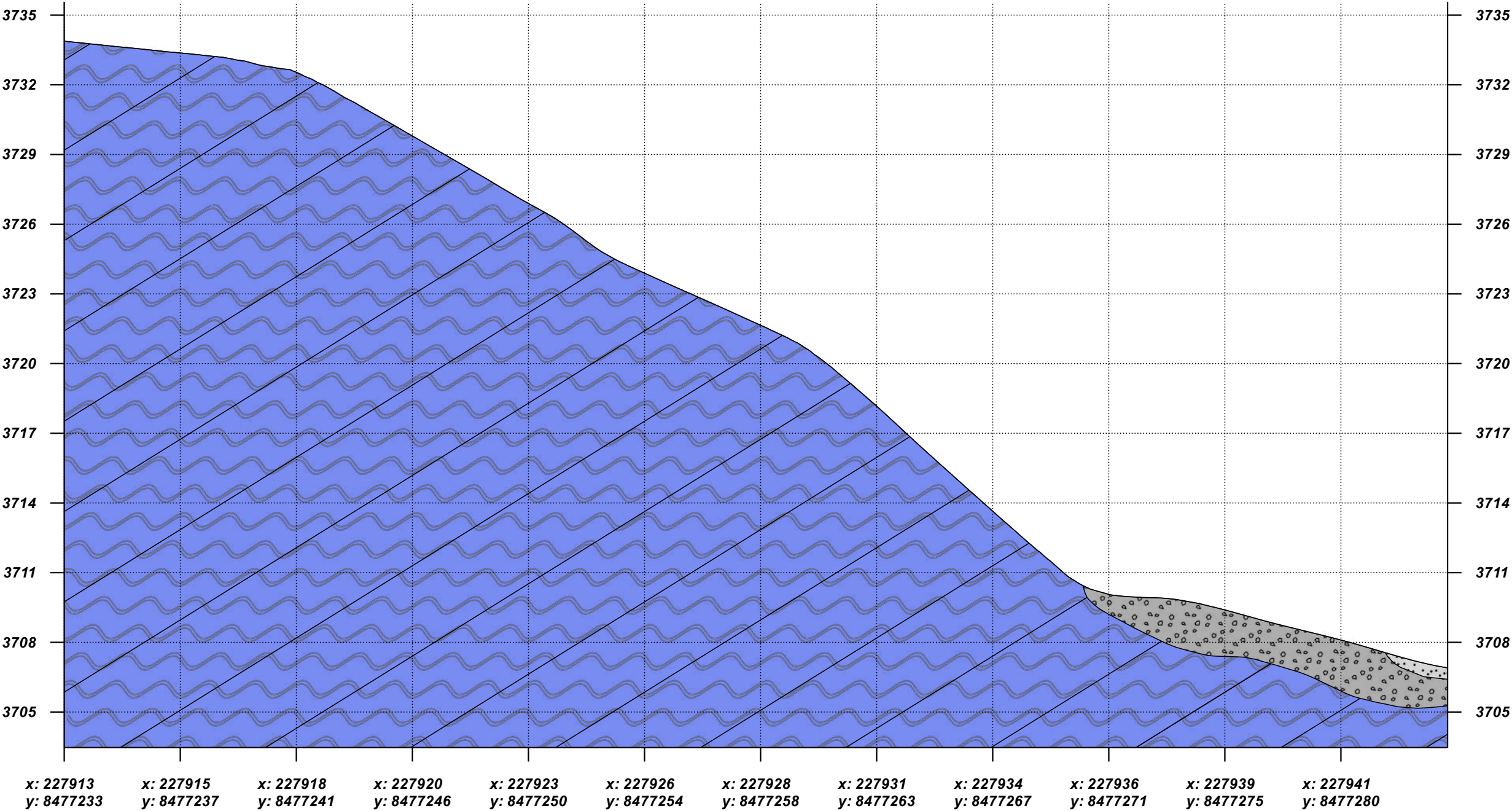


Responsible dept. Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	Technical reference UTM WGS 84 19L Sur	Creator Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Approved by Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	
Legal owner 	Document type Seccion Geologia B-B´		Document status RESERVORIO 02	
	Title CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAIC		Identification number SEC-04	
		Rev. 04	Date of issue 07/03/2024	Sheet 04

A (SW)

SECCION A-A' R03

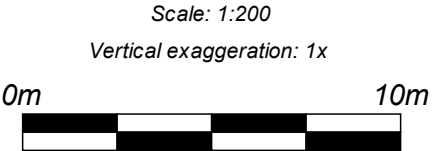
A' (NE)



LEYENDA

MODELO 3D - RESERVORIO 03

	QcoAl		RmetPzr
	Qflv		



Localizacion

A (SW): 227913, 8477233

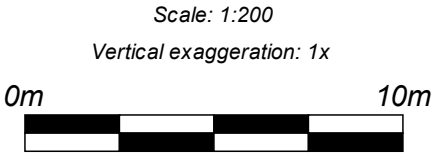
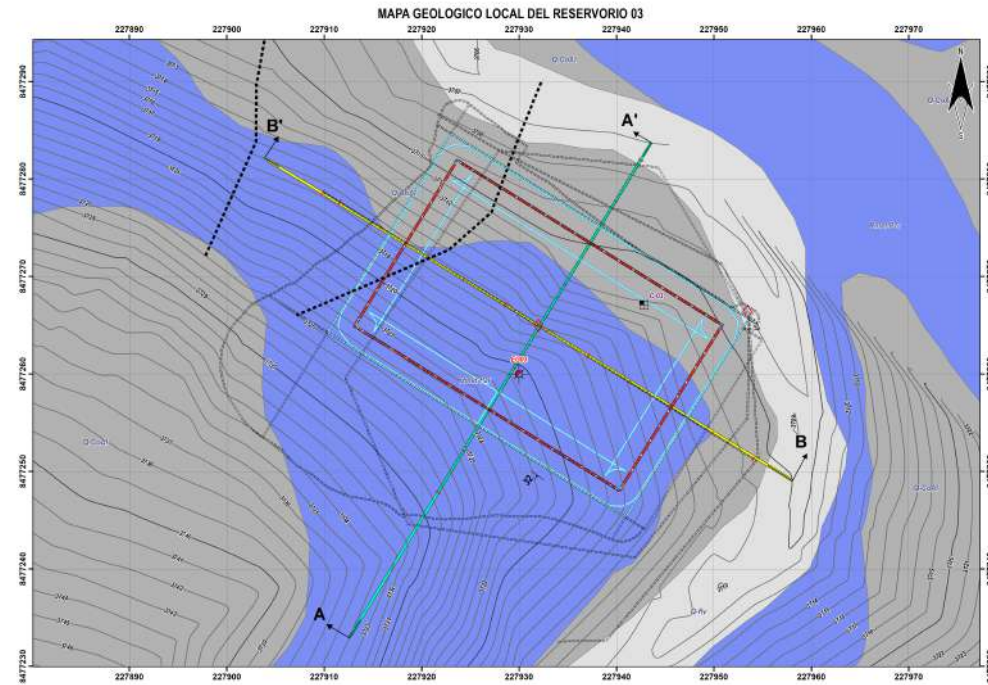
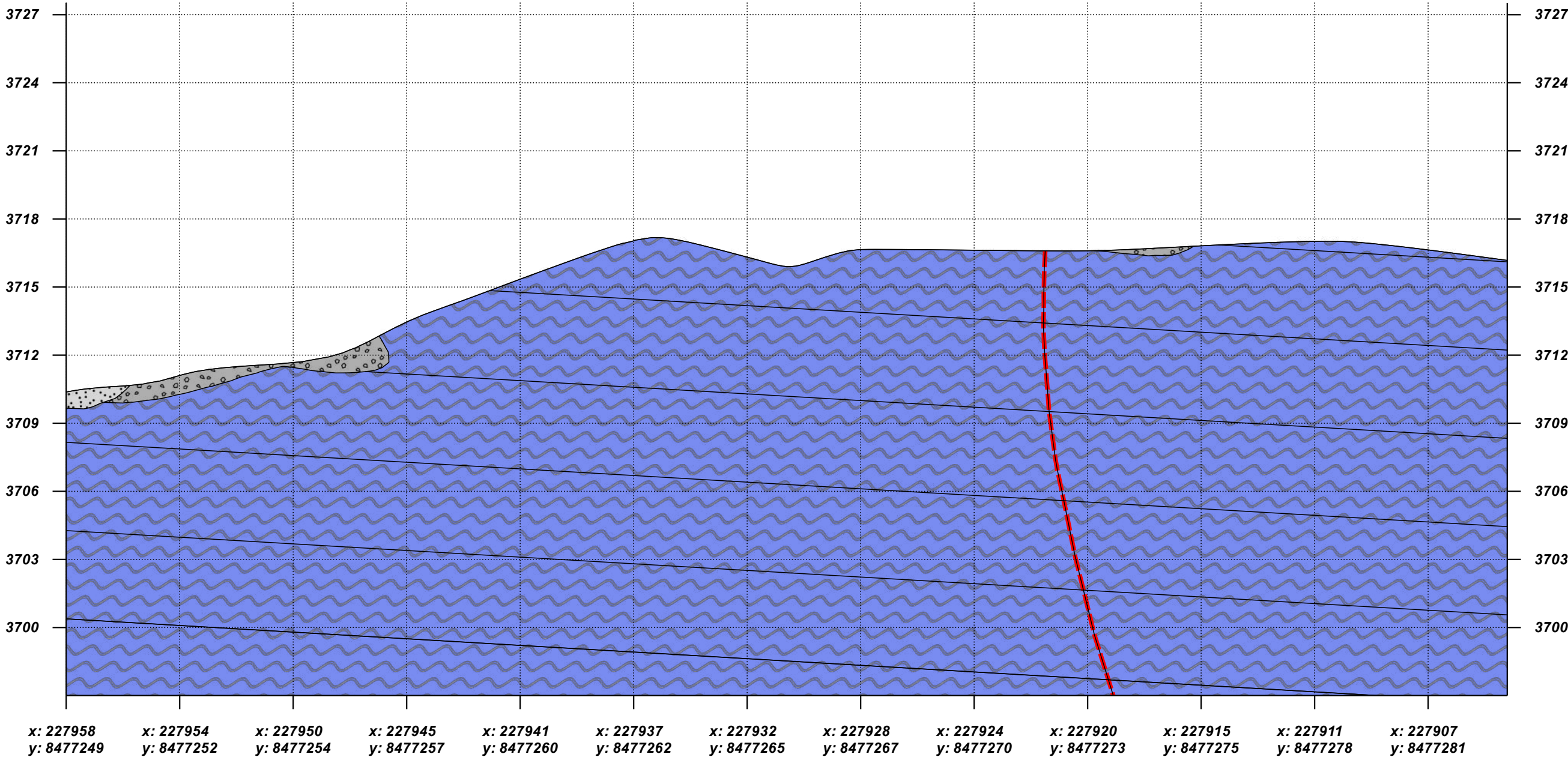
A' (NE): 227944, 8477284

Responsible dept. Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	Technical reference UTM WGS 84 19L Sur	Creator Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Approved by Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado		
Legal owner 	Document type Seccion Geología A-A´			Document status RESERVORIO 03	
	Title CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIA C			Identification number SEC-05	
				Rev. 05	Date of issue 07/03/2024

B (SE)

SECCION B-B' R03

B' (NW)



Localizacion

B (SE): 227958, 8477249
B' (NW): 227904, 8477282

LEYENDA

MODELO 3D - RESERVORIO 03 - Fault System
FALLA02

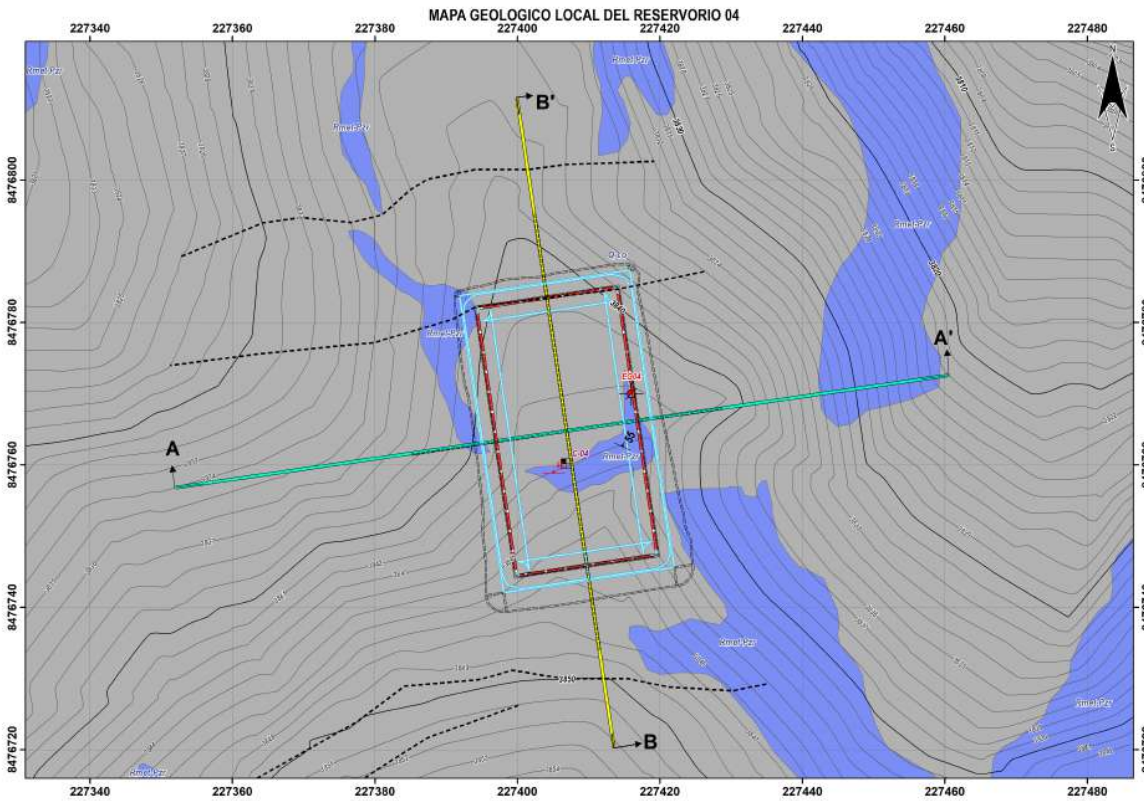
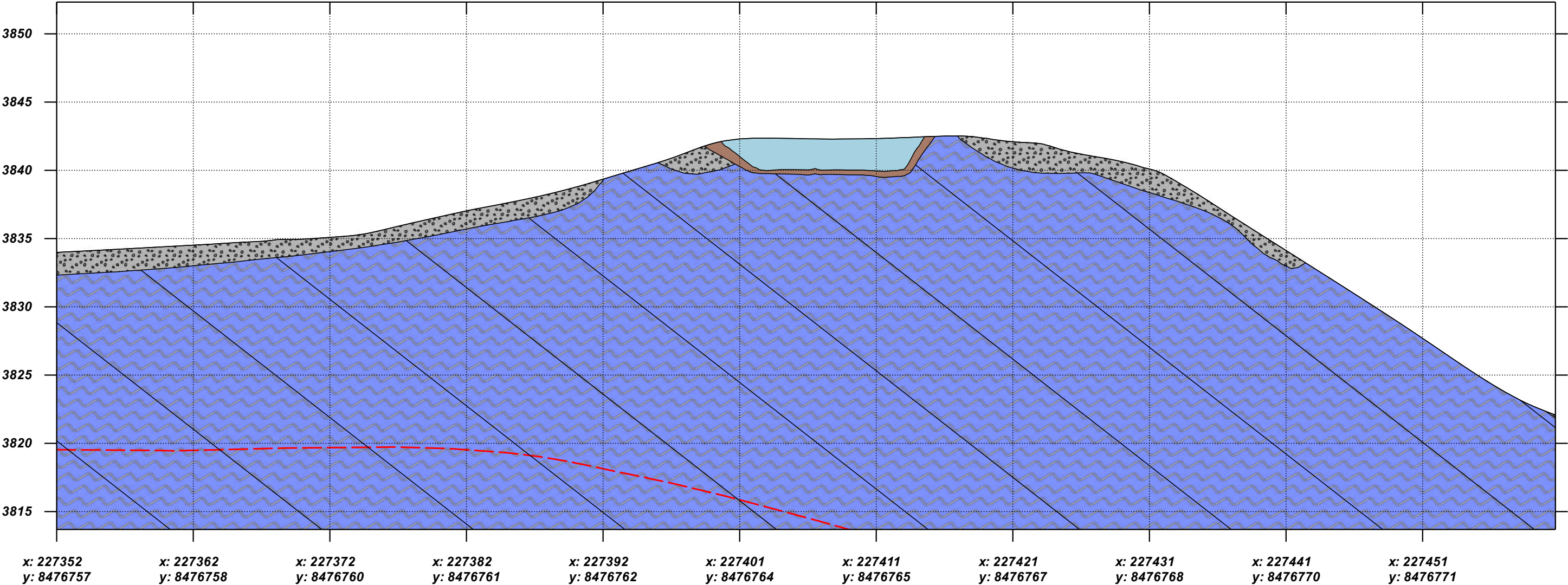
MODELO 3D - RESERVORIO 03
QcoAl RmetPzr
Qflv

Responsible dept. Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	Technical reference UTM WGS 84 19L Sur	Creator Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Approved by Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	
Legal owner 		Document type Seccion Geologia B-B'	Document status RESERVORIO 03	
		Title CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC	Identification number SEC-06	
		Rev. 06	Date of issue 07/03/2024	Sheet 06

SECCION A-A' R04

A (SW)

A' (NE)



Leyenda

MODELO 3D - RESERVORIO 04 - Fault System
-- FALLA01

MODELO 3D - RESERVORIO 04
Agua
Concreto
Qco
RmetPzr

Localizacion

A (SW): 227352, 8476757
A' (NE): 227461, 8476772

Scale: 1:300
Vertical exaggaration: 1x

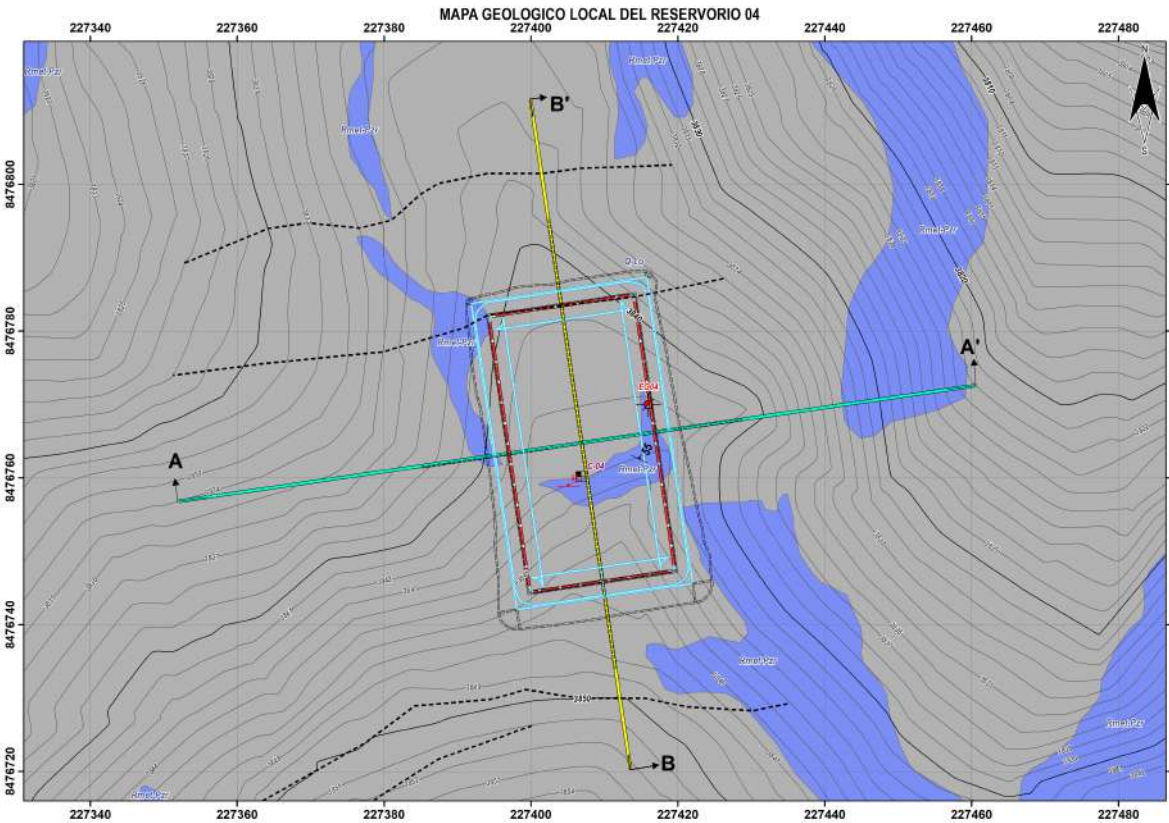
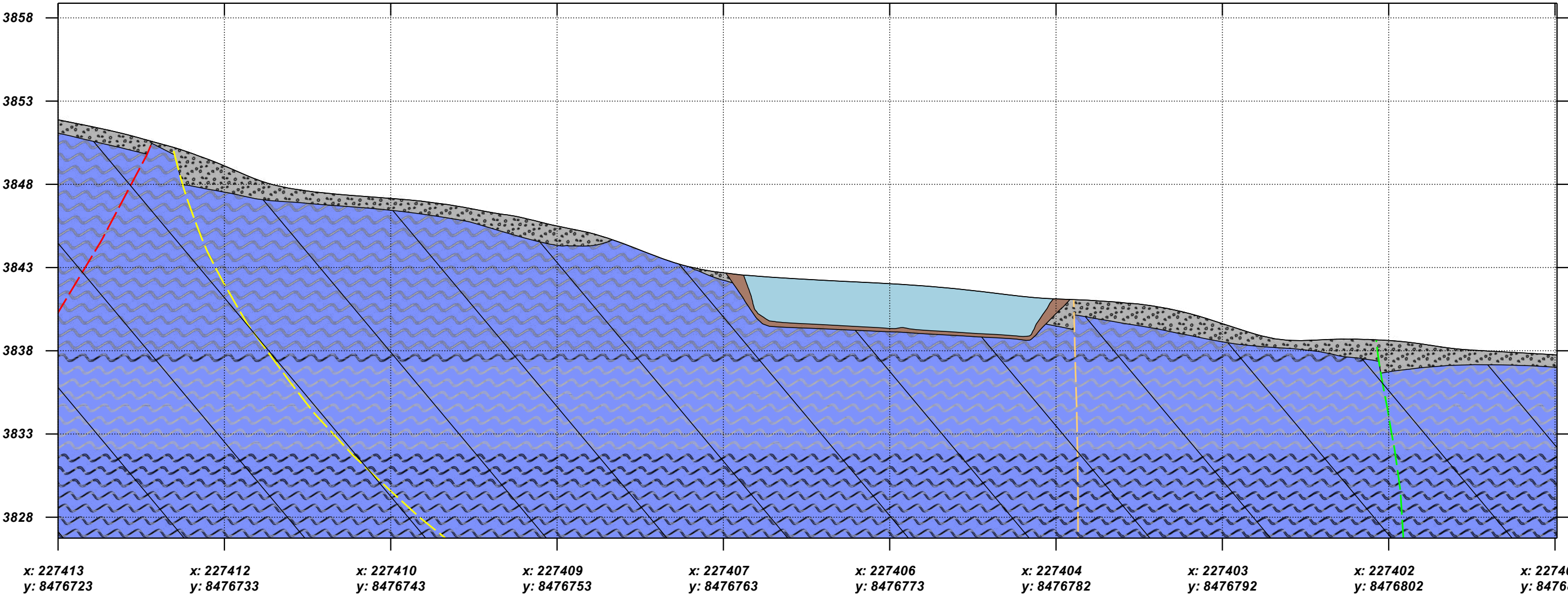


Responsible dept. Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	Technical reference UTM WGS 84 19L Sur	Creator Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Approved by Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	
Legal owner 	Document type Seccion Geologia A-A'		Document status RESERVORIO 04	
		Title CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIA C		Identification number SEC-07
		Rev. 07	Date of issue 08/03/2024	Sheet 07

B (SE)

SECCION B-B' R04

B' (NW)



Legenda

MODELO 3D - RESERVORIO 04 - Fault System

- FALLA01 FALLA03
FALLA02 FALLA04

Localizacion

B (SE): 227413, 8476723
B' (NW): 227400, 8476812

MODELO 3D - RESERVORIO 04

- Agua Qco
Concreto RmetPzr

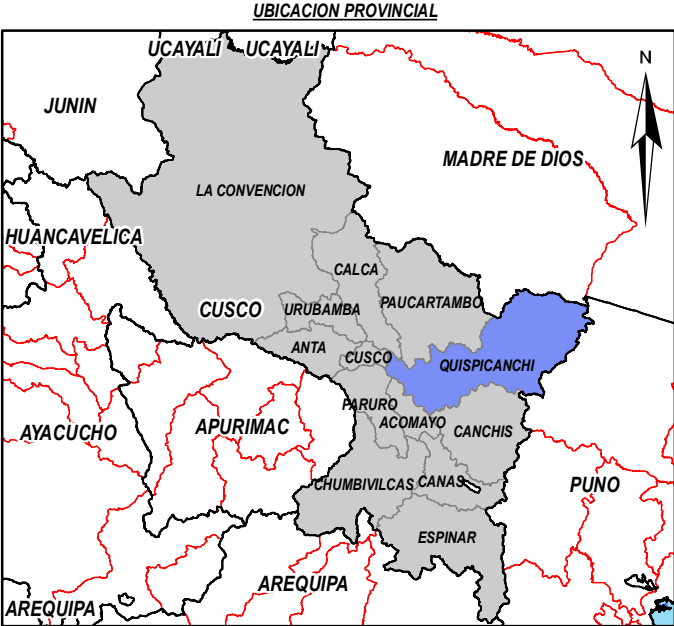
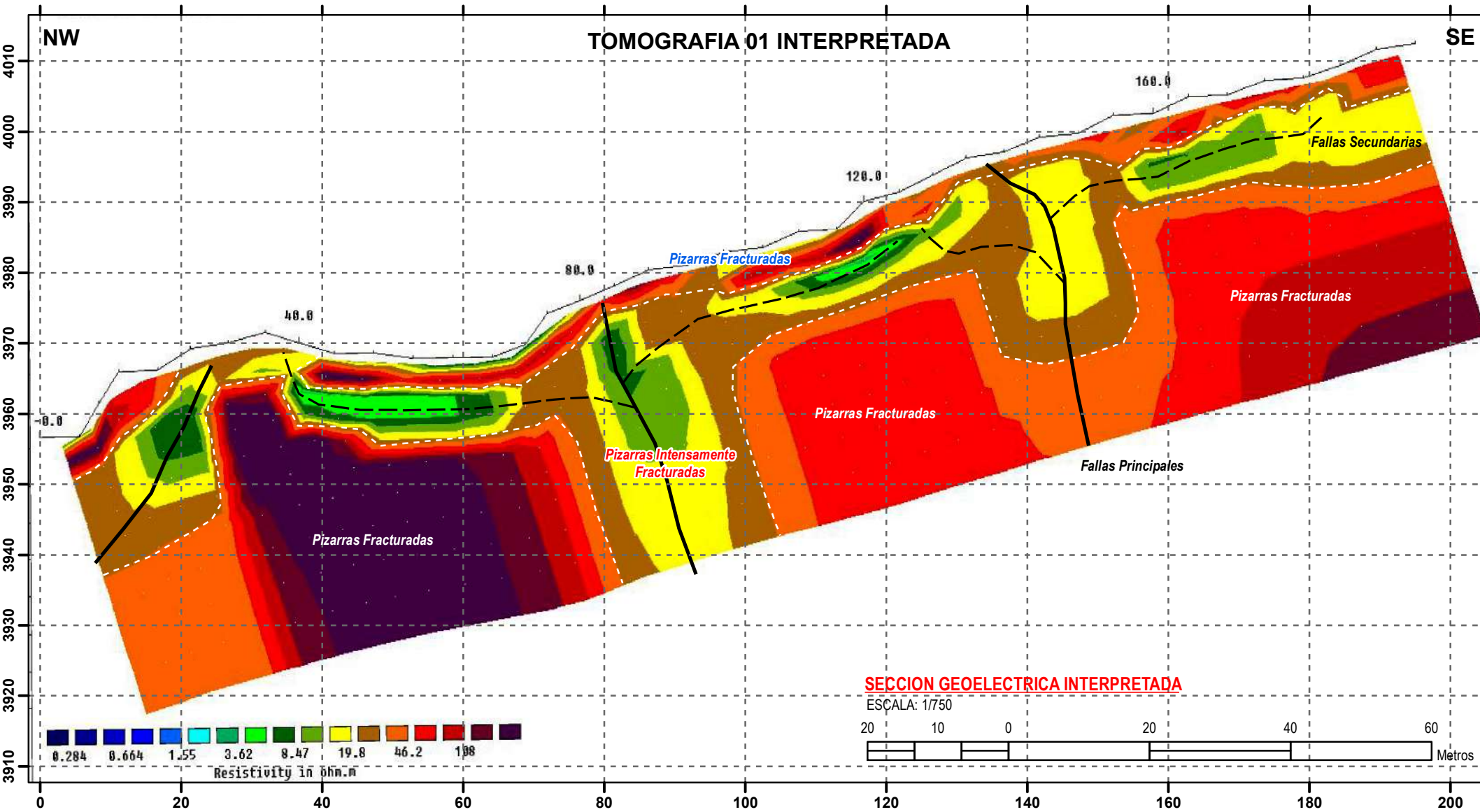
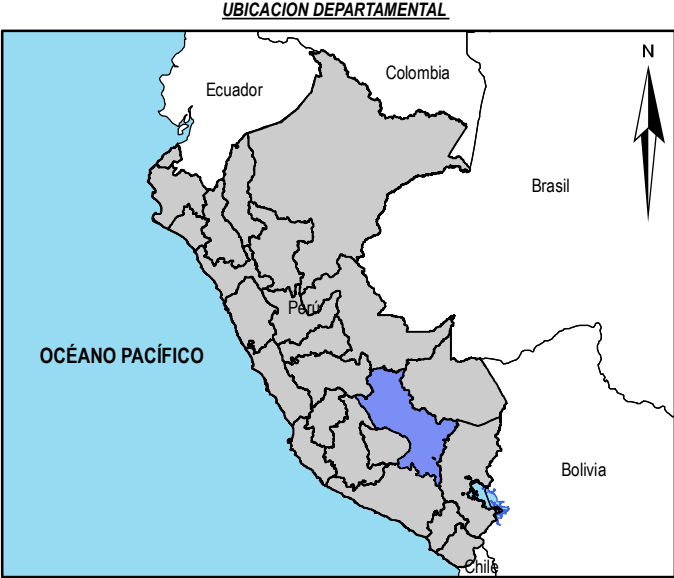
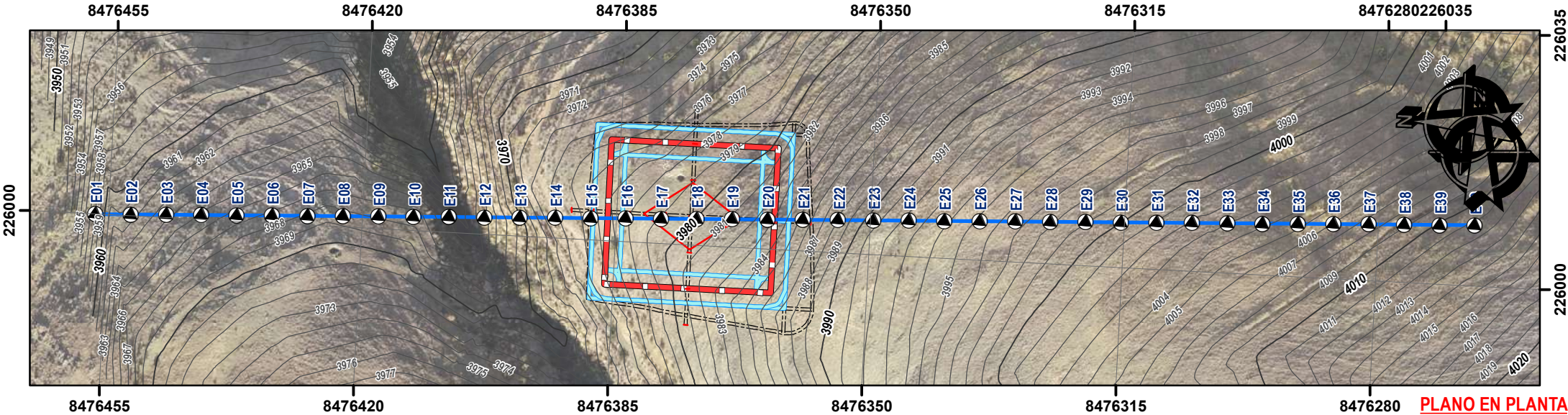
Scale: 1:250

Vertical exaggeration: 1x



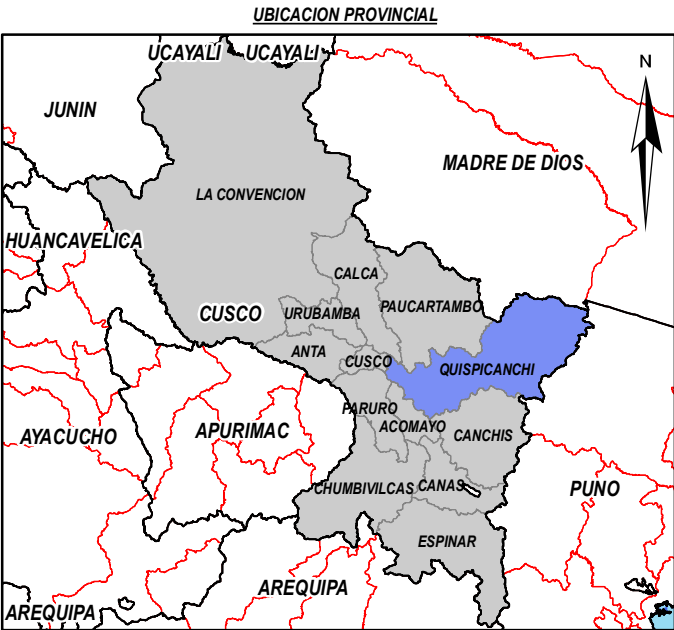
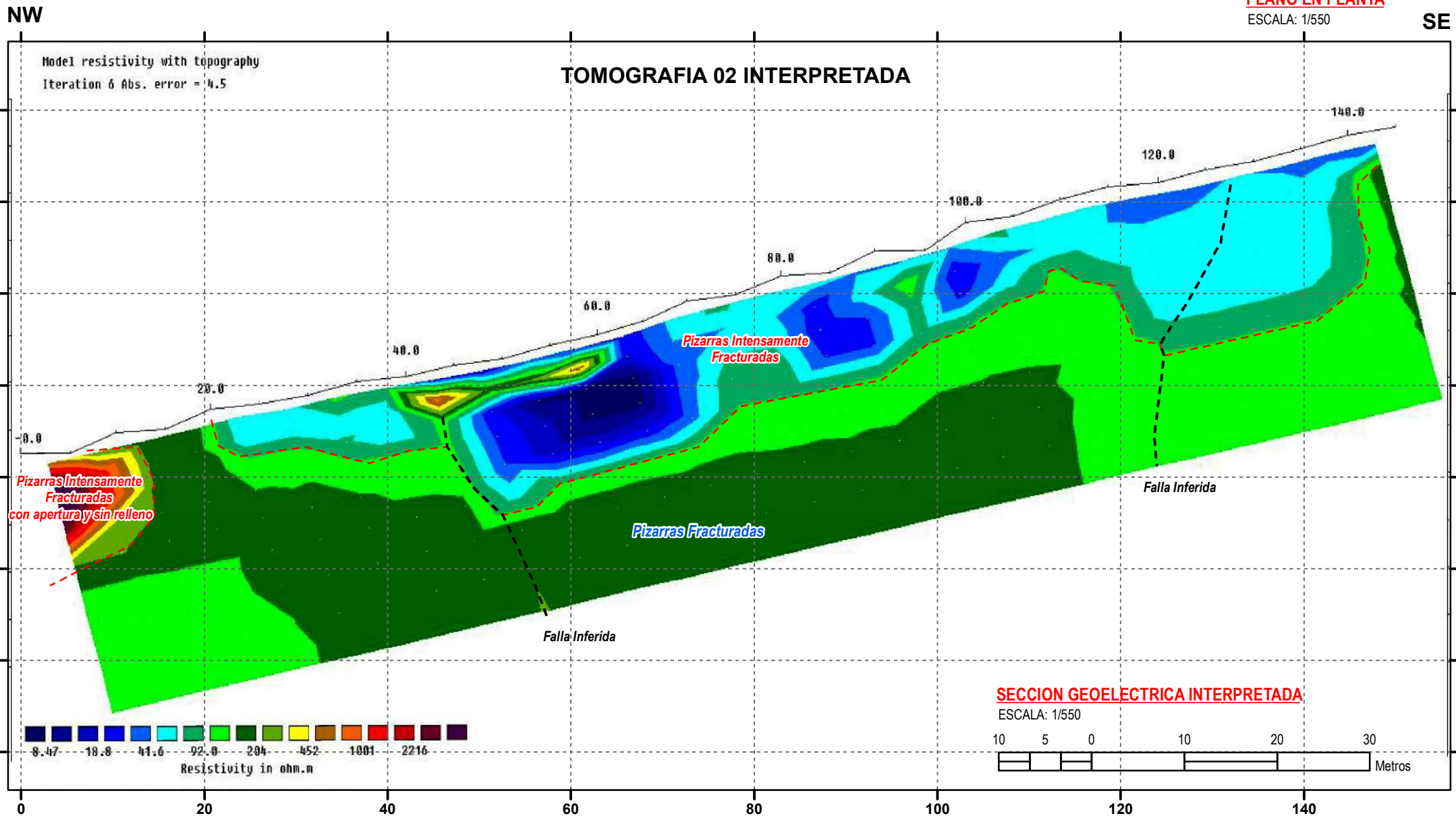
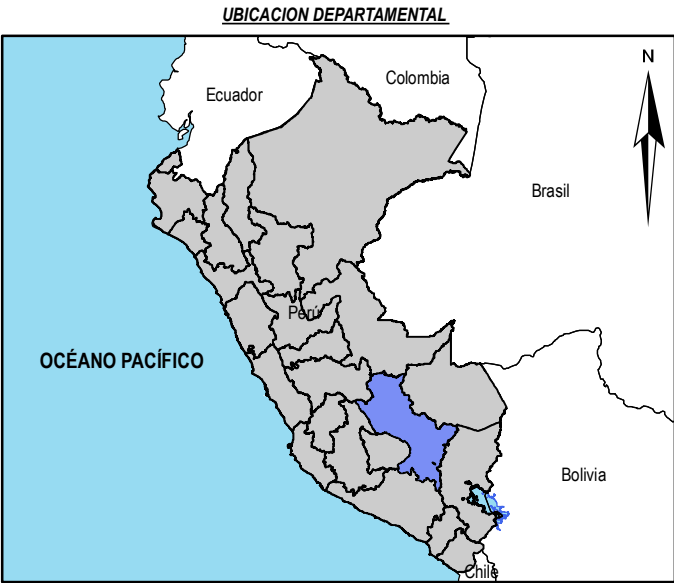
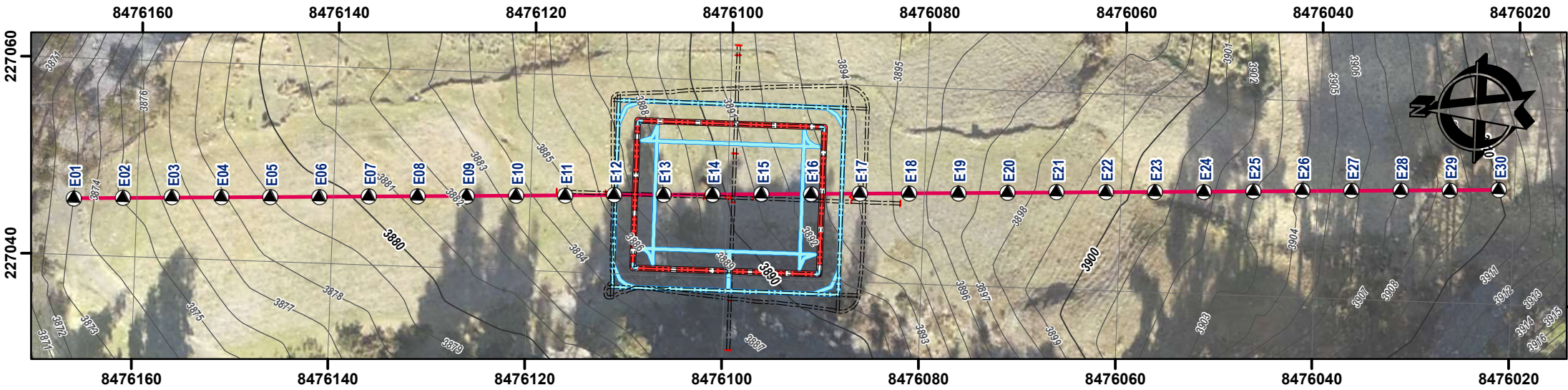
Responsible dept. Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado	Technical reference UTM WGS 84 19L Sur	Creator Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	Approved by Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado		
Legal owner 		Document type Seccion Geologia B-B´		Document status RESERVORIO 04	
		Title CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAIC		Identification number SEC-08	
				Rev. 08	Date of issue 08/03/2024

SECCION GEOELECTRICA INTERPRETADA



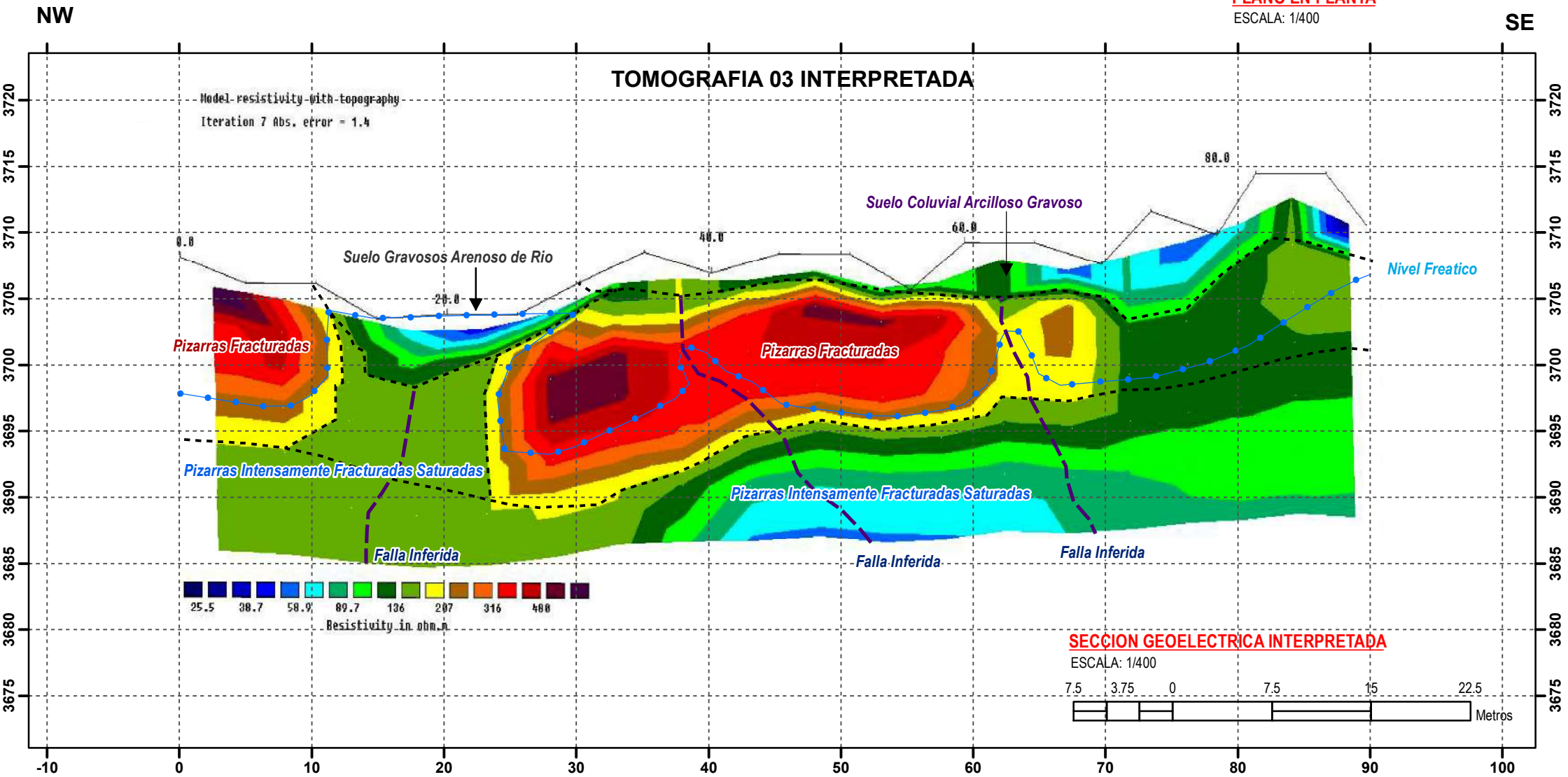
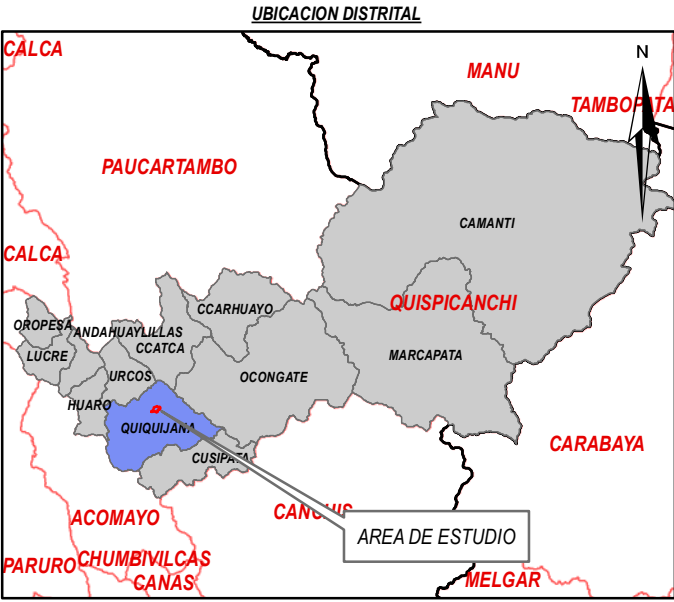
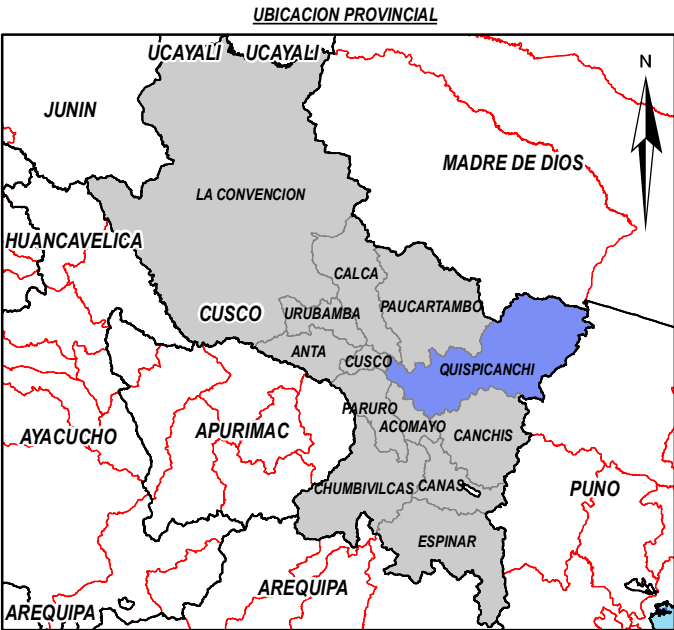
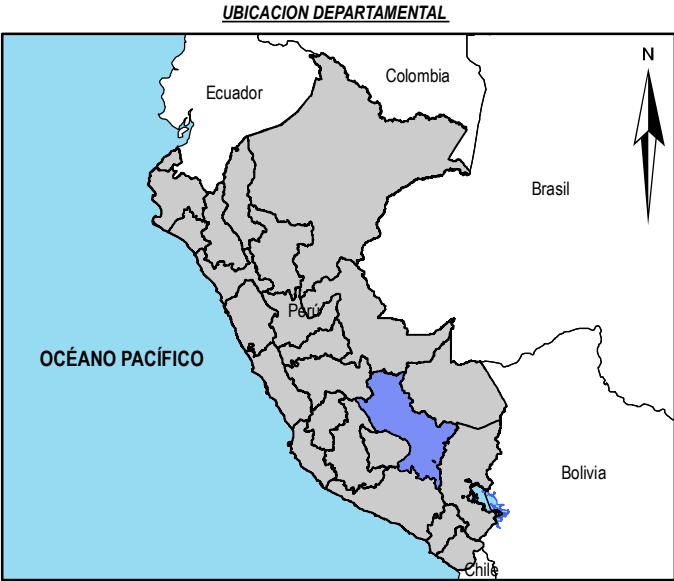
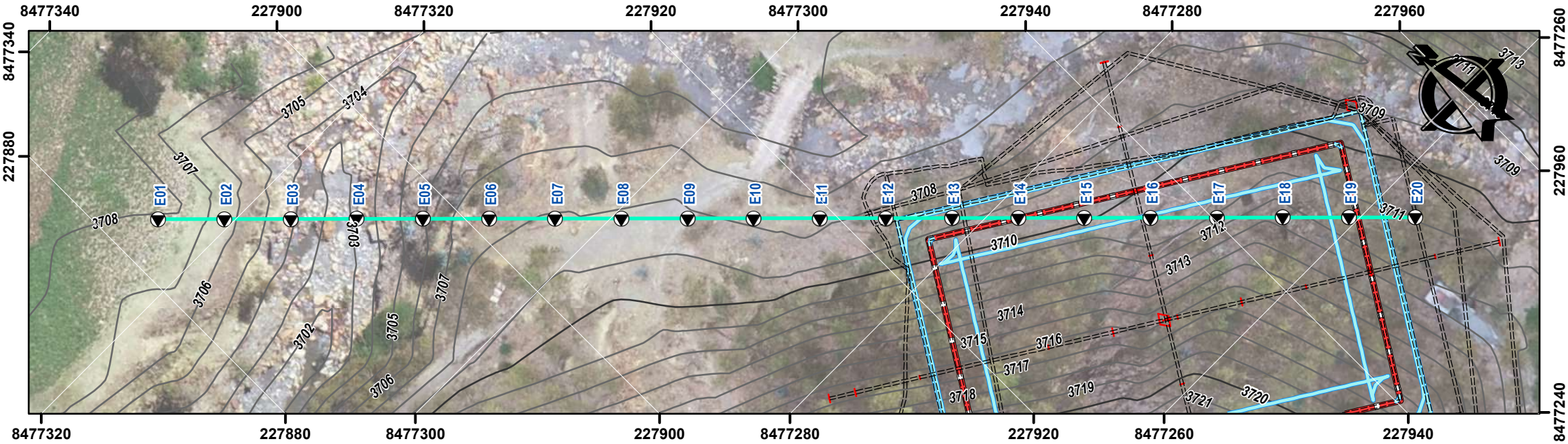
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	SISTEMA DE COORDENADAS		SECCION GEOFISICA ERT 01	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ESCALA:	1/750	SECTOR: CALLATIAC	
		PROYECCION: UTM		DISTRITO: QUIQUIJANA		FECHA:	FEBRERO 2024		
		DATUM HORIZONTAL: WGS84		PROVINCIA: QUISPICANCHI		ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez			SECCION: SEC-09
		HUSO Y ZONA: 19L Sur		REGION: CUSCO					
ASESOR:		ESCALA DE IMPRESION: A-3							
Mgt. Fredy Víctor Bustamante Prado									

SECCION GEOELECTRICA INTERPRETADA



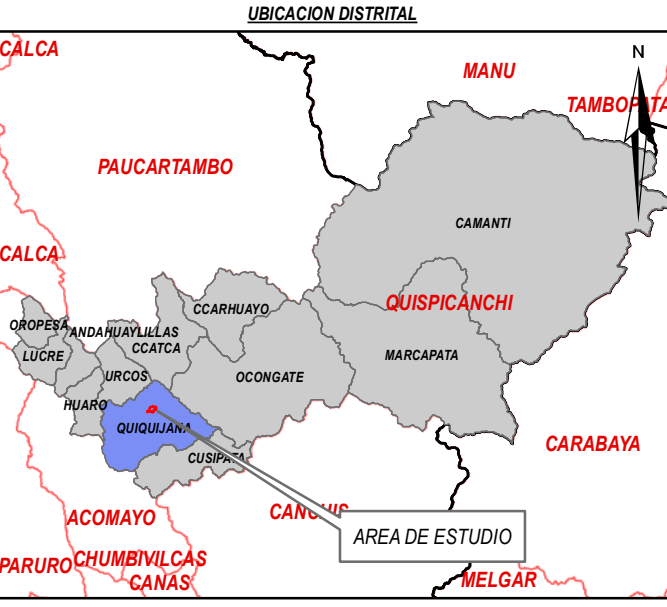
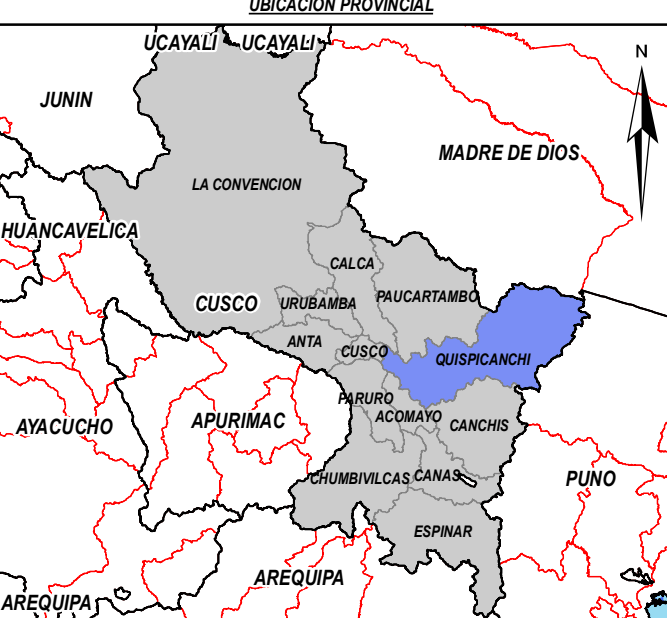
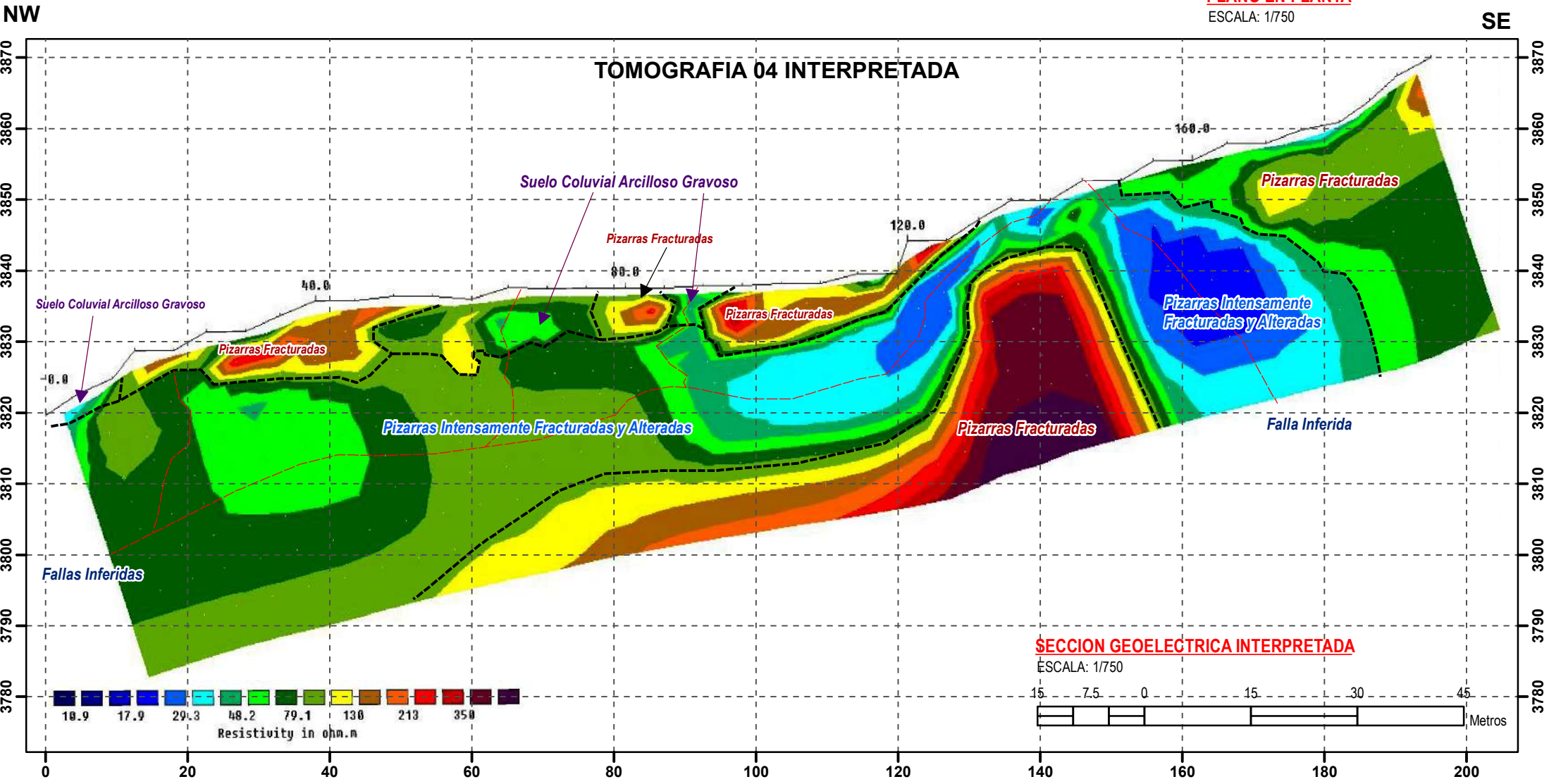
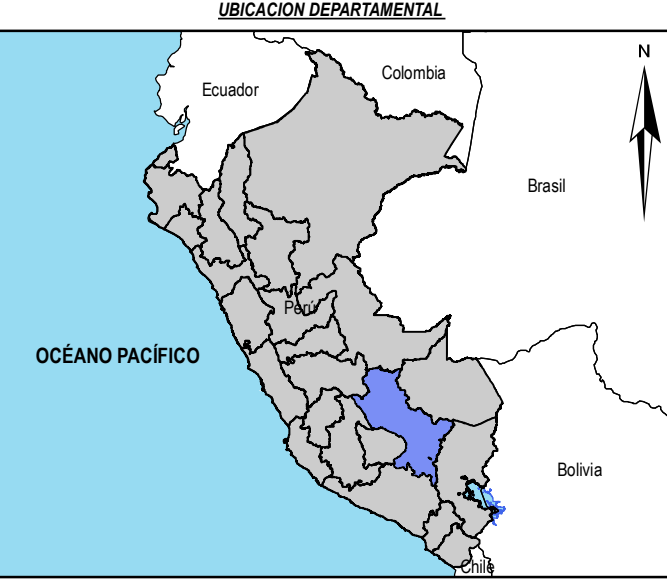
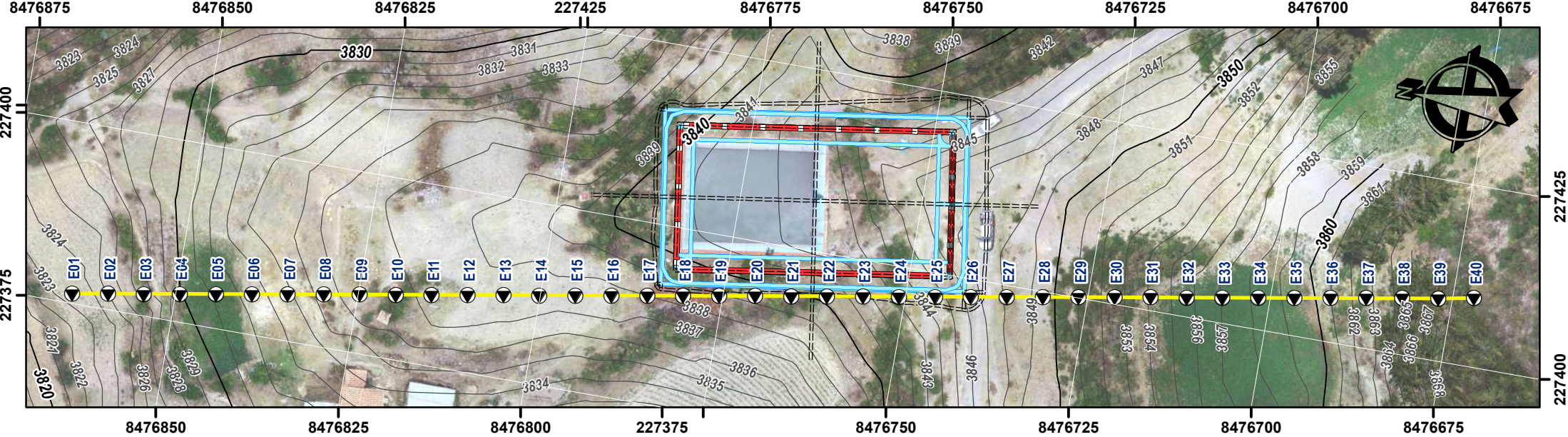
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	SISTEMA DE COORDENADAS		SECCION GEOFISICA ERT 02	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ESCALA: 1/550	SECTOR: CALLATIAC
		PROYECCION: UTM		DISTRITO: QUIQUIJANA		FECHA: FEBRERO 2024	
		DATUM HORIZONTAL: WGS84		PROVINCIA: QUISPICANCHI		ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez	SECCION: SEC-10
		HUSO Y ZONA: 19L Sur		REGION: CUSCO			
ASESOR: Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado		ESCALA DE IMPRESION: A-3					

SECCION GEOELECTRICA INTERPRETADA



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	SISTEMA DE COORDENADAS		SECCION GEOFISICA ERT 03		TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ESCALA:	1/400	SECTOR: CALLATIAC	
		PROYECCION: UTM		DISTRITO: QUIQUIJANA			FECHA:	FEBRERO 2024		
		DATUM HORIZONTAL: WGS84		PROVINCIA: QUISPICANCHI			ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez			SECCION: SEC-11
		HUSO Y ZONA: 19L Sur		REGION: CUSCO						
ASESOR:		Mgt. Fredy Víctor Bustamante Prado		ESCALA DE IMPRESION: A-3						

SECCION GEOELECTRICA INTERPRETADA



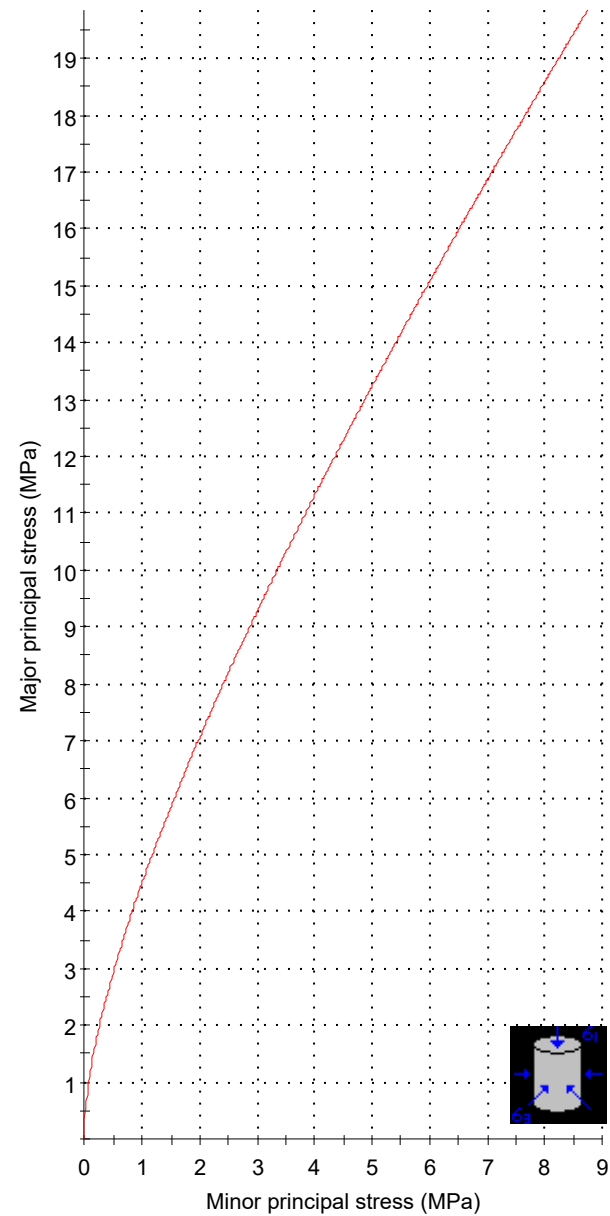
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO	 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA	SISTEMA DE COORDENADAS		SECCION GEOFISICA ERT 04	TESIS: "CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE RESERVORIOS DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA COMUNIDAD DE CALLATIAC, DISTRITO DE QUIQUIJANA, PROVINCIA DE QUISPICANCHI, DEPARTAMENTO DE CUSCO"	ESCALA:	1/750	SECTOR: CALLATIAC	
		PROYECCION: UTM		DISTRITO: QUIQUIJANA		FECHA:	FEBRERO 2024		
		DATUM HORIZONTAL: WGS84		PROVINCIA: QUISPICANCHI		ELABORADO POR: Br. Pamela Segundo Araujo Br. Soshire Mashel Tinajeros Martinez			SECCION: SEC-12
		HUSO Y ZONA: 19L Sur		REGION: CUSCO					
ASESOR:		Mgt. Fredy Victor Bustamante Prado		ESCALA DE IMPRESION: A-3					



ANEXO G

Valores de Rocdata

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 35 MPa
GSI = 24 m_i = 7 Disturbance factor = 0
intact modulus (E_i) = 17500 MPa

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.464 s = 0.0002 a = 0.533

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.939 MPa friction angle = 20.05 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.016 MPa
uniaxial compressive strength = 0.387 MPa
global strength = 2.683 MPa
modulus of deformation = 989.08 MPa

