

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

MODELO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL EN EL
ÁMBITO DEL GLACIAR QUELCCAYA, 2024

PRESENTADO POR:

BACH. ANIBAL ALVAREZ PEREZ

BACH. BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO.

ASESOR:

MGT. ING. MAURO ZEGARRA CARREON

CUSCO – PERU

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:
" **Modelo Geológico Estructural en el Ambito**
" **del Glaciar Quelescaya, 2024** "

Presentado por: **Anibal Alvarez Perez** DNI N° **23957683**
presentado por: **Bruce Hamner Hunchaca Avalos** DNI N°: **73448113**
Para optar el titulo profesional/grado académico de **Ingeniero Geólogo**

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por **2** veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de **8** %.

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

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

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

Cusco, **26** de **Julio** de 20**25**


.....
Firma

Post firma **Mauro Alberto Legaria Corveá**

Nro. de DNI **23848124**

ORCID del Asesor **0000-0003-0716-3980**

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid: 27259:476506145**

Anibal, Bruss Hamier Alvarez Perez, Huachaca Aval... Quelccaya.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:476506145

Fecha de entrega

26 jul 2025, 11:22 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

26 jul 2025, 11:25 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Quelccaya.pdf

Tamaño de archivo

8.0 MB

106 Páginas

22.487 Palabras

144.304 Caracteres

8% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

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

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

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

DEDICATORIA

A mis padres y familiares, por el invaluable apoyo y amor que en todo momento me brindan.

Anibal Alvarez Perez

A mis padres Augusto Huachaca Sanchez y Carmen Avalos Medina.

A mis abuelos Genara, Toribio, Grimaneza y Emilio.

A mis tíos Jaime, Camilo, Fanne, Elsa, Francisca, Pilar.

A mi pareja Alexandra Ambar Cantero Rodriguez.

Gracias a su invaluable apoyo, su amor incondicional y su guía, he logrado con éxito el sueño de completar mi formación académica.

Bruss Hamier Huachaca Avalos

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), por permitirnos formar parte del proyecto de investigación en el ámbito del glaciar Quelccaya.

Al ingeniero Edson Ricardo Vila Garrafa, por su asesoramiento durante la elaboración de nuestro proyecto de investigación.

Al Ingeniero Mauro Alberto Zegarra Carreón, por su asesoramiento durante la elaboración de nuestro proyecto de investigación.

A nuestros docentes de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por sus enseñanzas durante nuestra formación profesional.

RESUMEN

El presente estudio **titulado “Modelo geológico estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024”, se encuentra** ubicado entre las regiones de Cusco y Puno, Perú.

Actualmente, no se cuenta con un modelo geológico estructural que nos permita comprender las interacciones entre la geomorfología, estratigrafía, geología estructural y petrografía del ámbito del glaciar Quelccaya.

El objetivo principal de este estudio es realizar un modelo geológico estructural del ámbito del glaciar Quelccaya que permita comprender mejor su evolución tectónica. Esto incluye una caracterización geomorfológica, estratigráfica, de las estructuras tectónicas y la petrografía dentro del ámbito.

Con esta finalidad la investigación será aplicada y con un enfoque mixto, el tipo de investigación es descriptivo; así mismo, el diseño de la investigación será no experimental y el tipo de diseño transversal con el propósito de identificar variaciones, recoger y analizar datos en un periodo corto, lo cual es práctico y eficiente.

La investigación concluye mostrando la configuración del modelo geológico estructural del ámbito del glaciar Quelccaya, mediante el análisis de datos geomorfológicos, estratigráficos, estructurales y petrográficos. El modelo geológico estructural describe un escenario geológico complejo, caracterizado por múltiples fases volcánicas, procesos erosivos-glaciares y una intensa actividad tectónica. La integración de estudios geomorfológicos, estratigráficos, estructurales y petrográficos permitió modelar las estructuras geológicas en el ámbito de estudio y su relación con la evolución glaciar.

Palabras claves: Modelo geológico estructural, glaciar Quelccaya, tectónica compresiva, Tobas riolíticas, análisis petrográfico.

ABSTRACT

The present study, entitled "Structural Geological Model in the Quelccaya Glacier Area, 2024," is located between the regions of Cusco and Puno, Peru.

Currently, there is no structural geological model that allows us to understand the interactions between the geomorphology, stratigraphy, structural geology, and petrography of the Quelccaya Glacier area.

The main objective of this study is to develop a structural geological model of the Quelccaya Glacier area that will allow us to better understand its tectonic evolution. This includes a geomorphological and stratigraphic characterization of the tectonic structures and petrography within the area.

To this end, the research will be applied and will use a mixed approach. The research type is descriptive. The research design will be non-experimental and cross-sectional, with the purpose of identifying variations, collecting and analyzing data in a short period of time, which is practical and efficient.

The research concludes by presenting the configuration of the structural geological model of the Quelccaya glacier area through the analysis of geomorphological, stratigraphic, structural, and petrographic data. The structural geological model describes a complex geological setting characterized by multiple volcanic phases, glacial erosion processes, and intense tectonic activity. The integration of geomorphological, stratigraphic, structural, and petrographic studies allowed for the modeling of the geological structures in the study area and their relationship to glacial evolution.

Keywords: Structural geological model, Quelccaya Glacier, compressive tectonics, rhyolitic tuffs, petrographic analysis.

CONTENIDO:

INTRODUCCION.....	12
1. CAPITULO I: GENERALIDADES	14
1.1. UBICACIÓN	14
1.2. ACCESIBILIDAD	14
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.3.1. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION.....	15
1.3.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	16
1.3.2.1. PROBLEMA GENERAL	16
1.3.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS.....	16
1.4. OBJETIVOS.....	16
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
1.5. HIPOTESIS	16
1.5.1. HIPOTESIS GENERAL.....	16
1.5.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS.....	17
1.6. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION.....	17
1.7. LIMITACIONES.....	18
1.8. METODOLOGIA	19
1.8.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.8.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:	19
1.8.3. NIVEL O ALCANCE DE INVESTIGACIÓN:	19
1.8.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:	19
1.8.5. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO:	19
1.9. MARCO TEORICO.....	21
1.9.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	21
1.10. MARCO CONCEPTUAL	23
1.11. CLIMA, FLORA Y FAUNA	33
1.11.1. CLIMA.....	33
1.12. FLORA.....	33
2. CAPITULO II: GEOMORFOLOGIA	35
2.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS REGIONALES.....	35
2.1.1. CORDILLERA DEL VILCANOTA.....	35
2.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES.....	36
2.2.1. ABANICO ALUVIAL	36

2.2.2.	CAUCE DE RIO.....	36
2.2.3.	AVALANCHA DE ROCAS.....	37
2.2.4.	CRESTAS Y PAREDES SUPRAGLACIARES.....	37
2.2.5.	GLACIARETE	39
2.2.6.	FLUJO DE DETRITOS	40
2.2.7.	MORRENAS.....	40
2.2.8.	MORRENA DE FONDO	41
2.2.9.	LAGUNA	42
2.2.10.	LLANURAS DE OBTURACIÓN.....	43
2.2.11.	LLANURA ALUVIAL	44
2.2.12.	SUPERFICIE DE ABRASIÓN GLACIAR.....	44
3.	CAPITULO III: GEOLOGIA	46
3.1.	INTRODUCCION.....	46
3.2.	ESTRATIGRAFIA REGIONAL	46
3.2.1.	PALEOZOICO.....	46
3.2.2.	ORDOVICICO: FORMACIÓN SANDIA	46
3.2.3.	SILURICO: FORMACION ANANEA	47
3.2.4.	PÉRMICO-TRIASICO: GRUPO MITU.....	48
3.2.5.	CENOZOICO.....	48
3.2.6.	NEOGENO: FORMACION QUENAMARI	48
3.3.	ESTRATIGRAFIA LOCAL.....	51
3.3.1.	GRUPO MITU.....	52
3.3.2.	FORMACION QUENAMARI	53
3.3.3.	DEPÓSITOS GLACIARES	60
3.3.4.	DEPÓSITOS FLUVIOGLACIARES.....	60
3.3.5.	DEPÓSITOS ALUVIALES.....	61
4.	CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	62
4.1.	FASES TECTONICAS.....	62
4.1.1.	FASE TARDEHERCÍNICA	62
4.1.2.	FASE QUECHUA II (MIO-PLIOCENO).....	62
4.1.3.	FASE QUECHUA III (PLIOCENO)	63
4.2.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL (MIOCENO – PLIOCENO).....	63
4.2.1.	ORIENTACIONES ESTRUCTURALES EN EL AMBITO DEL GLACIAR QUELCCAYA	64
4.3.	ANÁLISIS DE LOS CONJUNTOS DE DATOS.....	67

5.1.	METODOLOGIA DEL DISEÑO.....	76
5.1.1.	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	77
5.1.2.	ANALISIS DE DATOS	77
5.1.3.	CONSTRUCCION DE SECCIONES.....	78
5.1.4.	CREACIÓN DEL MODELO DE TERRENO	79
5.1.5.	MODELO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL.....	80
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	81
6.1.	MODELO GEOLOGICO ESTRUCTURAL.....	98
7.	CONCLUSIONES	102
8.	RECOMENDACIONES.....	104
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	105
10.	ANEXOS	108
10.1.	ANALISIS DE DATOS ESTRUCTURALES.....	110
10.1.1.	ANÁLISIS DEL REGISTRO DE DATOS ESTRUCTURALES 1.....	110
10.1.2.	ANÁLISIS DEL REGISTRO DE DATOS ESTRUCTURALES 2.....	111
10.1.3.	ANÁLISIS DEL REGISTRO DE DATOS ESTRUCTURALES 3.....	112
10.1.4.	ANÁLISIS DEL REGISTRO DE DATOS ESTRUCTURALES 4.....	113
10.2.	ESTUDIO PETROGRAFICO	114
10.3.	MAPAS.....	174

ÍNDICE DE CUADROS:

Cuadro 1.	Coordenadas de ubicación del ámbito del glaciar Quelccaya.....	14
Cuadro 2.	Accesibilidad hacia el ámbito del glaciar Quelccaya desde la ciudad del Cusco.....	14
Cuadro 3.	Accesibilidad hacia el ámbito del glaciar Quelccaya desde la ciudad de Juliaca.....	15
Cuadro 4:	Resumen de esfuerzos en diaclasas en el ámbito del Quelccaya.....	84
Cuadro 5:	Resumen Interpretativo de las fallas Mapeadas.....	85
Cuadro 6	Resumen de las muestras y sus descripciones macroscópicas.....	86
Cuadro 7	Descripción macroscópica y microscópica de las muestras de la formación Quenamari.	88
Cuadro 8.	Matriz de consistencia	108

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Glaciar de valle, tomado de Muñoz Jimenez (2000), p 249.....	25
Figura 2. a) Se ilustra el caso de compresión triaxial, caso muy común en la Tierra en el que los tres esfuerzos principales son compresivos. b) se ilustra el caso de extensión axial donde dos de los esfuerzos son compresivos y uno es de tensión; este caso también ocurre en la Corteza Terrestre. c) se ilustra el caso de tensión uniaxial, donde uno de los esfuerzos principales es diferente de cero y es de tensión, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002). p. 12.	28
Figura 3. a) Cuerpo no deformado. b) Cuerpo sometido a un sistema de esfuerzos donde predomina un esfuerzo compresivo principal, el resultado dependerá del régimen: en el campo dúctil se forman pliegues. c) En el campo frágil se produce una falla inversa, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002), p. 21.	28
Figura 4. a) Se observa un cuerpo inicialmente no deformado al que se aplica un sistema de esfuerzos dominado por un esfuerzo principal de extensión. b) Este puede provocar adelgazamiento en el campo dúctil, generando una depresión. c) en el campo frágil, la extensión puede causar fracturas o rupturas acompañadas de desplazamiento, dando lugar a una falla normal, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002), p. 22.	29
<i>Figura 5. a) Se presenta una secuencia no deformada que es sometida a un sistema de esfuerzos, con el esfuerzo principal de cizalla. b) Este tipo de esfuerzo puede causar flexiones en el campo dúctil. c) Se generan fracturas y fallas laterales en el campo frágil, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002), p. 22.</i>	29
Figura 6. Orientación del rumbo, echado verdadero y aparente respecto a un plano P, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002). p. 38.	30

Figura 7. Dirección de buzamiento respecto a un plano horizontal, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002). p. 38.	30
Figura 8. Proyección estereográfica de un plano S30°E 60°SW, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002). p. 148.	31
Figura 9. Diagrama QAPF, a la izquierda para rocas ígneas plutónicas y a la derecha para rocas volcánicas, tomada de Lopez & Bellos (2021).....	32
Figura 10. (A) Clasificación de cenizas según su composición fragmentaria, por Schmid (1981). (B) Triángulo de composición para clasificar las rocas compuestas por fragmentos piroclásticos, por Fisher (1966).	33
Figura 11 Columna estratigráfica regional del ámbito del glaciar Quelccaya.	51
Figura 12. Columna estratigráfica local del ámbito del glaciar Quelccaya.	61
Figura 13 Plano de ubicación de los registros de datos estructurales	64
Figura 14 Diagramas estereográficos del registro de datos estructurales 1.....	68
Figura 15 Diagramas estereográficos del registro de datos estructurales 2.....	70
Figura 16 Diagrama estereográfico del registro de datos estructurales 3.....	73
Figura 17 Diagrama estereográfico del registro de datos estructurales 4.....	74
Figura 18. Flujograma empelado para el desarrollo del modelo geológico estructural del ámbito del glaciar Quelccaya.....	76
Figura 19. Se muestran 4 secciones geológicas realizadas para el ámbito de estudio.....	95
Figura 20. Vista de la sección geológico transversa A-A´, en dirección SO- NE.....	96
Figura 21. Vista de la sección geológico transversa B-B´, en dirección SO- NE.	96
Figura 22. Figura 20. Vista de la sección geológico transversa C-C´, en dirección SO- NE.....	97
Figura 23. Figura 20. Vista de la sección geológico transversa D-D´, en dirección SO- NE.....	97
Figura 24. Vistas 1,2,3,4 del modelo geológico estructural del ámbito del glaciar Quelccaya.	99
ÍNDICE DE FOTOS:	
Foto 1. Vizcacha característica de la zona; tomada en la Quebrada Cururuni.	34

Foto 2. Cauce de río en el valle Huancarane.....	36
Foto 3. Avalancha de rocas de gran tamaño, quebrada Cururuni	37
Foto 4, Crestas supraglaciares, quebrada Cururuni.	38
Foto 5. Crestas Supraglaciares en quebrada Huancarane	38
Foto 6. Paredes supraglaciares en quebrada Huayllani.	39
Foto 7. Glaciarete en la ladera del cerro Cunorana.	39
Foto 8. Flujo de detritos en la quebrada Pacocucho.....	40
Foto 9. Morrenas con disposición lineal en la base del glaciar Quelccaya, quebrada Huayllani. .	41
Foto 10. Se muestran en celestes morrenas frontales y en rojo morrenas laterales que evidencian el alcance del glaciar Quelccaya, quebrada Pacocucho.....	41
Foto 11. vista hacia el SE, se observa turberas en zonas de baja pendiente, quebrada Huayllani.	42
Foto 12. Laguna Qoyllur Wampuy., formada durante el retroceso del glaciar, quebrada Morojani.	42
Foto 13. Llanuras de obturación en el fondo de valle, quebrada Huancarane	43
Foto 14. Llanuras de obturación a lo largo de la quebrada Cururuni.	43
Foto 15. Superficie de abrasión glaciar en el cerro Machajoma.	44
Foto 16. Superficie de abrasión glaciar en el cerro Pucaorjo.....	45
Foto 17. Superficie aborregada característica de la erosión glaciar, quebrada Huayllani.....	45
Foto 18. Afloramiento de lavas andesíticas porfíricas de color pardo rojizas características del grupo Mitu, cerro Ajollo Mojo.	52
Foto 19. Contacto entre el grupo Mitu y la formación Quenamari, quebrada Cururuni.	53
Foto 20. Afloramiento de riocácitas porfídicas del miembro Chacacuniza en el margen izquierdo de la quebrada Huayllani.....	55
Foto 21. Contacto entre los miembros Chacacuniza y Sapanuta, quebrada Cururuni.	55

Foto 22 Afloramiento de tobas riolíticas con fragmentos líticos de composición volcánica del miembro Sapanuta.....	56
Foto 23. Afloramiento de tobas columnares del miembro Sapanuta, quebrada Huayllani.	57
Foto 24. Disyunción columnar en el norte del glaciar Quelccaya, en el cerro Runcu Tauja.	57
Foto 25. Afloramiento de tobas riolíticas del miembro Yapamayo al pie del glaciar Quelccaya, Laguna Qoyllur Wampuy.....	59
Foto 26. Tobas riolíticas del miembro Yapamayo, se observan fragmentos líticos subredondeados de la misma composición, quebrada Huayllani.	59
Foto 27. Vista hacia el Sur, se puede apreciar un sistema de fracturas con azimut N° 178°-180° y buzamiento sub-verticales (E-O)	65
Foto 28. Vista hacia el Sur, Falla con orientación N198° y buzamiento 88° hacia el NO, Quebrada Pacocucho.	66
Foto 29 Superficie de falla con azimut 323° y buzamiento 75° hacia el NE en la Quebrada Morojani.....	66
Foto 30 Medición del plano de diaclasas del miembro Sapanuta, margen derecho de la Quebrada Huayllani.....	67
Foto 31 Registro de datos de un plano de diaclasas, Quebrada Huancarane.....	69
Foto 32 Sistema de fracturas en estratos de tobas riolíticas del miembro Chacacuniza con rumbo 330° y buzamiento 30° NE.	71
Foto 33 Sistema de fracturas en estratos de tobas riolíticas del miembro Sapanuta con rumbo 283° y buzamiento 40° NE.	72
Foto 34. Vista hacia el Sureste, se puede apreciar los estratos con un azimut de 150° y buzamiento de 40° al SO.....	75

INTRODUCCION

El ámbito glaciar Quelccaya, ubicado en la Cordillera Vilcanota, en los Andes peruanos, es considerado uno de los glaciares tropicales más grandes del mundo, con una superficie aproximada de 38.1 km² y una altitud máxima de 5663 metros sobre el nivel del mar. Este glaciar desempeña un papel crucial no solo como una reserva hídrica estratégica, sino también como un indicador altamente sensible a los efectos del cambio climático. Por ello, el estudio de su modelo geológico estructural resulta fundamental para comprender los procesos geológicos que caracterizan su ámbito, así como para el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación frente al cambio climático global.

Estudios realizados por López (1996) describen a la Formación Quenamari como tobas de composición riolítica, correspondientes a depósitos de flujos piroclásticos, ubicándola dentro del Cenozoico. Asimismo, plantea una división en tres miembros diferenciados por sus características litológicas y procesos deposicionales: Yapamayo, Sapanuta y Chacacuniza. Por su parte, estudios de Chávez y otros (1997) describen fases tectónicas Quechua II y III de carácter distensivo en la Cordillera Oriental. Otros estudios, como los de Rivera, Condori y Valencia (2011), mencionan rocas volcánicas con alto contenido de cristales, alcanzando hasta un 45%. En el año 2016, Condorhuamán A. y colaboradores realizaron la caracterización petrográfica del volcánico Quenamari, diferenciando dos tipos de rocas: tobas de cristales y cuerpos subvolcánicos, ambos de composición riolítica. Posteriormente, Vicente O. y Paredes M. (2020) describieron un sistema de fallas extensionales que facilitó el ascenso del magma y la formación de calderas. También se detallan las etapas de formación de una caldera resurgente. Finalmente, estudios de Soberón y otros (2022) destacan la existencia de una inconformidad entre el Grupo Mitu y la Formación Quenamari.

Sin embargo, no existen investigaciones locales detalladas sobre la geología y geología estructural de la formación Quenamari, donde se encuentra emplazado el glaciar Quelccaya. Aunque instituciones como INGEMMET ha realizado cartografía geológica a escala regional

(1:50,000) en el cuadrángulo de Corani, estos estudios no abordan específicamente la geología estructural local. Otros trabajos se han enfocado principalmente en la evaluación de la superficie glaciar, sin considerar el modelado geológico necesario para comprender el comportamiento de las unidades geológicas subyacentes y su relación con la dinámica del glaciar.

Para avanzar en la comprensión del ámbito del glaciar Quelccaya, es necesario contar con planos geológicos más precisos, especialmente sobre la formación Quenamari, que comprende los derrames lávicos riolíticos y su comportamiento estructural. Este vacío en la información geológica es el principal impulso para desarrollar un modelamiento geológico estructural del glaciar Quelccaya, lo que permitirá obtener una representación más detallada y precisa de su evolución geológica.

El objetivo general de esta investigación es desarrollar un modelo geológico estructural detallado del ámbito del glaciar Quelccaya, Este modelo integrará información sobre la geomorfología, estratigrafía, geología estructural y petrografía del área, permitiendo una representación precisa de las unidades geológicas subyacentes al glaciar, particularmente de la formación Quenamari.

Para la investigación se ha utilizado un enfoque mixto dado que implica la recolección y análisis petrográfico de un grupo de muestras, caracterización de unidades geomorfológicas y estratigráficas, procesamiento de datos geológicos estructurales, así como el uso de softwares para la construcción de secciones geológicas y para el modelamiento de las estructuras geológicas.

Finalmente, la metodología del trabajo comprende 03 etapas: Etapa de precampo, etapa de campo y etapa de gabinete, culminando con la presentación final del proyecto de investigación.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. UBICACIÓN

El ámbito del glaciar Quelccaya geográficamente se ubica en la región sureste del Perú, en la cordillera de Vilcanota, entre la provincia de Canchis del departamento de Cusco y la provincia de Carabaya del departamento de Puno, ver Anexo 10.1, mapa 01. (Díaz Aguilar, Barros Pozo, & Bustinza Urviola, 2022),

Las coordenadas UTM en la zona 19L y con Datum WGS 1984 son las siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas de ubicación del ámbito del glaciar Quelccaya.

PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)
	294035	8473002
Polígono de estudio	313420	8473002
	313420	8447391
	294035	8447391

1.2. ACCESIBILIDAD

El acceso al ámbito de estudio se puede realizar desde la ciudad del Cusco o desde la ciudad de Juliaca, a continuación, se detallan rutas, distancias, tiempos, tipos de vía y medios de transporte para llegar al ámbito del glaciar Quelccaya.

Cuadro 2. Accesibilidad hacia el ámbito del glaciar Quelccaya desde la ciudad del Cusco.

INICIO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VÍA	MEDIO DE TRANSPORTE
Ciudad Cusco – Distrito de Checacupe	99 km	2hrs	Vía asfaltada	Camioneta
Distrito de Checacupe – Centro poblado Phinaya	90 km	2h 25 min	Trocha carrozable	Camioneta
Duración del recorrido: 190 kilómetros - 4 horas 25 minutos				

Cuadro 3. Accesibilidad hacia el ámbito del glaciar Quelccaya desde la ciudad de Juliaca

INICIO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE VÍA	MEDIO DE TRANSPORTE
Ciudad Juliaca – Macusani	210 km	3h 10 min	Vía asfaltada	Camioneta
Macusani – Centro poblado Aymaña	60 km	1h 35 min	Vía asfaltada y trocha carrozable	Camioneta
Duración del recorrido: 270 kilómetros - 4 horas 45 minutos				

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACION

Actualmente, no se cuenta con un modelo geológico estructural que nos permita comprender las interacciones entre la geomorfología, estratigrafía, geología estructural y petrografía del ámbito del glaciar Quelccaya. Desde un enfoque regional el ámbito del glaciar Quelccaya forma parte de la caldera Quenamari, una estructura volcánica de gran relevancia tectónica sobre la cual se tienen diversos trabajos, así como los de Vicente, O & Paredes, M. (2020). Por otra parte, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), ha desarrollado trabajos de cartografiado geológico a escala 1:100 000 y 1: 50 000, estos estudios enfocados en la actualización de la carta geológica nacional N° 47 del: cuadrángulo de Corani, han definido tres miembros relacionados a la formación Quenamari, sin embargo, dada la escala de estudio, servirán como referencia en nuestra investigación. Otros estudios de instituciones públicas y/o de empresas privadas, son enfocados en la evaluación de la masa glaciar del Quelccaya, así como en la prospección de los minerales de uranio y litio asociados al volcánico Quenamari.

Esto nos lleva a formular el siguiente problema de investigación:

1.3.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.3.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la configuración del modelo geológico estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?

1.3.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS

- ¿Cómo será la geomorfología en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?
- ¿Cómo será la estratigrafía en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?
- ¿Cómo será la geología estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?
- ¿Cómo será la petrografía en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la configuración del modelo geológico estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la geomorfología en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.
- Determinar la estratigrafía en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.
- Determinar la geología estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.
- Determinar la petrografía en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.

1.5. HIPOTESIS

1.5.1. HIPOTESIS GENERAL

La configuración del modelo geológico estructural del ámbito del glaciar Quelccaya, presenta una geomorfología de ambiente glaciar, una estratigrafía dominada por la Formación Quenamari, una geología estructural influenciada por fallas normales y de rumbo, y una petrografía dominada por rocas riolíticas y riodacíticas con fenocristales de cuarzo, feldespato, biotita en matriz vítrea.

1.5.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

- La geomorfología del ámbito del glaciar Quelccaya es el resultado de procesos volcánicos y glaciáricos asociados al emplazamiento del glaciar Quelccaya sobre los depósitos de la formación Quenamari, los cuales han modelado un relieve llano de tipo Escandinavo, con valles glaciares, lagunas, depósitos morrénicos y humedales.
- La estratigrafía del ámbito del glaciar Quelccaya muestra secuencias de derrames volcánicos riolíticos denominados formación Quenamari. Estas unidades presentan una disposición estratigráfica que refleja episodios eruptivos diferenciados y períodos de inactividad volcánica.
- La geología estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya presenta un sistema de fallas relacionadas a esfuerzos tectónicos regionales, que controlan la disposición y deformación del macizo rocoso. Estas estructuras han condicionado tanto la estabilidad del terreno como los patrones de drenajes y la evolución geomorfológica del área.
- La petrografía en el ámbito del glaciar Quelccaya se caracteriza por tobas volcánicas riolíticas de la formación Quenamari, caracterizadas por una textura vítrea a porfirítica, con fenocristales de cuarzo, feldespatos y biotitas en una matriz vítrea, característicos de magmas silícicos de alta viscosidad.

1.6. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION

El glaciar Quelccaya, reconocido como uno de los glaciares tropicales más extensos del mundo, no solo constituye un ecosistema singular, sino también un valioso archivo natural donde convergen procesos geológicos, climáticos y glaciológicos de gran relevancia científica. Este estudio es crucial porque amplía el conocimiento sobre la interacción entre la geomorfología, estratigrafía, geología estructural y petrografía, permitiendo una interpretación

más precisa de la evolución de las unidades geológicas sobre las cuales se emplaza el glaciar Quelccaya.

Desde una perspectiva práctica, esta investigación servirá como base para futuros estudios en áreas similares, proporcionando herramientas analíticas y metodológicas para interpretar diversos contextos geológicos. Además, en el contexto del cambio climático, comprender la evolución geológica del glaciar Quelccaya es esencial para prever su dinámica futura y su impacto en los recursos hídricos y ecosistemas estratégicos.

A pesar de que la masa glaciar ha sido ampliamente estudiada y monitoreada, los análisis geológicos y estructurales del macizo volcánico en el que se asienta han estado mayormente enfocados en la geología económica. Esta brecha justifica la necesidad de desarrollar un modelo geológico estructural del glaciar Quelccaya, con el objetivo de obtener una representación precisa y ajustada a la realidad.

1.7. LIMITACIONES

Una de las principales limitaciones de este estudio fue la accesibilidad limitada a ciertas áreas del Glaciar Quelccaya debido a su terreno escarpado y condiciones climáticas adversas. Esto puede haber restringido la capacidad para realizar un muestreo y mapeo geológico exhaustivo.

Los datos estructurales y de composición mineralógica se obtuvieron utilizando técnicas de campo y laboratorio estándar, pero su resolución y precisión podrían mejorarse. Por ejemplo, el uso de imágenes satelitales de alta resolución y tecnología LIDAR podría proporcionar una cobertura más detallada y precisa del terreno. Además, la precisión de las mediciones estructurales, como la orientación de fallas y pliegues, podría mejorarse utilizando dispositivos de medición de alta precisión, como brújulas geológicas digitales con GPS integrado.

Las dataciones radiométricas tomadas como base para este estudio, aunque útiles para proporcionar un marco temporal general, tienen limitaciones en términos de precisión y

resolución temporal. Estudios futuros podrían beneficiarse de técnicas de datación de mayor precisión, como la geocronología por U-Pb en zircones o la datación por Ar-Ar, para obtener una cronología más detallada y precisa de los eventos geológicos en la región.

1.8. METODOLOGIA

1.8.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Mixto: Implica la recolección y análisis petrográfico de un grupo de muestras, caracterización de unidades estratigráficas, procesamiento de datos geológicos y estructurales, así como el uso de un software para el modelamiento de las estructuras geológicas (Carrasco Diaz, 2006).

1.8.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:

No experimental - Transversal, determina la composición y estructuras geológicas actuales en el ámbito del glaciar Quelccaya, en un mismo punto temporal, lo cual es práctico y eficiente (Carrasco Diaz, 2006).

1.8.3. NIVEL O ALCANCE DE INVESTIGACIÓN:

Descriptivo: Se trata de identificar, clasificar, describir y analizar la geología y la geología estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya. (Carrasco Diaz, 2006)

1.8.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:

Deductivo: Se construye el modelo geológico estructural a partir de principios generales de la geología, aplicados al ámbito del glaciar Quelccaya. (Carrasco Diaz, 2006)

1.8.5. PROCEDIMIENTO DE TRABAJO:

El procedimiento de la investigación comprende (03) etapas:

a) ETAPA DE PRE CAMPO

- 1) Recopilación de antecedentes históricos de la zona de estudio y de proyectos aledaños a la zona.

- 2) Revisión de la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y registros digitales como información vectorial, raster y/o satelital.
- 3) Elaboración de mapas base de la zona de estudio (Ubicación, topográfico, geológico, geomorfológico, etc.).

b) ETAPA DE CAMPO

La etapa de campo se desarrollará en dos campañas; las actividades se detallan a continuación:

- 1) Reconocimiento geológico de la zona de estudios.
- 2) Cartografiado geológico, estructural sobre una base topográfica de curvas de nivel cada 10m y obtención de muestras de mano representativas para descripción petrográfica.
- 3) Levantamiento de columnas Estratigráficas.
- 4) Ensayo de ventanas estructurales.
- 5) Toma de fotos de rasgos geológicos de importancia.

c) ETAPA POST CAMPO (GABINETE)

- Confección de mapas geomorfológicos, geológicos, estructurales a escala 1:25 000.
- Descripción macroscópica de las muestras obtenidas en campo y selección de muestras para estudios en sección delgada.
- Interpretación de las columnas estratigráficas.
- Actualización y corrección del cartografiado geológico estructural
- Elaboración de secciones geológicas
- Digitalización final de mapas y/o planos detallados según el requerimiento de los objetivos del presente trabajo.
- Interpretación de los datos obtenidos para la construcción del modelo geológico del glaciar Quelccaya.
- Elaboración de la memoria de la tesis, conclusiones, recomendaciones y anexos.

1.9. MARCO TEORICO

1.9.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Audebaud, y otros (1973), en su investigación titulada “Les-traits-geologiques-essentiels-des-Andes-Centrales-Perou-**Bolivia**”, describen la intensa actividad volcánica en la cordillera oriental entre el Mesozoico y el Cenozoico, destacando la presencia de amplias mesetas volcánicas que, en estudios posteriores, se reconocerán unidades como la llamada Formación Quenamari.

Laubacher (1978), en su investigación titulada “**Estudio geológico de la región norte del Lago Titicaca**”, describe unidades volcánicas ignimbríticas y tobas soldadas que, según la nomenclatura moderna corresponderían a la formación Quenamari. Sugiere que estas rocas volcánicas son más jóvenes que los sedimentos mesozoicos y paleozoicos subyacentes, aunque en su época aún no se contaban con dataciones precisas.

Cheilletz, Clark, Farrare, y Pauca (1990), en su investigación titulada “**Stratigraphy and geochronology of the Macusani ignimbrite field: chronometer of the mio-pliocene geodynamic evolution of the andes of SE Peru**”, determinaron que las ignimbritas del campo Macusani se emitieron en tres episodios principales: 10 ± 1 Ma, entre 8 y 6.8 Ma, y 4 ± 1 Ma. Estos episodios corresponden a un volcanismo de naturaleza riolítica, vinculado a un contexto tectónico de relajación litosférica posterior a las principales fases orogénicas.

Cheilletz, y otros (1992), en su investigación titulada “**Volcano-stratigraphy and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Macusani ignimbrite field: monitor of the Miocene geodynamic evolution of the Andes of southeast Peru**”, proponen que el volcanismo riolítico de la formación Quenamari, se desarrolló en sincronía con eventos tectónicos compresivos, Quechua 2 y 3, indicando que los pulsos de actividad magmática félsica estuvieron estrechamente relacionados a la evolución dinámica de la corteza andina durante el Mioceno.

López (1996), en su investigación titulada “**Geología del cuadrángulo de Nuñoa**”, describe a la formación Quenamari como tobas de composición riolíticas correspondientes a

depósitos de flujos piroclásticos, identifica tres secuencias para la Formación Quenamari, dadas sus características litológicas y procesos deposicionales, a las cuales designa como miembros: Chacacuniza, Sapanuta, y Yapamayo, en todos los casos, los miembros se caracterizan por su naturaleza félsica.

Sandeman, Alan, Clark, y Arroyo (1997), en su investigación titulada **“Lithostratigraphy, petrology and ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of the Crucero Supergroup, Puno department, SE Peru”**, este estudio es clave para entender la estratigrafía volcánica del sur del departamento de Puno, precisando la composición y estructura del Supergrupo Crucero, que luego influiría en el magmatismo cenozoico. Las metapelitas y rocas félsicas del Supergrupo Crucero son considerados protolitos potenciales cuya fusión parcial habría originado los magmas riolíticos que dieron lugar a la Formación Quenamari durante el Cenozoico.

Chávez, Salas, Gutiérrez, y Cuadros (1997), en su investigación titulada **“Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata”**, describen a la formación Quenamari como el resultado de un evento volcánico ignimbrítico que rellenó una depresión tipo graben, controlada por fallas normales como resultado de una tectónica extensional activa en el Mioceno.

Rivera, Condori, & Valencia (2011), en su investigación titulada **“Metalogenia del uranio en las regiones de Cusco y Puno”**, mencionan que la formación Quenamari compuesto por depósitos ignimbríticos riolíticos y que la metalogenia del uranio está controlada por estructuras tectónicas, vinculadas al colapso de calderas y fracturamiento posteruptivo, que favorecieron la circulación de fluidos y la concentración de uranio.

Condorhuamán Suárez y otros (2016), en su investigación titulada **“Características petrográficas del volcánico Quenamari asociadas con la ocurrencia de minerales de uranio”**, caracterizan petrográficamente las muestras de la Formación Quenamari como tobas de cristales con textura fragmental, constituidas principalmente por fragmentos de cristales de composición riolítica con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, inmersos en

una matriz vítrea o microcristalina. Además, identifican la presencia de minerales accesorios como circón y micas portadoras de uranio, siendo este último comúnmente asociado a la biotita.

Vicente, O y Paredes, M (2020), en su investigación titulada “Prospección Geológica y Geoquímica para definir posibles áreas de interés por Litio en la Meseta de Macusani”, combinan análisis estructurales, petrológicos y datos geocronológicos para proponer un modelo evolutivo más preciso del campo volcánico de Quenamari. Indican que la meseta de Macusani está compuesta por rocas ignimbríticas de composición riolítica, ordenadas de base a techo en los miembros Chacacuniza, Sapanuta y Yapamayo. Además, describen un sistema de fallas extensionales que facilitó el ascenso del magma y la formación de calderas, detallando también las etapas de formación de una caldera resurgente.

Soberon y otros (2022) en su investigación titulada “Geología del cuadrángulo de Corani”, indican que la formación Quenamari está compuesta principalmente por rocas volcánicas de composición riolítica a dacítica, caracterizado por los fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. Asimismo, mencionan que esta formación está afectada por estructuras regionales, como fallas normales de alto ángulo y que en muchas zonas descansa en discordancia erosiva angular al grupo Mitu.

1.10. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se mencionan los términos geológicos que se usan en el desarrollo de la investigación:

Geología. - Es la ciencia que estudia la tierra, en todos sus aspectos y alcances, su origen, constitución, evolución, los procesos que se realizan en ella tanto interna como externamente a través del tiempo geológico. Geo = Tierra, Logo = Tratado, discurso lógico (Burga, 2011).

Mapa geológico. - Es la representación cartográfica de la información de los afloramientos de las rocas, su edad, las estructuras geológicas, los yacimientos minerales, los

yacimientos petrolíferos, es decir, contiene toda la información geológica del área que cubre el mapa. (Burga, 2011).

Secciones geológicas. - Los mapas geológicos muestran la distribución de las distintas unidades geológicas en superficie, las relaciones estratigráficas o estructurales que guardan y las estructuras geológicas que afloran. (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002).

Formación. - Es una secuencia de rocas, generalmente de características semejantes, en cuanto a litología, fósiles y edad. Por lo tanto, poseen una facies semejante, cuencas de deposición semejantes y cercanas, y fuentes de aportes de materiales semejantes. (Burga, 2011).

Unidad estratigráfica. - Serie o secuencia litológica de origen sedimentario, con características típicas de composición, de sedimentación, fauna (fósiles), etc. ubicada en el tiempo geológico (Burga, 2011).

Miembro. - Unidad litológica conformada por dos o más pisos. (Burga, 2011)

Toba. - Roca ígnea volcánica, producto de la consolidación de los materiales piroclásticos, bombas, lapilli, cenizas, con material sedimentario que favorece su cementación. Su composición es variable de acuerdo al magma de origen, contiene muchos poros, oquedades, se le usa en construcción y fabricación de cementos. (Burga, 2011).

Geomorfología. - Es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre teniendo en cuenta su origen, naturaleza de las rocas, el clima de la región y las diferentes fuerzas endógenas y exógenas que de modo general entran como factores constructores del paisaje. Geo = Tierra, Morfo = Forma, Logo = Tratado, discurso lógico (Burga, 2011).

Glaciar. - Son masas de hielo depositadas durante los períodos climáticos glaciales o de baja temperatura y que bajo la influencia de la gravedad se desplazan de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba, del centro hacia los lados sin tener en cuenta el declive del circo glaciar, y según la pendiente de terreno en translación o regresión (Burga, 2011).

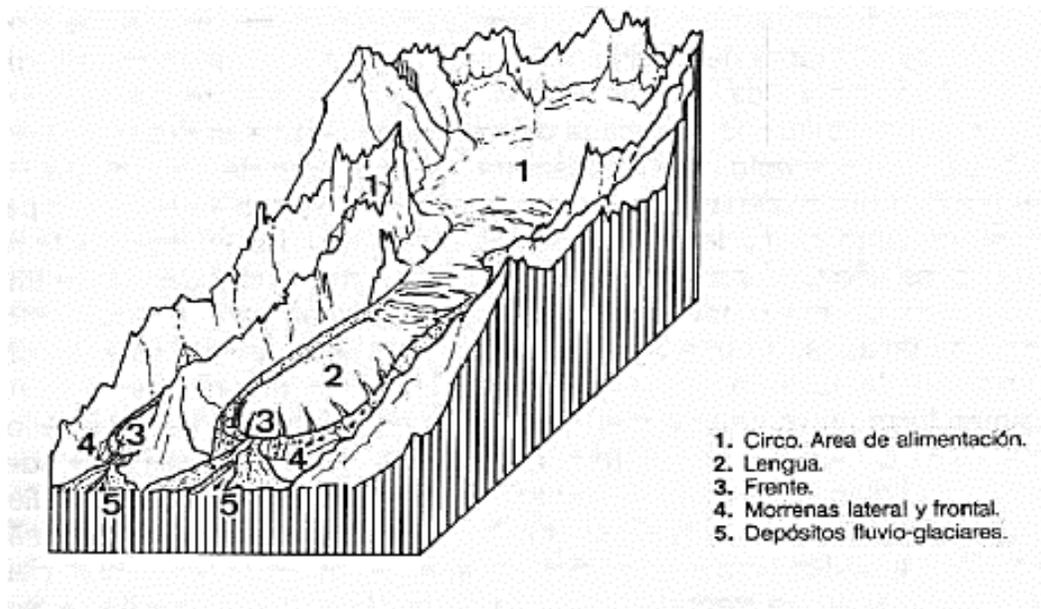


Figura 1. Glaciar de valle, tomado de Muñoz Jimenez (2000), p 249.

Circo glaciar. – Es un valle profundo circular o subcircular, formado por la erosión y arranque glaciar, la acumulación de nieve y la formación de glaciares, se conoce como circo glaciar. En inglés se denomina "glacial cirque", en francés "cirque glaciaire", y en alemán "Kar" (Burga, 2011).

Lengua. – La parte inferior y periférica de un glaciar se conoce como zona basal o zona de ablación. Esta área es donde el glaciar experimenta un proceso de pérdida de masa debido a la fusión del hielo, sublimación o calving, y es generalmente la parte más baja y cercana a los bordes del glaciar (Burga, 2011).

Frente. – El frente glaciar es la línea o zona de contacto entre el glaciar y el entorno exterior, donde el hielo del glaciar comienza a derretirse, sublimarse o fracturarse. Es el punto en el que la acumulación de nieve y hielo en el glaciar se equilibra con la pérdida de masa debido a la ablación (fusión, evaporación, y calving). El frente glaciar puede avanzar o retroceder dependiendo del balance entre la acumulación y la ablación (Benn & Evans, 2010).

Morrenas. - Acumulaciones de material sedimentario transportado y depositado por el glaciar. Las morrenas se clasifican según su posición (laterales, terminales, centrales) y constituyen indicadores clave de la dinámica glaciar (Gutierrez Elorza, 2008).

Depósitos fluvio glaciares. – Este tipo de material es el resultado del transporte inicial de material por el glaciar y su posterior redistribución por las aguas fluviales, una vez que el glaciar se ha retirado o fundido. (Burga, 2011).

Erosión glaciar. – La erosión glaciar es un proceso dominante en regiones de alta montaña y áreas polares, donde el hielo glaciar interactúa con el sustrato rocoso, modelando el paisaje a través de mecanismos dinámicos y físicos. Los glaciares actúan como agentes de erosión al combinar fuerza mecánica, transporte y deposición, transformando los terrenos que atraviesan (Gutierrez Elorza, 2008).

Geología estructural. - Es la disciplina de la Geología que se ocupa de analizar las características estructurales de las masas rocosas que conforman la corteza terrestre. Esto incluye estudiar su distribución geográfica, el tiempo geológico relacionado y las causas que las originaron. (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002).

Tectónica. - Es una especialidad de la Geología dedicada al análisis de los grandes rasgos estructurales de la Tierra, su distribución geográfica y las causas de su formación. Estos rasgos pueden investigarse mediante el uso de imágenes satelitales, el estudio de cadenas montañosas deformadas, y la evaluación de zonas sísmicas y volcánicas, entre otros métodos (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002).

Estructura Geológica. - Se refiere a la disposición espacial y temporal específica que presentan los componentes de una formación rocosa o un conjunto de rocas. Las estructuras geológicas se distinguen por sus características geométricas y otros aspectos clave como forma, tamaño, límites, relaciones, orientación, tipo de material y distribución geográfica. Según su origen y características, estas estructuras se clasifican en primarias y secundarias (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002).

Estructura primaria. - Las estructuras primarias son aquellas que se forman al mismo tiempo que las rocas, ya sea durante su depósito o su emplazamiento. Estas estructuras son

singenéticas, lo que significa que sus rasgos distintivos están presentes antes de que las rocas experimenten deformación. Su presencia es fundamental para comprender los procesos de acumulación o depósito, así como el ambiente en el que se originaron. (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002).

Estructura secundaria. - Las estructuras secundarias son aquellas que se desarrollan después de la litificación de las rocas, como resultado de esfuerzos aplicados y cambios de temperatura. Estas transformaciones, que son irreversibles, se manifiestan en forma de deformación o metamorfismo. Pueden formarse en rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas, y sus características finales dependen de varios factores, incluyendo la naturaleza específica de las rocas sometidas al proceso de deformación (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002).

Esfuerzo. - El esfuerzo es el resultado de un par de fuerzas iguales y opuestas que actúan **sobre un cuerpo por unidad de área ($\sigma = \text{Fuerza} / \text{Área}$). Su magnitud depende tanto de la intensidad de la fuerza como del tamaño de la superficie sobre la que actúa. A través de un plano, el esfuerzo se representa mediante un vector cuya magnitud corresponde a la relación entre la fuerza y el área, y cuya dirección es paralela a la fuerza que actúa en el plano. Este vector puede descomponerse en componentes según un marco de referencia adecuado. Existen varios tipos de esfuerzos. Cuando las fuerzas actúan en direcciones distintas, se les llama esfuerzos diferenciales. Si estas fuerzas tienden a acortar el cuerpo, se denominan esfuerzos compresivos, mientras que, si tienden a alargarlo, se conocen como esfuerzos tensionales. Por otro lado, si las fuerzas no son coaxiales, es decir, no comparten un mismo eje de aplicación, el esfuerzo resultante se denomina esfuerzo de cizalla. En tres dimensiones, los vectores de esfuerzo alrededor de un punto forman un elipsoide conocido como el elipsoide de esfuerzo. Este elipsoide se define por tres ejes **principales denominados σ_1 , σ_2 y σ_3 , cuyas magnitudes cumplen la relación $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ y son mutuamente perpendiculares.** (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002).**

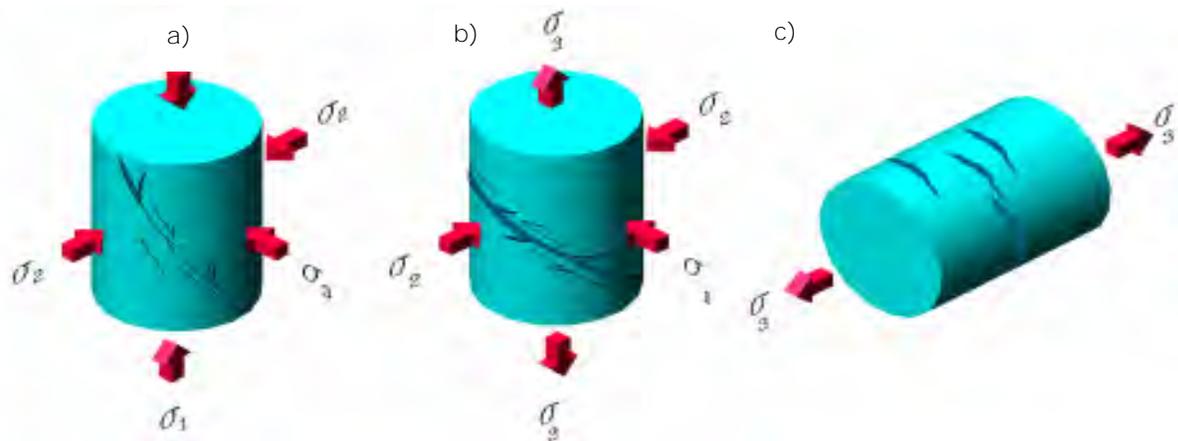


Figura 2. a) Se ilustra el caso de compresión triaxial, caso muy común en la Tierra en el que los tres esfuerzos principales son compresivos. b) se ilustra el caso de extensión axial donde dos de los esfuerzos son compresivos y uno es de tensión; este caso también ocurre en la Corteza Terrestre. c) se ilustra el caso de tensión uniaxial, donde uno de los esfuerzos principales es diferente de cero y es de tensión, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002). p. 12.

Deformación. – La deformación se define como el cambio geométrico que experimenta un cuerpo debido a la acción de un sistema de esfuerzos. En condiciones de compresión, la respuesta varía según el comportamiento del material. En el campo frágil, se generan fracturas de cizalla y tensionales, además de fallas inversas o de transcurrancia. En contraste, en el campo dúctil, las partículas se acomodan sin fracturarse, dando lugar a pliegues como anticlinales y sinclinales.

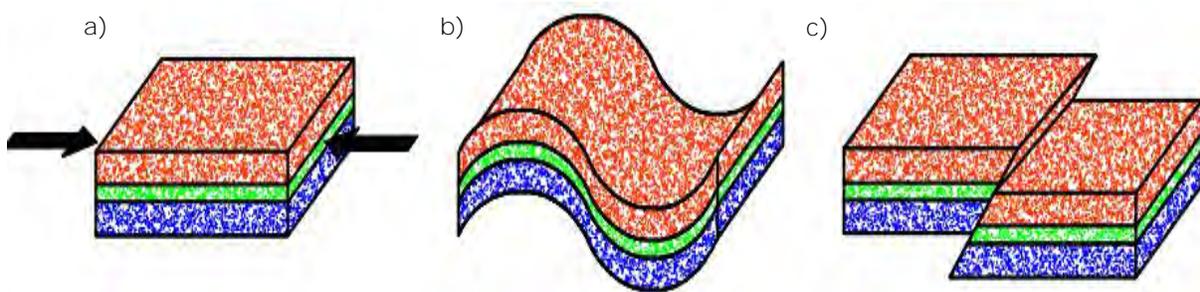


Figura 3. a) Cuerpo no deformado. b) Cuerpo sometido a un sistema de esfuerzos donde predomina un esfuerzo compresivo principal, el resultado dependerá del régimen: en el campo dúctil se forman pliegues. c) En el campo frágil se produce una falla inversa, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002), p. 21.

Cuando la deformación es producto de procesos de extensión, pueden ocurrir adelgazamiento, fracturamiento o la formación de fallas normales.

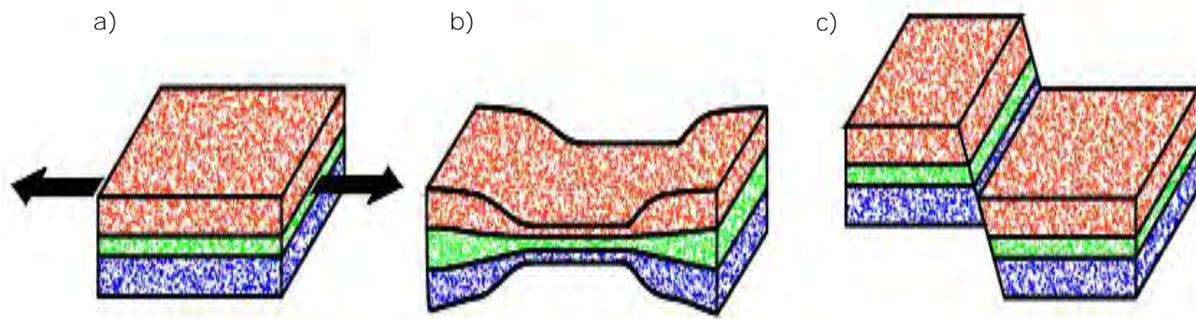


Figura 4. a) Se observa un cuerpo inicialmente no deformado al que se aplica un sistema de esfuerzos dominado por un esfuerzo principal de extensión. b) Este puede provocar adelgazamiento en el campo dúctil, generando una depresión. c) en el campo frágil, la extensión puede causar fracturas o rupturas acompañadas de desplazamiento, dando lugar a una falla normal, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002), p. 22.

Cuando la deformación es provocada por esfuerzos de cizalla, pueden formarse pliegues, fracturas, fallas laterales o zonas de cizalla.

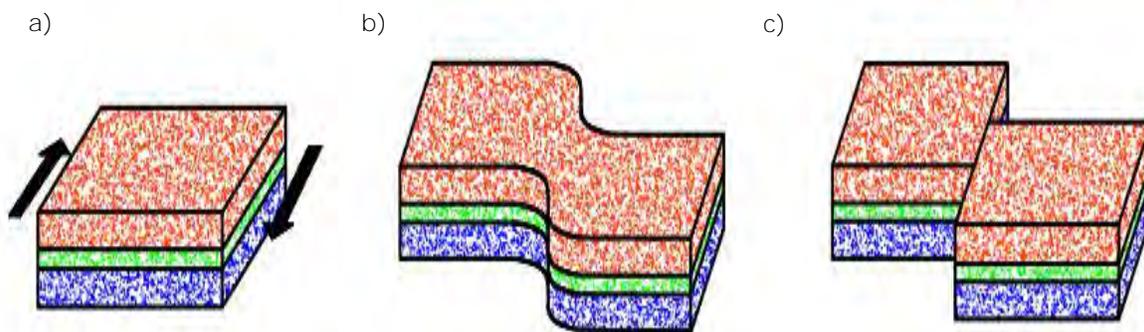


Figura 5. a) Se presenta una secuencia no deformada que es sometida a un sistema de esfuerzos, con el esfuerzo principal de cizalla. b) Este tipo de esfuerzo puede causar flexiones en el campo dúctil. c) Se generan fracturas y fallas laterales en el campo frágil, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002), p. 22.

Rumbo o Strike. – Es el ángulo horizontal entre una línea contenida en un plano geológico y una dirección cardinal, generalmente el norte, siendo una medida clave para caracterizar la orientación de estructuras geológicas como capas o fallas. (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002)

Buzamiento. - Es el ángulo de inclinación de un plano geológico respecto a la horizontal, medido en la dirección perpendicular al rumbo, y es esencial para

determinar la orientación tridimensional de estructuras como estratos o fallas. (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002)

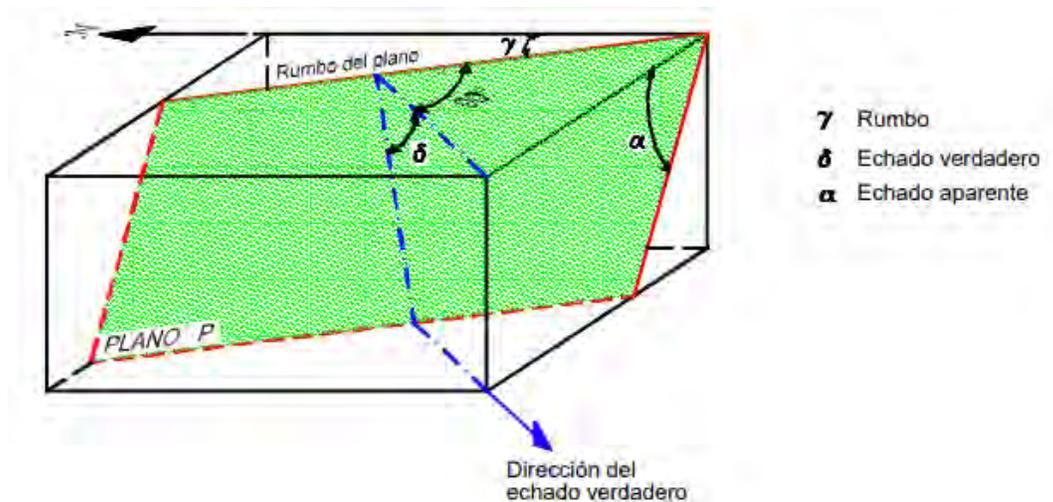


Figura 6. Orientación del rumbo, echado verdadero y aparente respecto a un plano P , tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002). p. 38.

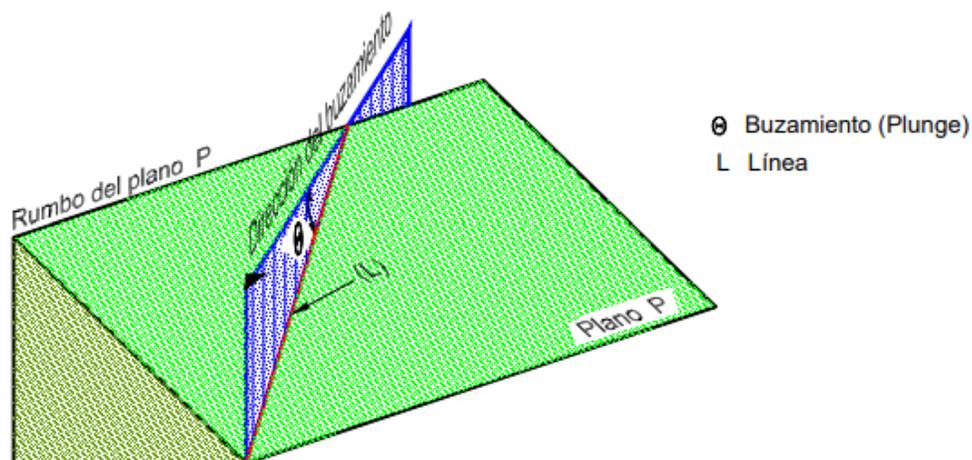


Figura 7. Dirección de buzamiento respecto a un plano horizontal, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002). p. 38.

Red estereográfica. - Las relaciones entre planos y líneas estructurales pueden analizarse mediante métodos de Geometría Descriptiva; sin embargo, una alternativa es emplear la proyección estereográfica, que permite representar orientaciones tridimensionales en dos dimensiones. A través de esta técnica, es posible representar en un solo diagrama múltiples orientaciones de planos, líneas o una combinación de ambos. La proyección estereográfica se

asemeja a otras proyecciones utilizadas en la elaboración de mapas (proyecciones cartográficas), en las que se representan, en vista plana, atributos o características geológicas y/o topográficas de la superficie terrestre utilizando simbología convencional (Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, 2002).

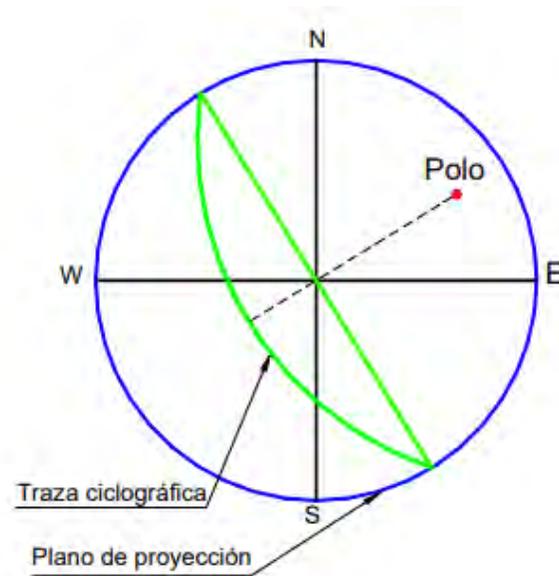


Figura 8. Proyección estereográfica de un plano $S30^{\circ}E\ 60^{\circ}SW$, tomado de Arellano Gil, De la Llata Romero, Carreón Méndez, Morales Barrera, & Villarreal Morán, (2002). p. 148.

Petrología ígnea. – Se centra en el estudio del magma y las rocas formadas a partir de su cristalización. Este campo abarca la comprensión de los procesos de fusión, el ascenso del magma, su evolución, la cristalización y el emplazamiento final de las rocas resultantes.

Petrografía. – Se enfoca en la descripción y clasificación sistemática de las rocas. A través del análisis de secciones delgadas de rocas ígneas con un microscopio petrográfico, es posible correlacionar una textura específica con un proceso particular que ocurrió durante la cristalización de un magma. (Lopez & Bellos, 2021).

Clasificación QAPF. - Inicialmente propuesta por Streckeisen (1976), se basa en la abundancia modal de cuatro grupos de minerales: Q (Cuarzo), A (Feldespatos alcalino), P (Plagioclasas), F (Feldespatoides).

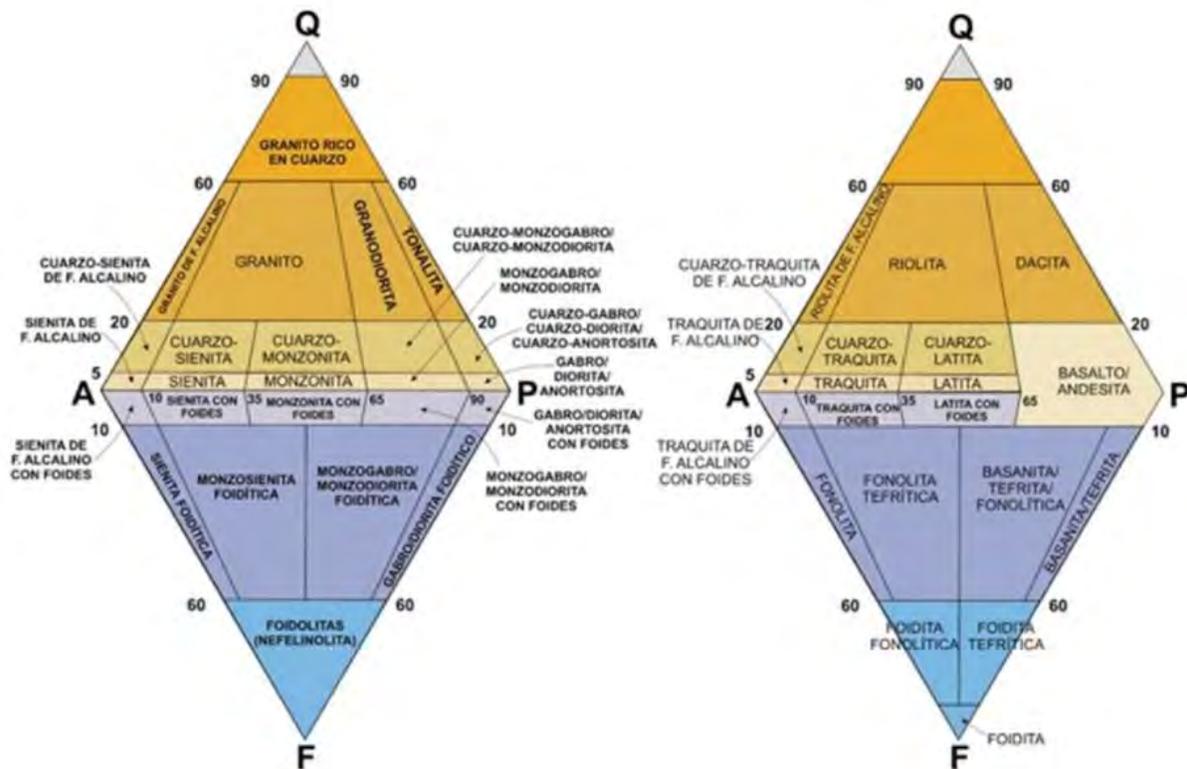


Figura 9. Diagrama QAPF, a la izquierda para rocas ígneas plutónicas y a la derecha para rocas volcánicas, tomada de Lopez & Bellos (2021).

Rocas piroclásticas. —Están constituidos por la acumulación de fragmentos generados por actividad volcánica explosiva. Estos fragmentos pueden ser cristales individuales, fragmentos de cristales, vidrio volcánico o fragmentos de roca. Las rocas piroclásticas se clasifican comúnmente en función del tipo de material fragmentado (denominado colectivamente material piroclástico) o del tamaño de los fragmentos, criterios que se agregan al nombre químico o modal de la roca (Fisher, 1966).

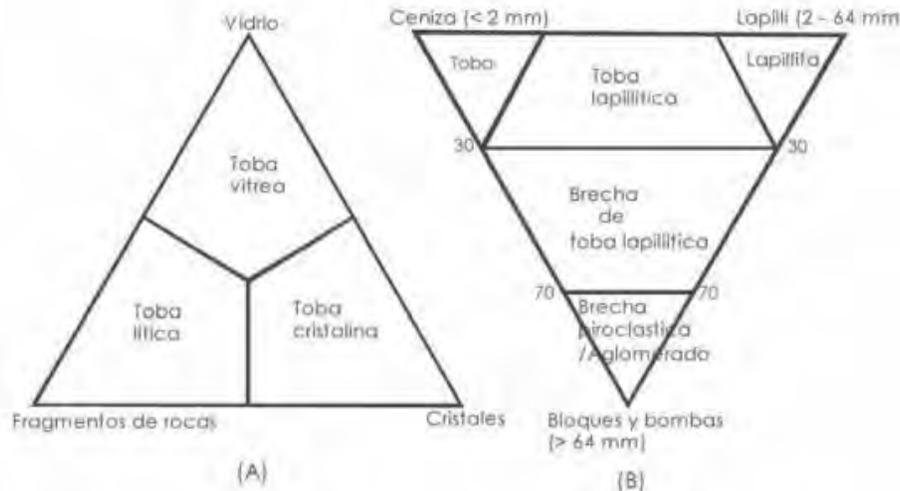


Figura 10. (A) Clasificación de cenizas según su composición fragmentaria, por Schmid (1981). (B) Triángulo de composición para clasificar las rocas compuestas por fragmentos piroclásticos, por Fisher (1966).

1.11. CLIMA, FLORA Y FAUNA

1.11.1. CLIMA

El clima en el ámbito del glaciar Quelccaya está determinado por las altitudes que varían desde los 4500 hasta los 5600 m.s.n.m. Con dos ciclos climáticos visibles durante el año, los cuales se dan entre los meses de:

- Noviembre a abril, corresponde a época de precipitaciones intensas.
- Mayo a octubre, corresponde a la época de estiaje.

El cambio climático actual debido al aumento de la temperatura global, ha acelerado el proceso de desglaciación del glaciar Quelccaya, lo que ha condicionado el desarrollo de la flora y fauna (Díaz Aguilar, Barros Pozo, & Bustinza Urviola, 2022).

1.12. FLORA

La flora en el ámbito del glaciar Quelccaya está dominada principalmente por el pajonal andino, que se extiende en colinas de pendiente suave a terrenos planos. Esta vegetación está formada por hierbas de bajo crecimiento y hierbas en forma de manojos, las cuales son la principal fuente de forraje para la ganadería local (Díaz Aguilar, Barros Pozo, & Bustinza Urviola, 2022)



Foto 3 Vegetación característica de la zona, rodeada del pajonal andino

1.12.1. FAUNA

Existe una diversidad de aves, mamíferos y reptiles, los cuales se han adaptado a las características físicas de la zona y a la disponibilidad de agua y vegetación; se cuentan con 25 especies de aves las cuales están en peligro, amenazados por la caza furtiva, dentro de ellos se tiene a la Parihuana común, el Caracara cordillerano, la Huallata, el Pito, el Aguilucho Variable, la Agachona de vientre rufo, el pato de los torrentes y otros. Entre los mamíferos se cuentan con el Oskollo, Puma, la vicuña, el Ratón campestre vientre blanco, ratón vespertino rojizo, la taruca, la vizcacha, el zorrino y el zorro andino. (Díaz Aguilar, Barros Pozo, & Bustinza Urviola, 2022).



Foto 1. Vizcacha característica de la zona; tomada en la Quebrada Cururuni.

CAPITULO II: GEOMORFOLOGIA

2.1. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS REGIONALES

El ámbito del glaciar Quelccaya se encuentra en la cadena montañosa de la cordillera Oriental de los Andes Peruanos. La cordillera Oriental muestra una serie de relieves diferenciados entre montañas y valles, que evidencian una intensa acción glaciar, caracterizada por valles en U y depósitos morrénicos. Esta cordillera está bordeada al sur por fallas NO-SE que la separan del Altiplano, estas fallas son de Pitumarca y principalmente Urcos, que se muestran actualmente como inversas con vergencia SO. Estos sistemas, junto con el sistema Ccatca-Ocongate, son los controles estructurales de la cordillera Oriental. (Carlotto Caillaux, Cárdenas Roque, & Carlier, 2011)

Las unidades geomorfológicas locales están determinadas por la cordillera del Vilcanota, descrita a continuación:

2.1.1. CORDILLERA DEL VILCANOTA

Constituye una cadena montañosa con una de las mayores acumulaciones de glaciares del Perú, con relieves muy variables alcanzando los 6384 m.s.n.m. de altura máxima en el nevado Ausangate.

La topografía configura todas las zonas, siendo principalmente accidentadas y con formas irregulares, destacando las montañas de Ausangate, Colquepunko, Callangate, Chumpe, Japu Punta Y Quelccaya. Cuya parte superior están cubiertos por depósitos glaciares.

La cordillera del Vilcanota expone principalmente una litología de rocas intrusivas y volcánicas, a diferencia del ámbito de estudio, el cual está dominado por rocas volcánicas piroclásticas de la formación Quenamari, las cuales han sido modeladas por los procesos de deglaciación del glaciar Quelccaya. Así mismo, las diferentes cadenas de montañas muestran restos de los efectos del retroceso glaciar, los cuales han modelado tanto laderas y colinas.

2.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES

El glaciar Quelccaya se sitúa en la línea divisoria de las regiones de Cusco y Puno, presentando relieves que oscilan entre los 4,400 m s.n.m. y los 5,663 m s.n.m. Su rasgo más destacado es su amplia forma de casquete de hielo. Los procesos de erosión e intemperismo han dejado huellas visibles en la superficie del terreno, destacándose por su intensidad y alcance. Estas dinámicas, intensificadas por la acción del glaciar a lo largo de los años, han contribuido a la formación de un paisaje único y complejo.

2.2.1. ABANICO ALUVIAL

Es una forma creada a partir del depósito de sedimentos transportados por corrientes de agua, los cuales se depositan o acumulan al pie de la ladera, formando una estructura con forma de abanico o cono a la salida de un valle.

2.2.2. CAUCE DE RIO

Es el área delimitada por la superficie cubierta por el agua en su máximo nivel de crecida. Su forma y tamaño dependen de las características geográficas y climáticas de la zona.



Foto 2. Cauce de río en el valle Huancarane

2.2.3. AVALANCHA DE ROCAS

Es un tipo de movimiento en masa donde grandes fragmentos de roca y otros materiales se desplazan rápidamente hacia abajo por una pendiente o ladera; se caracterizan por su gran volumen y capacidad para recorrer grandes distancias.



Foto 3. Avalancha de rocas de gran tamaño, quebrada Cururuni

2.2.4. CRESTAS Y PAREDES SUPRAGLACIARES

Son estructuras relacionadas a procesos de erosión y abrasión glaciar. Las crestas supraglaciares están formadas por rocas más duras que han resistido una erosión intensa, las interacciones entre hielo y roca dejan rocas expuestas que sobresalen por encima del glaciar. Las paredes supraglaciares se generan por la erosión de paredes rocosas cercanas al glaciar, formando acantilados o paredes casi verticales.



Foto 4, Crestas supraglaciares, quebrada Cururuni.



Foto 5. Crestas Supraglaciares en quebrada Huancarane



Foto 6. Paredes supraglaciares en quebrada Huayllani.

2.2.5. GLACIARETE

Son masas de hielo de pequeño tamaño, y forma indefinida, se encuentran en depresiones, laderas protegidas, y lechos fluviales.



Foto 7. Glaciarete en la ladera del cerro Cunorana.

2.2.6. FLUJO DE DETRITOS

Es el movimiento en masa de material rocoso de diverso tamaño, suelos y agua, que se desplaza a lo largo de una pendiente por acción de la gravedad.



Foto 8. Flujo de detritos en la quebrada Pacocucho.

2.2.7. MORRENAS

Son acumulaciones de sedimentos y bloques de rocas transportadas por la acción glacial. Están formadas por una mezcla heterogénea de till, que incluye bloques, gravas, arenas y arcillas; su existencia indica el movimiento y retroceso de un glaciar, con extensiones variables, son apreciables en los valles de Anjasi, Chectata, Cururuni, Huancarane, Huasapaco, Huasamillo, Huayllani, Mosoc Cancha, Phacu Cucho, Palljacancho, Quitallacta y Ritiananta.



Foto 9. Morrenas con disposición lineal en la base del glaciar Quelccaya, quebrada Huayllani.

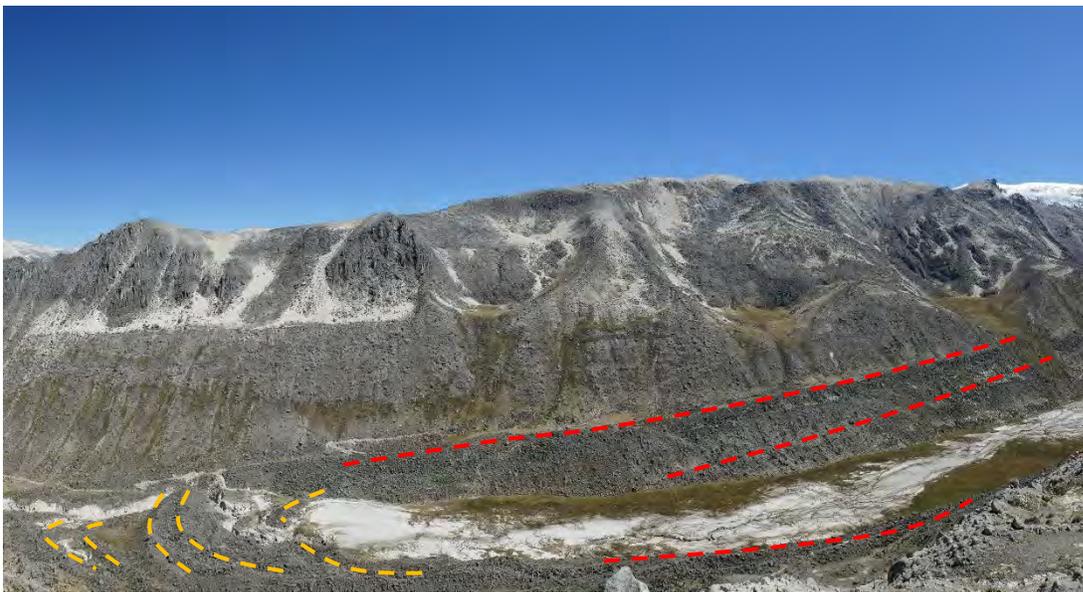


Foto 10. Se muestran en celestes morrenas frontales y en rojo morrenas laterales que evidencian el alcance del glaciar Quelccaya, quebrada Pacocucho.

2.2.8. MORRENA DE FONDO

Son depósitos de sedimentos no estratificados que se acumulan directamente en la base de un glaciar, como resultado de la erosión y el transporte por el hielo. Desempeña un papel clave en la dinámica de los glaciares y la formación del paisaje.



Foto 11. vista hacia el SE, se observa turberas en zonas de baja pendiente, quebrada Huayllani.

2.2.9. LAGUNA

Son cuerpos de agua originados por la erosión glacial durante la etapa de retroceso del hielo. En la zona de estudio se identifican diversas lagunas, ubicadas en los valles de Challpamayu, Huayllani, Morojani, Pacomayu, Phacu Cucho, Palljacancho, Quitallacta y Ritiananta.



Foto 12. Laguna Qoyllur Wampuy., formada durante el retroceso del glaciar, quebrada Morojani.

2.2.10. LLANURAS DE OBTURACIÓN

Son extensas llanuras formadas por sedimentos no consolidados y material orgánico, los cuales se originaron por la acumulación progresiva de materiales en antiguas lagunas colmatadas.

Estos depósitos se encuentran a lo largo de los valles de Anjasi, Chectata, Cururuni, Chachacumani, Huancarane, Huasapaco, Huasamillo, Huayllani, Morojani, Mosoc Cancha, Phacu Cucho, Palljacancha, Quitallacta y Ritiananta, tal como se muestran a continuación:

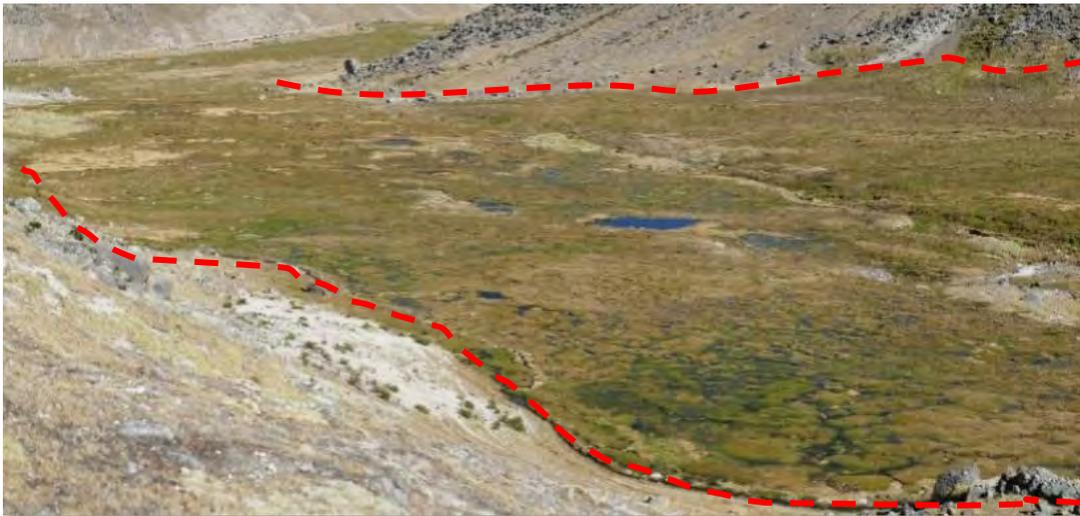


Foto 13. Llanuras de obturación en el fondo de valle, quebrada Huancarane



Foto 14. Llanuras de obturación a lo largo de la quebrada Cururuni.

2.2.11. LLANURA ALUVIAL

Son superficies planas o casi planas formadas por la acumulación de sedimentos depositados por un río durante sus crecidas y desbordamientos. Estas llanuras se desarrollan en los valles fluviales y son el resultado de procesos de erosión, transporte y sedimentación a lo largo del tiempo geológico. En el ámbito se han reconocido principalmente en las quebradas de Challpamayu y Sairemayu.

2.2.12. SUPERFICIE DE ABRASIÓN GLACIAR

Se forman por la acción abrasiva del hielo glaciar sobre el lecho rocoso que se encuentra debajo de él. A medida que el glaciar se desplaza, los sedimentos y fragmentos de roca que transporta rozan la superficie, desgastándola y alisándola, lo que da lugar a superficies planas o suavemente curvadas.



Foto 15. Superficie de abrasión glaciar en el cerro Machajoma.



Foto 16. Superficie de abrasión glacial en el cerro Pucaorjo.

También son visibles superficies aborregadas, las cuales presentan una forma asimétrica debido a la intensa erosión glacial. Estas estructuras muestran un lado más redondeado y suave, mientras que el lado opuesto es más escarpado y abrupto.



Foto 17. Superficie aborregada característica de la erosión glacial, quebrada Huayllani.

CAPITULO III: GEOLOGIA

3.1. INTRODUCCION

El ámbito de estudio forma parte de la Cordillera Oriental de los Andes y se caracteriza por una variedad de formaciones rocosas y depósitos glaciares que ofrecen una rica evidencia de los procesos geológicos y climáticos de la región. Las rocas de esta zona incluyen tanto unidades sedimentarias como intrusivas, que datan de varios períodos, comprendidos desde el Paleozoico hasta el Cenozoico, evidenciando una historia tectónica compleja de levantamientos, deformaciones y actividad volcánica.

3.2. ESTRATIGRAFIA REGIONAL

3.2.1. PALEOZOICO

3.2.2. ORDOVICICO: FORMACIÓN SANDIA

La formación aflora en el sector noreste del ámbito de estudio, específicamente en el Cerro Quello Cunca.

Su litología esta compuesta por areniscas de tonalidades que varían de gris a negro, presentando granulometría fina a media. Estas rocas exhiben laminaciones horizontales planas bien definidas.

La formación se encuentra en contacto concordante sobre las pizarras del Grupo San José y de igual manera subyace en concordancia a la formación Ananea. En ciertos sectores se observan diques de composición granodiorítica que intruyen los estratos de areniscas, evidenciando eventos magmáticos posteriores a la sedimentación.

Dada su posición estratigráfica, se infiere que esta formación es anterior al Silúrico, esta evidencia ubica a esta formación en el Ordovícico superior. (Soberon, Rodriguez, Choquehuanca, & Gómez , 2022)

3.2.3. SILURICO: FORMACION ANANEA

La formación aflora en la Cordillera Oriental, principalmente en el sector Cachi Cachi y en la quebrada Cajamayu junto a unidades del Paleozoico inferior como la formación Sandía.

La litología está dada por pizarras de color gris, las cuales presentan una esquistosidad marcada y bien desarrollada, orientada paralelamente a los planos de estratificación. La litología observada muestra una notable homogeneidad y continuidad lateral, evidenciando una secuencia monótona y uniforme a lo largo de todos los afloramientos estudiados. Este rasgo sugiere condiciones sedimentarias estables y procesos metamórficos consistentes en toda la extensión del área evaluada.

La relación estratigráfica inferior sobreyace concordantemente a la Formación Sandía, mientras que la relación Superior es discordante e infrayacente al Grupo Mitu y posiblemente al Grupo Ambo. (Soberon, Rodriguez, Choquehuanca, & Gómez , 2022)

Debido a la ausencia de fósiles o erosión post-Paleozoico, se impide la identificación exacta en el área de estudio, sin embargo, por similitud litológica y posición estratigráfica, se le asigna esta edad Silúrico-Devónico (Laugbacher, 1978)

3.2.3.1. CARBONÍFERO: GRUPO AMBO

La formación aflora en la pre-cordillera del Carabaya al noreste de la hacienda Cambria, en cerros como Surapata, Huallatune, Laramani, Yanaccacca y más.

La litología está dada por limolitas nodulares de tonalidades gris oscuro a negro, caracterizadas por presentar una estructura laminada y alta fisilidad, lo que facilita su fragmentación en capas delgadas. Estas limolitas se encuentran intercaladas con estratos de areniscas de grano fino a medio, mostrando variaciones granulométricas que reflejan cambios periódicos en las condiciones de sedimentación durante su formación.

Las relaciones estratigráficas, marcan un contacto inferior por falla con la Formación Ananea y el contacto superior es gradacional al Grupo Tarma. Se le asigna la edad Missisipiano, basado en la posición estratigráfica y evidencia fósil (Soberon, Rodriguez, Choquehuanca, & Gómez , 2022)

3.2.4. PÉRMICO-TRIASICO: GRUPO MITU

En la zona de Ayapata, los principales afloramientos geológicos se ubican principalmente en el suroeste, cerca del nevado Allin Ccapac, extendiéndose hacia las cuencas de los ríos Macusani y Corani. En esta última área, las formaciones rocosas se concentran en la región centro-oeste, cubriendo el valle del río Chimboya y Mates, las zonas aledañas a los nevados Escopetane y Quisoquiña, la quebrada Pucamayo y los alrededores del caserío de Phinaya.

La unidad inferior está compuesta por areniscas cuarzosas y arcósicas de granulometría media, con niveles de limolitas, con colores que varían entre pardos y rojizos. La unidad superior de la secuencia litológica está compuesta por una espesa sucesión de flujos de lava. Su exposición más notable se encuentra en el valle del río Corani, desde el caserío de Checta Rumi hasta la zona donde confluye con el río Macusani.

Los estudios estratigráficos revelan que esta formación tiene un espesor que varía entre 1 000 y 1 500 metros. Las coladas individuales presentan grosores de 10 a 20 metros y están compuestas mayormente por lavas andesíticas porfiríticas, con fenocristales de plagioclasa de gran tamaño. Al grupo Mitu se le asigna una edad del Pérmico superior a Triásico inferior (Chávez, Salas, Gutiérrez, & Cuadros, 1997).

3.2.5. CENOZOICO

3.2.6. NEOGENO: FORMACION QUENAMARI

Esta formación aflora principalmente en la meseta de Quenamari y el cuadrante sureste del cuadrángulo de Corani, las rocas de esta unidad litoestratigráfica son descritas como un evento volcánico de carácter ignimbrítico que rellenó una depresión de tipo graben. (Chávez, Salas, Gutiérrez, & Cuadros, 1997)

Se reconocen tres miembros definidos: Chacacuniza, Sapanuta y Yapamayo (López, 1996).

Miembro Chacacuniza (Nm-qu/ch):

Esta unidad sobreyace en inconformidad al grupo Mitu, la litología se trata de tobas lapillíticas litoclásticas de composición riolítica, con espesores promedio de 140 metros (Li, 2016).

Este miembro presenta una composición riolítica, con fragmentos de pómez de tamaño centimétrico y material lítico paleozoico de grano muy fino, que llega hasta los 2 mm.

Mineralógicamente, está compuesto por cuarzo, plagioclasas, biotitas, sanidina y, en menor medida, obsidianas, todos estos componentes inmersos en una matriz de vidrio volcánico con estructuras de shard. (Chávez, Salas, Gutiérrez, & Cuadros, 1997)

Sus características Geoquímicas muestran que son ricas en sílice (69.53% a 72.20%), carácter aluminoso (14.29% a 15.48%), y empobrecimiento en Fe_2O_3 (1.49% a 1.97%), MgO (0.37% a 0.80%), y CaO (0.43% a 1.12%). (López, 1996)

La edad que se le asigna a esta unidad en base a dataciones de Ar/Ar es Mioceno medio, aproximadamente 10 ± 1 Ma. (Cheilletz A. , Clark, Farrare, & Pauca, 1990)

Miembro Sapanuta (Nm-qu/sa):

Esta unidad aflora extensamente en el área de estudio, formando una meseta estructural a altitudes de 4,800 a más de 5,200 m. Se trata de una sucesión tobácea de estructura columnar, con disyunción columnar muy desarrollada. Las riolitas de esta unidad son de grano fino, con tonalidades que van de blancas a grises, bien consolidadas y ricas en cristales (30 % - 45 %) y fragmentos líticos (Li, 2016). Asimismo, los fenocristales se encuentran dominados por cuarzo, sanidina, biotita, moscovita y andalucita. Por su parte, los líticos incluyen calizas, pelitas, cuarcitas, andesitas y riolitas. (Soberon, Rodriguez, Choquehuanca, & Gómez , 2022)

Esta unidad sobreyace en discordancia erosional al Miembro Chacacuniza. Sus características Geoquímicas muestran un alto tenor de SiO₂ (70.21%) y Al₂O₃ (15.23%), bajo Fe₂O₃ (2.02%), MgO (0.30%), CaO (0.82%) y TiO₂ (0.23%). (López, 1996)

La edad que se le asigna a esta unidad es Mioceno medio a superior, aproximadamente 8 a 6 Ma (Cheilletz A. , Clark, Farrare, & Pauca, 1990)

Miembro Yapamayo (Nm-qu/ya):

Esta unidad aflora en el cuadrante sureste del cuadrángulo de Corani, con un buzamiento de 5°, compuesto por sucesión de cuatro flujos de ignimbritas, con espesores entre 30 y 80 metros. Contienen 40 % - 50 % de cristales, los principales fenocristales consisten en sanidina, cuarzo, biotita y muscovita (Li, 2016).

Las características Geoquímicas, indican que contiene cuarzo (30-35%), sanidina (7%), plagioclasa Na (5%), andalucita (1%), biotita (3%), piedra pómez (5%), y líticos (2%). (López, 1996)

La edad que se le asigna a esta unidad es Mioceno superior a Plioceno, aproximadamente 4 ± 1 Ma. (Cheilletz A. , Clark, Farrare, & Pauca, 1990)

La edad de la Formación Quenamari: Mioceno medio a Plioceno inferior, es asumida con apoyo de dataciones radiométricas publicadas en los trabajos Correlación: (Barnes, Edwards, MCLAughlin, Friedman, & Joensuu, 1970; Cheilletz, y otros, 1990; Cheilletz, y otros, 1992; Pichavant, y otros, 1987; Pichavant, Kontak, Briquieu, Valencia, & Clark, 1988).

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD (MA)	UNIDAD	COLUMNA	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0.01	Depósito Aluvial		Gravas, arenas y en matriz arenolimosas	
				Depósito Lacustrino		Sedimentos inconsolidados intercalados con orgánicos	
		PLEISTOCENO	2.58	Depósito Fluvioglacial		Gravas redondeadas a subredondeadas, arenas y limos	
				Depósito Glacial		Bloques, cantos, gravas y arenas	
	NEÓGENO	PLIOCENO	5-33	Formación Quenamari	Miembro Yapamayo		Toba cristalina riolítica Toba cristalina riolítica con fragmentos líticos subredondeados
					Miembro Sapanuta		Depósito de cenizas Toba cristalina riolítica con fragmentos líticos con aparente disyunción columnar
					Miembro Chacacuniza		Tobas con disyunción columnar Flujo lavico riolítico a dacítico con fragmentos líticos pseudoestratificados Toba cristalina riolítica con líticos
		MIOCENO	23.03-237	Formación Quenamari	Grupo Mitu		Flujo lavico riolítico a dacítico con fragmentos líticos Toba cristalina riolítica con líticos Flujo lavico riolítico a dacítico con fragmentos líticos
							Lavas andesíticas de textura porfirítica y naturaleza plagioclásica Areniscas arcóicas rojizas de grano medio
							Areniscas cuarzosas gris a gris verdosas con laminación oblicua, alternadas con estratos delgados de lutitas grises
MESOSOICO	TRIÁSICO	MEDIO	251-90	Formación Ananea		Pizarras de color gris micáceas, laminares, foliadas, con lutitas negras con pequeños niveles de areniscas grises	
PALEOZOICO	PERMIANO	SUPERIOR	323-2	Formación Sandia		Areniscas de tonalidades que varían de gris a negro, con granulometría fina a media y laminaciones horizontales	
		DEVO CARBONIFERO	INFERIOR	393-3			
	SILÚRICO	PRIDOLIANO	419.2				
		SUPERIOR	443.8				

Figura 11 Columna estratigráfica regional del ámbito del glaciar Quelccaya, modificado de Soberon y otros, (2022).

3.3. ESTRATIGRAFIA LOCAL

El mapeo geológico realizado en el ámbito de estudio a escala 1:25,000, revela el predominio de la Formación Quenamari, compuesta por tres miembros diferenciados por López (1996). Hacia el sector norte, esta formación establece contacto estratigráfico con el Grupo Mitu.

A continuación, se detallan las características litológicas y algunas interpretaciones correspondientes.

3.3.1. GRUPO MITU

El grupo Mitu aflora al norte del Glaciar Quelccaya, en los cerros Ajomojo, Pilluchi, Yurac Huayruro y en el cerro Minas Jollo. Se caracteriza por presentar relieves pronunciados, con colores pardo rojizo y rojo violáceo.

En el ámbito de estudio se reconoce principalmente su secuencia volcánica, de composición andesítica y basáltica, con textura porfirítica que varía a afanítica.

El grupo Mitu se encuentra infrayaciendo en inconformidad a la formación Quenamari, especialmente al miembro Chacacuniza. No se aprecia la base de este miembro, por lo que, en base al cuadrángulo de Corani, se estima que esta secuencia sobreyace al Grupo Copacabana. La edad del grupo Mitu se asume en Pérmico superior a Triásico inferior. (Soberon y otros, 2022)



Foto 18. Afloramiento de lavas andesíticas porfiríticas de color pardo rojizas características del grupo Mitu, cerro Ajollo Mojo.

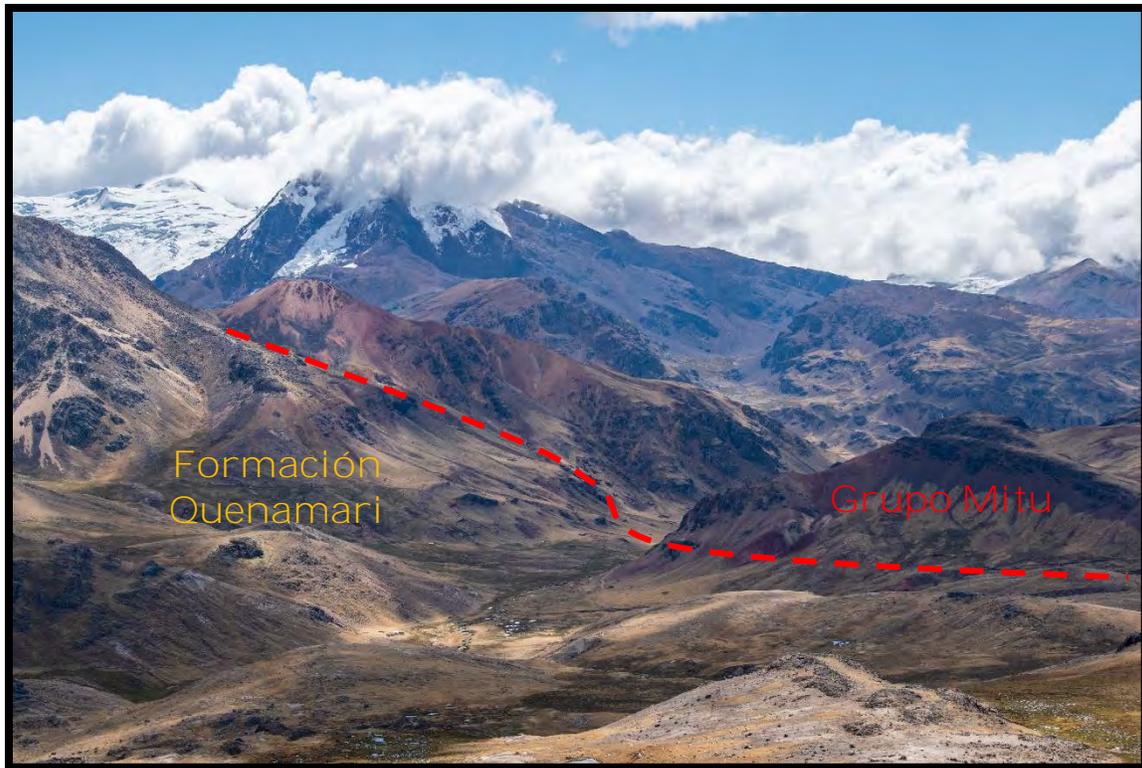


Foto 19. Contacto entre el grupo Mitu y la formación Quenamari, quebrada Cururuni.

3.3.2. FORMACION QUENAMARI

La Formación Quenamari aflora casi en la totalidad del ámbito de estudio, está constituye una unidad litoestratigráfica de notable relevancia en el entorno del glaciar Quelccaya, donde cubre aproximadamente el 99 % de su superficie. Se trata de una amplia sucesión de tobas riolíticas, originadas por múltiples episodios volcánicos, configurando así una geología regional compleja.

Esta formación es fundamental para entender la historia geológica del ámbito del Glaciar Quelccaya. Este conjunto de rocas volcánicas, que incluye tobas riolíticas a dacíticas, se depositó durante un período de intensa actividad volcánica, rellenando una depresión tectónica tipo graben. Este proceso tuvo lugar desde el Mioceno medio hasta el Plioceno, y su resultado es una sucesión de capas volcánicas que dominan la geología local.

La amplia extensión de la Formación Quenamari, junto con la variabilidad en su composición y el nivel de alteración de sus miembros, la convierten en un componente fundamental para el

análisis de la evolución volcánica y tectónica de la zona, así como en un objetivo relevante para investigaciones orientadas a la prospección de minerales. Esta formación está compuesta por tres miembros antes reconocidos por López (1996): Chacacuniza, Sapanuta y Yapamayo, las mismas que se conservan en el presente estudio.

3.3.2.1. Miembro Chacacuniza

Este miembro representa la unidad basal de la Formación Quenamari, aflorando principalmente en el sur del ámbito de estudio, en las quebradas de Huayllani, Huancarane, Phacu Cucho y Saire. Hacia el norte, se observa en las quebradas de Ritiananta y también en Cururuni, donde yace en inconformidad sobre el Grupo Mitu.

Está compuesto por tobas riolíticas y riodacítas porfiríticas de tonalidades que varían entre blanco y gris verdoso, con alto contenido de sílice. Su escaso grado de consolidación indica una estructura poco compacta y con elevada porosidad. Una característica distintiva de este miembro es la presencia de alteración supergénica generalizada, la cual afecta significativamente a los minerales primarios de la roca, dando lugar a la formación de minerales arcillosos como illita y esmectita. Este proceso de transformación es indicativo de condiciones en las que la roca ha estado expuesta a una intensa interacción con aguas meteóricas, promoviendo su alteración química y mineralógica. Los minerales primarios presentes en estas tobas incluyen cuarzo, feldespatos potásico, plagioclasa sódica y biotita.

El contenido de estos cristales en el miembro Chacacuniza es relativamente bajo, alcanzando un máximo de aproximadamente 35%. Esta baja concentración de cristales, junto con la significativa alteración supergénica, sugiere que este miembro representa una fase de actividad volcánica que produjo materiales menos cristalinos o que ha sido afectado por procesos post-depositacionales que han alterado los minerales primarios.

El espesor estimado de este miembro es de aproximadamente 150 metros.

El contacto con el miembro Sapanuta se encuentra marcado por una discordancia erosiva.

De acuerdo con el estudio de Cheilletz y otros. (1990), las dataciones geocronológicas sitúan a este miembro entre 10 ± 1 millones de años, lo que corresponde al Mioceno medio.



Foto 20. Afloramiento de riolacítas porfídicas del miembro Chacacuniza en el margen izquierdo de la quebrada Huayllani.

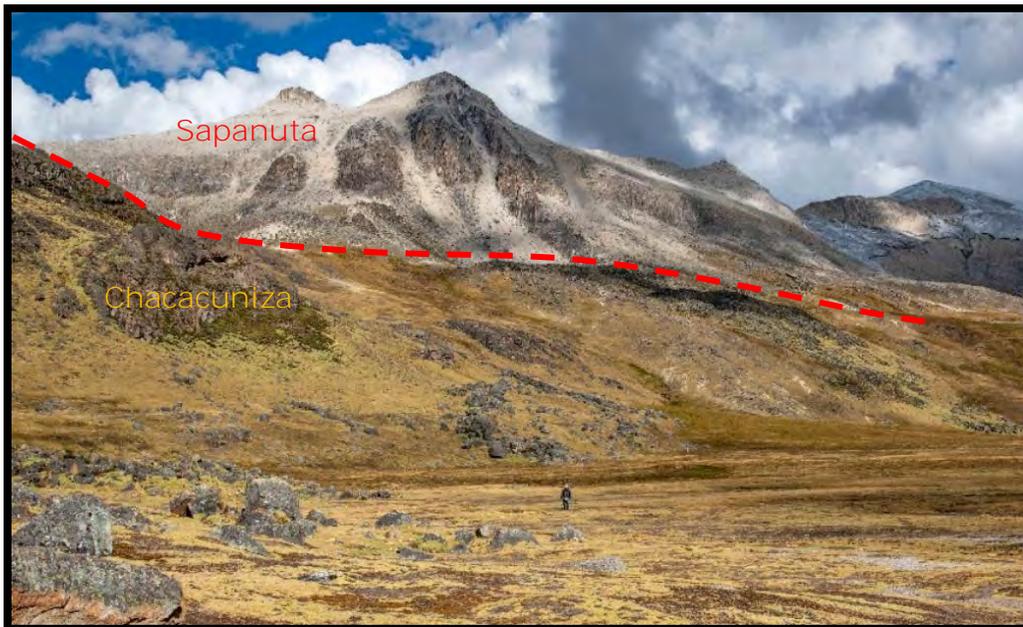


Foto 21. Contacto entre los miembros Chacacuniza y Sapanuta, quebrada Cururuni.

3.3.2.2. Miembro Sapanuta

Este miembro presenta una amplia distribución en el ámbito de estudio, destacando por una estructura columnar bien desarrollada, con un paisaje único.

Está compuesto por tobas riolíticas cristalinas de grano fino, que varían de blanco a gris. Estas exhiben un alto grado de consolidación, lo que indica una estructura compacta y resistente, resultado de una consolidación post-depositacional o de alta cristalización durante su formación. Este miembro es notablemente rico en cristales, con un contenido que varía entre el 35% y 45%, que caracteriza a este miembro de la Formación Quenamari.

Los fenocristales en estas riolitas están dominados por una variedad de minerales como: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y minerales accesorios como zircón. Además de estos fenocristales, el miembro Sapanuta contiene fragmentos líticos de diversa composición, principalmente volcánicos.

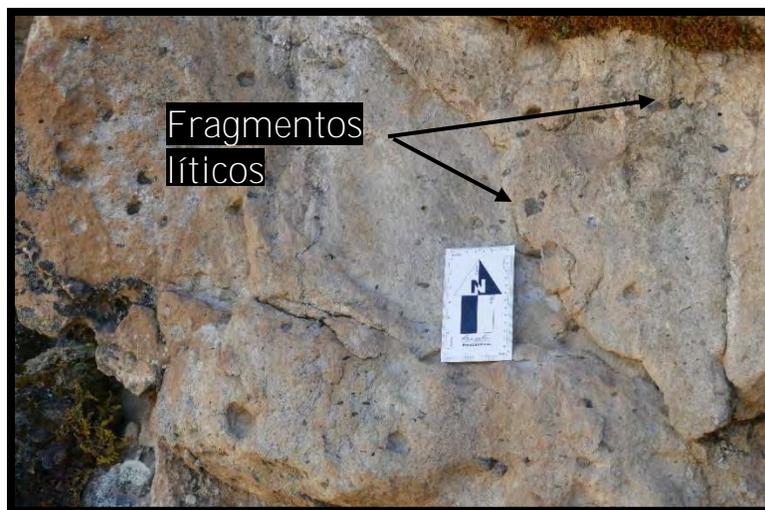


Foto 22 Afloramiento de tobas riolíticas con fragmentos líticos de composición volcánica del miembro Sapanuta.

Un rasgo adicional significativo es la presencia de lapilli, que son fragmentos piroclásticos de tamaño variable, que en este caso varían entre 0.5 cm y 10 cm. Estos fragmentos indican una actividad volcánica explosiva y son un testimonio de la dinámica del evento eruptivo que formó este miembro.



Foto 23. Afloramiento de tobas columnares del miembro Sapanuta, quebrada Huayllani.

En el Cerro Runcu Tauja se aprecian disyunciones columnares bien desarrolladas, con su característica geometría prismática, estas estructuras se generan producto del enfriamiento y contracción del magma.



Foto 24. Disyunción columnar en el norte del glaciar Quelccaya, en el cerro Runcu Tauja.

El espesor estimado para este miembro es de aproximadamente 300 metros en promedio.

El miembro Sapanuta sobreyace con una marcada discordancia erosional al miembro Chacacuniza y en algunas zonas se encuentra sobreyaciendo al grupo Mitu.

De acuerdo con el estudio de Cheilietz y otros. (1990), las dataciones geocronológicas sitúan a este miembro entre 8 a 6.8 millones de años, lo que corresponde al Mioceno superior.

3.3.2.3. Miembro Yapamayo

Es el miembro superior de la Formación Quenamari. Aflora principalmente en la base del glaciar Quelccaya, extendiéndose con mayor desarrollo hacia el sector noreste del área de estudio.

Está compuesto predominantemente por tobas riolíticas que varían de pardo a gris. Estas tobas han experimentado una alteración supergénica de leve a moderada, caracterizada por la transformación de los minerales originales en minerales de arcilla, como illita y esmectita. Esta alteración supergénica indica un ambiente postdeposicional en el que los minerales originarios sufrieron transformación debido a procesos de meteorización superficial. Estos procesos involucraron, probablemente, la interacción con aguas meteóricas y la circulación de fluidos, los cuales promovieron la disolución y recristalización de minerales, modificando así tanto la composición como la estructura de la roca. Las tobas de este miembro contienen entre 40 % - 50 % de cristales, principalmente ortoclasa, andesina, cuarzo, biotita y como accesorios zircón y rutilo.

Además de los cristales, la base de esta unidad es notablemente rica en lapilli y fragmentos líticos. Los lapilli, fragmentos piroclásticos volcánicos de tamaño variable, y los fragmentos líticos, que incluyen una variedad de rocas preexistentes, están presentes en la matriz de la toba. Estos componentes sugieren una historia de deposición volcánica que incluyó eventos eruptivos explosivos, que arrastraron y depositaron estos materiales.



Foto 25. Afloramiento de tobas riolíticas del miembro Yapamayo al pie del glaciar Quelccaya, Laguna Oyllur Wampuy.



Foto 26. Tobas riolíticas del miembro Yapamayo, se observan fragmentos líticos subredondeados de la misma composición, quebrada Huayllani.
El espesor de esta unidad varía de 200 metros en la región Puno y a 250 metros en la región Cusco.

El contacto que separa este miembro de las tobas del miembro Sapanuta es por una inconformidad marcada por una superficie erosional (Soberon y otros, 2022), lo que indica un intervalo de tiempo significativo entre la deposición de los dos miembros, posiblemente asociado a un periodo de erosión o a una pausa en la actividad volcánica.

Las edades radiométricas para el miembro Yapamayo oscilan entre 4 ± 1 Ma. (Cheilletz A. , Clark, Farrare, & Pauca, 1990) Esto sitúa a este miembro en el rango temporal del Mioceno superior al Plioceno, indicando una prolongada fase de actividad volcánica y sedimentaria. Este periodo de tiempo extenso sugiere múltiples eventos eruptivos y deposicionales, lo cual es crucial para entender la evolución tectónica y volcánica de la región del Glaciar Quelccaya.

3.3.3. DEPÓSITOS GLACIARES

Estos depósitos representan evidencias geomorfológicas clave de las glaciaciones cuaternarias que afectaron la región, se encuentran conectados al casquete glaciar del Quelccaya a lo largo de sus diferentes valles; algunas de estas morrenas se encuentran represando lagunas, como en Ananta Cucho, Morojani, Paco, Paco Cucho, Oorikalís.

Están compuestos por materiales no consolidados, sin estratificación, y presentan clastos de bloques, cantos, gravas y arenas soportados por una matriz arenolimoso.

3.3.4. DEPÓSITOS FLUVIOGLACIARES

Estos depósitos se observan en las quebradas de Chacacumani, Chectata, Morojani, Pacocucho, Ritiananta. Están formados por materiales heterométricos, que incluyen gravas, arenas y limos, con cierto grado de selección y estratificación, a diferencia de las morrenas.

Se originaron por la acción del agua proveniente del derretimiento de glaciares, lo que generó corrientes que redistribuyeron los sedimentos glaciares.

3.3.5. DEPÓSITOS ALUVIALES

Estos depósitos se encuentran a lo largo del río Queranimayu, Están compuestos por bloques, grava, arena y limo, con moderada a mala selección en una matriz arenosa. Se encuentran principalmente en los fondos de valle, terrazas fluviales bajas, márgenes de ríos y zonas de abanicos aluviales.

A continuación, se muestra una columna estratigráfica local del ámbito del glaciar Quelccaya, que representa su evolución geológica, desde un ambiente vulcano sedimentario del Pérmico-Triásico: grupo Mitu, pasando por una intensa fase volcánica en el Mioceno: formación Quenamari, hasta procesos glaciares y aluviales del Cuaternario. (ver figura 12)

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD (MA)	UNIDAD	COLUMNA	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0.01	Depósito Aluvial		Gravas, arenas y en matriz arenolimosa	
				Depósito Lacustrino		Sedimentos inconsolidados intercalados con orgánicos	
		PLEISTOCENO	2-58	Depósito Fluvioglaciario		Gravas redondeadas a subredondeadas, arenas y limos	
				Depósito Glaciario		Bloques, cantos, gravas y arenas	
	NEÓGENO	PLIOCENO	5-33	Formación Quenamari	Miembro Yapamayo		Toba cristalina riolítica
							Toba cristalina riolítica con fragmentos líticos subredondeados
							Depósito de cenizas
		MIOCENO	23.03-237	Formación Quenamari	Miembro Sapanuta		Toba cristalina riolítica con fragmentos líticos con aparente disyunción columnar
							Tobas con disyunción columnar
							Flujo lavico riolítico a dacítico con fragmentos líticos pseudoestratificados
MESOZOICO	TRIÁSICO	MEDIO	Grupo Mitu			Toba cristalina riolítica con líticos	
						Flujo lavico riolítico a dacítico con fragmentos líticos	
PALEOZOICO	PERMICO	SUPERIOR	251.90			Lavas andesíticas de textua porfirítica y naturaleza plagioclásica	
						Areniscas arcóscicas rojizas de grano medio	

Figura 12. Columna estratigráfica local del ámbito del glaciar Quelccaya.

CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El Glaciar Quelccaya, siendo uno de los glaciares tropicales más extensos del mundo, descansa sobre una estructura tectónica que ha sido moldeada por varios episodios de actividad tectónica. Estas actividades han influenciado tanto la formación como la evolución de las unidades geológicas de la región, incluyendo la formación de grabens y horsts, así como la reactivación de fallas preexistentes. La presencia de estas estructuras es fundamental para entender no solo la historia geológica de la región, sino también los procesos actuales que afectan la estabilidad y dinámica del glaciar.

En el contexto de la Cordillera Oriental, la actividad tectónica se caracteriza por un alto grado de complejidad debido a la interacción de esfuerzos tectónicos horizontales y verticales.

4.1. FASES TECTONICAS

Laugbacher (1978), reconoce varias fases tectónicas asociadas a las secuencias mesozoicas-cenozoicas, para el ámbito del glaciar Quelccaya se describen las siguientes:

4.1.1. FASE TARDEHERCÍNICA

Se identifica una discordancia angular entre los Grupos Copacabana y Mitú, asociada a un evento de plegamiento. Esta discordancia marcaría el cierre de la fase tectónica tardihercínica, ocurrida durante la transición entre el Pérmico inferior y superior. (Chávez, Salas, Gutiérrez, & Cuadros, 1997)

Dicha fase incluyó el desarrollo de fallas longitudinales y volcanismo asociado, con mayor intensidad en los ejes de los bloques paleozoicos. (López, 1996)

4.1.2. FASE QUECHUA II (MIO-PLIOCENO)

La fase distensiva en el SO de la Cordillera Oriental produjo fracturamiento y depresiones como la de Corani-Ananea, posteriormente rellenas por ignimbritas félsicas que cubren las fallas

normales y yacen discordantes sobre el Paleozoico superior. (Chávez, Salas, Gutiérrez, & Cuadros, 1997)

4.1.3. FASE QUECHUA III (PLIOCENO)

Los depósitos ignimbríticos tabulares muestran deformación distensiva, con fallas y fracturas mapeadas en el ámbito del glaciar Quelccaya. (Chávez, Salas, Gutiérrez, & Cuadros, 1997)

4.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL (MIOCENO – PLIOCENO)

El ámbito de estudio del Glaciar Quelccaya, ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes peruanos, presenta una geología estructural compleja, resultado de una larga historia tectónica que abarca varias eras geológicas. Esta región es particularmente interesante debido a la interacción de diferentes eventos tectónicos, que incluyen deformaciones compresionales y extensionales, influenciadas por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La tectónica de esta zona ha dado lugar a una variedad de estructuras geológicas, como fallas, pliegues y fracturas, que han moldeado significativamente la configuración actual del terreno y la disposición de las unidades litológicas.

Estos esfuerzos han generado una serie de estructuras de falla y pliegue con direcciones de NO-SE, NE-SO, N-S y E-O, que controlan la topografía. Además, la tectónica de la región ha influido en la formación de cuencas sedimentarias y volcanes, cuya actividad ha sido registrada en las unidades litoestratigráfica presentes.

El análisis de la geología estructural del área de estudio del Glaciar Quelccaya es crucial para entender los procesos de formación y deformación de las rocas, así como para evaluar el impacto de los procesos tectónicos en la dinámica glaciar. Este estudio también es vital para la identificación de recursos geológicos y la evaluación de riesgos, como terremotos y movimientos en masa, que pueden ser desencadenados por la actividad tectónica en la región.

4.2.1. ORIENTACIONES ESTRUCTURALES EN EL AMBITO DEL GLACIAR QUELCCAYA

En el presente estudio se han analizado cuatro zonas con registros de datos estructurales abarcando varias orientaciones estructurales significativas en el ámbito.

A continuación, se describen estas orientaciones, junto con la importancia y efectos en la geología local del ámbito.

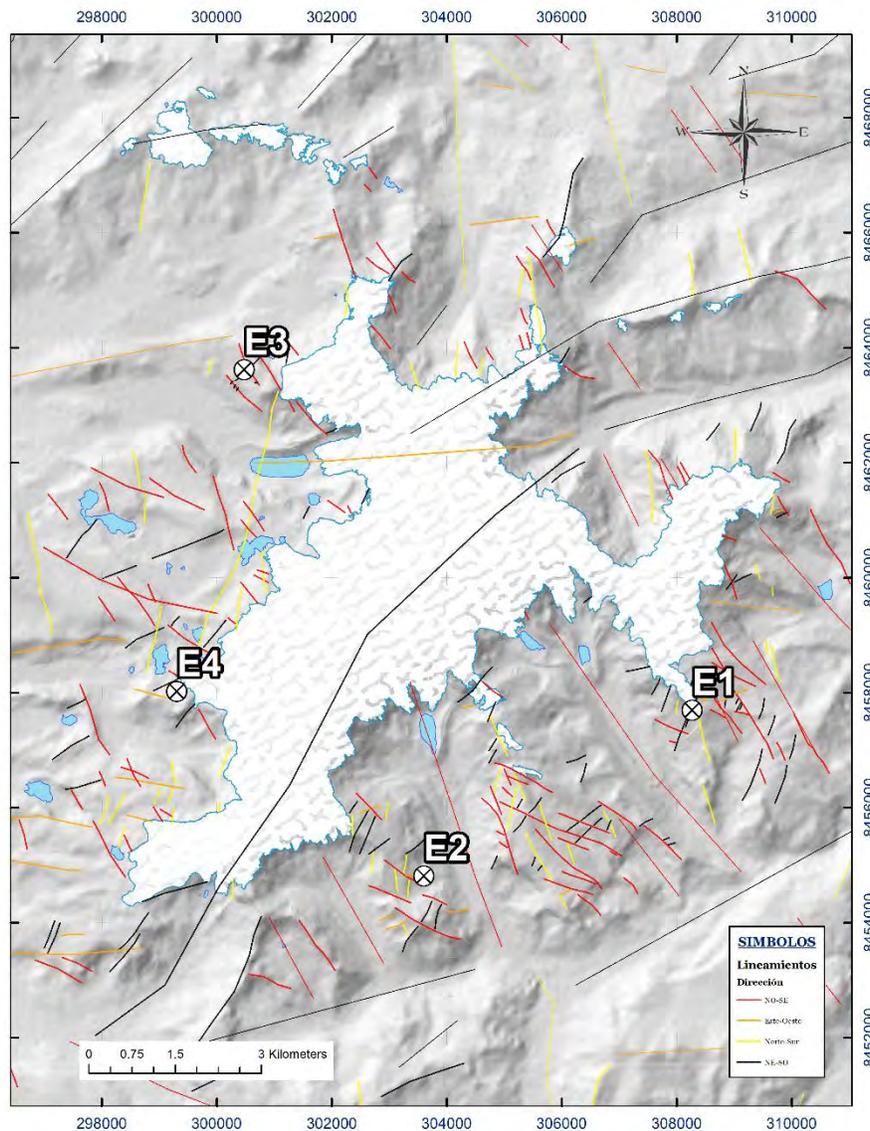


Figura 13 Plano de ubicación de los registros de datos estructurales

- a) Norte-Sur (N-S): Esta orientación predominante condiciona el desarrollo de valles con perfil en "U" y define la dirección del flujo glaciar. Esta disposición de las estructuras geológicas refleja un régimen compresivo este-oeste, característico de esta zona de la cordillera andina.
- b) Este-Oeste (E-O): Esta orientación también es significativa, observándose una notable extensión del hielo según esta orientación. Las estructuras orientadas E-O son comunes en áreas con tectónica compresiva, como los Andes centrales.
- c) Noroeste-Sureste (NO-SE) y Suroeste-Noreste (SO-NE): Estas orientaciones son secundarias pero importantes, especialmente en la formación de valles y la morfología del glaciar. Indican una complejidad estructural adicional posiblemente debido a la interacción de diferentes fases tectónicas.



Foto 27. Vista hacia el Sur, se puede apreciar un sistema de fracturas con azimut $N^{\circ} 178^{\circ}-180^{\circ}$ y **buzamiento sub-verticales (E-O)**.



Foto 28. Vista hacia el Sur, Falla con orientación $N198^\circ$ y buzamiento 88° hacia el NO, Quebrada Pacocucho.



Foto 29 Superficie de falla con azimut 323° y buzamiento 75° hacia el NE en la Quebrada Morojani.

Las orientaciones estructurales, junto con características geológicas como acantilados empinados y cascadas de hielo, influyen en la geomorfología general del casquete de hielo de Quelccaya.

4.3. ANÁLISIS DE LOS CONJUNTOS DE DATOS

Se han analizado cuatro registros con datos estructurales, obtenidos en una región geológicamente compleja. Cada conjunto de datos incluye información sobre la densidad de polos de planos, características de los planos axiales y análisis de diagramas de rosas en diaclasas. Estos análisis son cruciales para entender la evolución tectónica y la deformación estructural de la región.

Registro de datos estructurales 1

Análisis: El Kamb Contouring se utiliza para representar la densidad de polos de planos estructurales en un diagrama estereográfico. Un intervalo de contorno de 2 sigma destaca áreas con una densidad de polos significativamente mayor que la esperada en una distribución aleatoria. La significancia de 3 sigma indica que estas concentraciones son estadísticamente relevantes (Ver Anexos: 10.2. y 10.2.1).

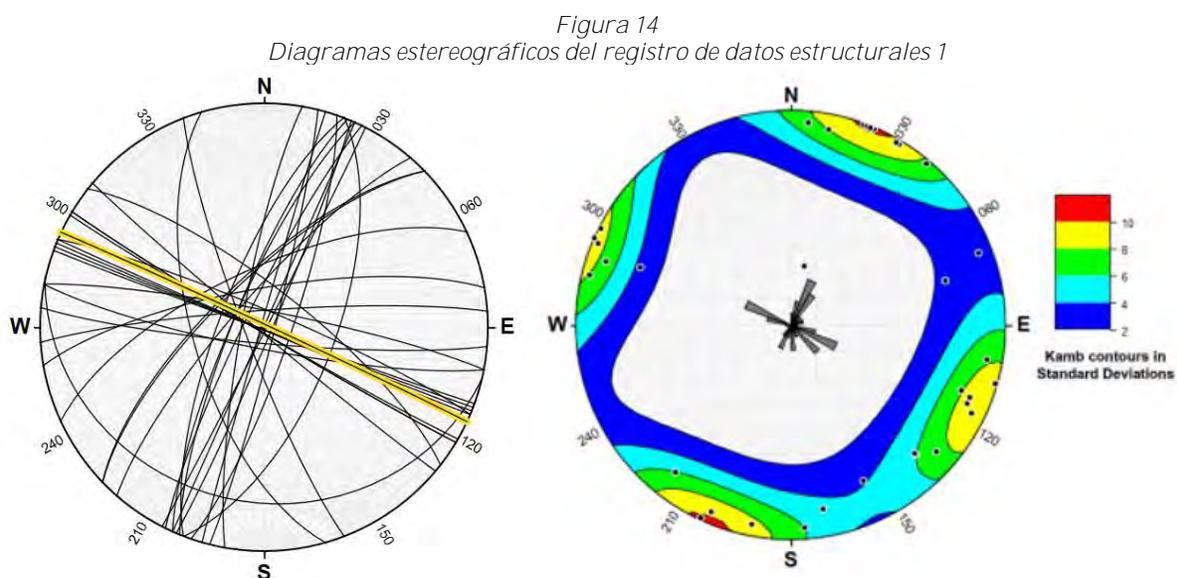


Foto 30 Medición del plano de diaclasas del miembro Sapanuta, margen derecho de la Quebrada Huayllani

Interpretación: La tendencia y el plunge del eje del pliegue indican una orientación casi vertical, lo que sugiere un plegamiento muy pronunciado. El rumbo y el buzamiento muestran que el plano axial está orientado de manera cercana al E-O. El ángulo interlimbo de 162° indica que el pliegue es isoclinal, con flancos casi paralelos, lo que es característico de un entorno tectónico con compresión intensa. Segundo plano axial presenta características similares al primer plano, con una ligera variación en el rumbo, lo que sugiere una complejidad estructural adicional en la región (Ver Figura 14).

El diagrama de rosa muestra que la orientación predominante de los planos estructurales se encuentra entre 101° y 110° , lo que indica una preferencia hacia una orientación este-oeste.

El vector medio y la longitud media reflejan una dispersión moderada de las direcciones de los planos, con una concentración significativa en esta orientación, lo cual se refleja en los valores de varianza circular y kappa (Ver Figura 14).



La figura muestra dos diagramas estereográficos, uno con los polos de planos estructurales trazados y otro con el contorno de densidad Kamb, resaltando las concentraciones de polos. La orientación E-O es predominante y las concentraciones estadísticamente significativas de polos indican un régimen tectónico compresivo en la región del Glaciar Quelccaya.

Los datos de este conjunto revelan una estructura geológica con pliegues isoclinales, caracterizados por una compresión tectónica intensa. Las orientaciones predominantes esteoeste de los planos estructurales, junto con los ángulos interlimbo altos y la orientación casi vertical de los pliegues, sugieren un régimen tectónico compresivo dominante.

3.1.2. Registro de datos estructurales 2

Análisis: El Kamb Contouring es una técnica usada para visualizar la densidad de polos en un diagrama estereográfico, que aquí muestra áreas de alta concentración de polos. Un intervalo de contorno de 2 sigma significa que se destacan áreas donde la densidad de polos es significativamente mayor que la de una distribución aleatoria esperada. La significancia de 3 sigma indica que estas áreas de alta densidad son estadísticamente significativas (Ver Anexos: 10.2. y 10.2.2).

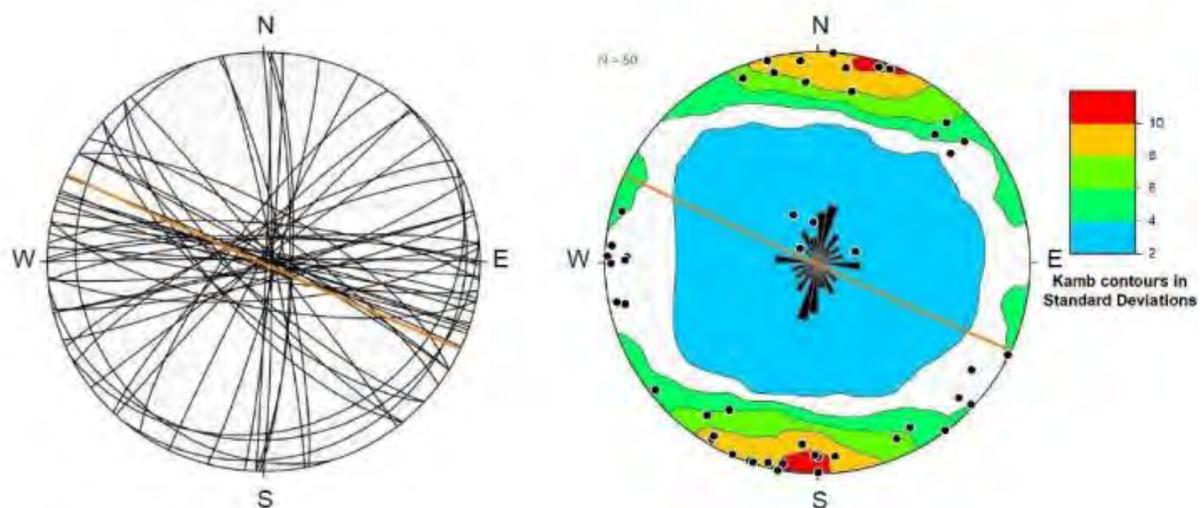


Foto 31 Registro de datos de un plano de diaclasas, Quebrada Huancarane

Interpretación: La tendencia y el plunge del eje del pliegue sugieren una orientación de la estructura casi vertical con un ángulo de plunge de 89° , lo que indica un plegamiento muy pronunciado. El rumbo y el buzamiento del plano axial reflejan que este pliegue tiene una orientación cercana al E-O (115°), con un buzamiento casi vertical (89° S). El ángulo interlimbo de 167° indica que el pliegue es isoclinal, lo que significa que los flancos del pliegue son casi paralelos entre sí, evidenciando una compresión tectónica significativa (Ver Figura 15).

El diagrama de rosa muestra que la orientación predominante de los planos estructurales está entre 11° y 20° , indicando una orientación predominante N-S. El vector medio de $006.8^\circ \pm 19.1^\circ$ y la longitud media de 0.2975 reflejan la dispersión de las direcciones de los planos. La varianza circular y el valor de kappa sugieren una moderada concentración de las orientaciones estructurales en esta dirección (Ver Figura 15).

Figura 15
Diagramas estereográficos del registro de datos estructurales 2



La figura muestra dos diagramas estereográficos, uno con los polos de planos estructurales trazados y otro con el contorno de densidad Kamb, resaltando las concentraciones de polos. La orientación N-S es predominante y las concentraciones estadísticamente significativas de polos indican un régimen tectónico compresivo en la región del Glaciar Quelccaya.



Foto 32 Sistema de fracturas en estratos de tobas riolíticas del miembro Chacacuniza con rumbo 330° y buzamiento 30° NE.

El análisis de este conjunto de datos revela una estructura geológica dominada por pliegues isoclinales con orientaciones predominantes N-S. La compresión tectónica fuerte es evidente por el alto ángulo interlimbo y el plungue casi vertical del eje del pliegue. La orientación predominante hacia el N-S, sugiere una dirección de estrés tectónico principal en esa dirección, lo cual es típico de una tectónica compresiva, como la que se encuentra en los Andes centrales.

3.1.3. Registro de datos estructurales 3

Análisis: El Kamb Contouring es una técnica utilizada para mostrar la densidad de polos de planos estructurales en un diagrama estereográfico. El intervalo de contorno de 2 sigma indica áreas de alta densidad de polos, mientras que el área de conteo del 27.27% del área total sugiere una distribución relativamente amplia de los planos (Ver Anexos: 10.2. y 10.2.3).

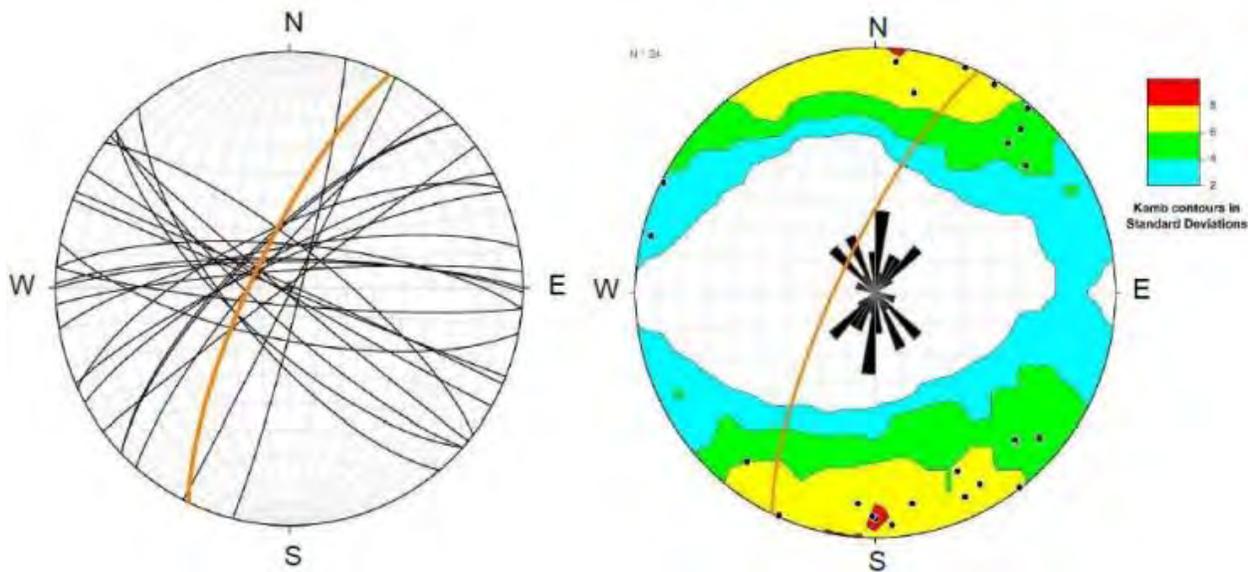


Foto 33 Sistema de fracturas en estratos de tobas riolíticas del miembro Sapanuta con rumbo 283° y buzamiento 40° NE.

Interpretación: La tendencia y el plungue del eje del pliegue indican que el pliegue tiene una orientación aproximada NO-SE. El rumbo y el buzamiento del plano axial, junto con un ángulo interlimbo de 164°, sugieren que el pliegue es casi isoclinal. Esto significa que los flancos del pliegue son casi paralelos, indicando una compresión intensa y posiblemente una tectónica compresiva fuerte en esta región (Ver Figura 16).

El diagrama de rosa muestra que la orientación predominante de los planos estructurales está entre 1° y 10°, lo que sugiere una dirección estructural dominante casi N-S. La varianza circular y el valor de kappa indican que hay una concentración moderada de estas direcciones, aunque con algo de dispersión (Ver Figura 16).

Figura 16
Diagrama estereográfico del registro de datos estructurales 3



La figura muestra dos diagramas estereográficos, uno con los polos de planos estructurales trazados y otro con el contorno de densidad Kamb, resaltando las concentraciones de polos. La orientación N-S es predominante y las concentraciones estadísticamente significativas de polos indican un régimen tectónico compresivo en la región del Glaciar Quelccaya.

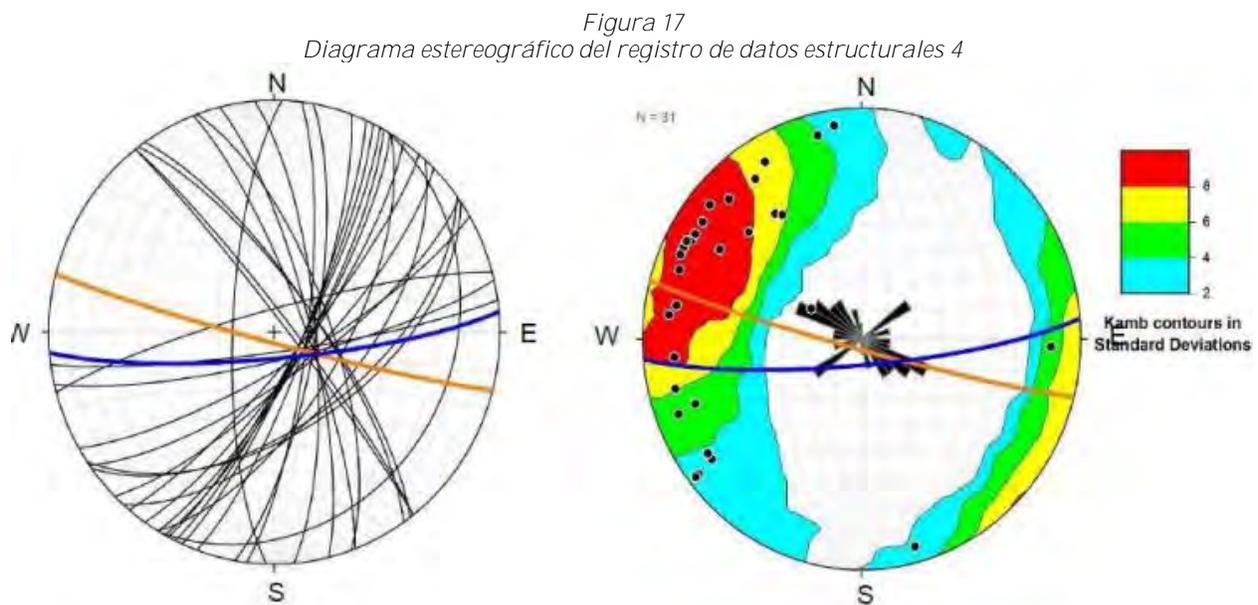
El análisis de este conjunto de datos revela una estructura geológica dominada por estructuras con orientaciones NO-SE y una significativa compresión tectónica. La presencia de pliegues casi isoclinales sugiere una fase tectónica en la que la región experimentó una fuerte compresión, resultando en la paralelización de los flancos de los pliegues. La orientación predominante de los planos estructurales, casi N-S, y el relativamente alto valor de kappa, reflejan una dirección de estrés tectónico coherente en esta área.

3.1.4. Registro de datos estructurales 4

Análisis: El Kamb Contouring muestra la densidad de polos de los planos estructurales, lo que permite identificar áreas de alta concentración. Un intervalo de contorno de 2 sigma sugiere que estas áreas tienen una concentración significativamente mayor de polos que el promedio esperado para una distribución aleatoria (Ver Anexos: 10.2 y 10.2.4).

Interpretación: Este primer plano axial muestra un eje de pliegue con una tendencia cercana al este y un plungue casi vertical, indicando una compresión intensa que ha llevado a una casi completa paralelización de los flancos del pliegue. Segundo plano es similar al primer plano, este segundo plano axial también muestra una compresión intensa, aunque con una ligera variación en la orientación del rumbo. Este plano muestra una mayor inclinación del plano axial hacia el S, lo que sugiere una variación en las condiciones tectónicas locales (ver Figura 17)

El diagrama de rosa indica que la orientación predominante de los planos estructurales está entre 111° y 120° , con un vector medio de 114° , lo que sugiere una dirección estructural dominante en esa área. La varianza circular baja y el valor alto de kappa indican una dispersión relativamente baja y una fuerte concentración de direcciones (ver Figura 17).



La figura muestra dos diagramas estereográficos, uno con los polos de planos estructurales trazados y otro con el contorno de densidad Kamb, resaltando las concentraciones de polos. La orientación N-S es predominante y las concentraciones estadísticamente significativas de polos indican un régimen tectónico compresivo en la región del Glaciar Quelccaya.

Los datos del conjunto de la estación 4, revelan una estructura geológica compleja con múltiples pliegues isoclinales y una orientación predominante hacia el NO-SE. Los altos ángulos interlimbo sugieren una fuerte compresión tectónica, posiblemente relacionada con procesos orogénicos en la región de los Andes. La variabilidad en los rumbos y buzamientos de los planos axiales indica una dinámica tectónica multifásica, lo cual es típico en regiones con una historia tectónica prolongada y activa.



Foto 34. Vista hacia el Sureste, se puede apreciar los estratos con un azimut de 150° y buzamiento de 40° al SO.

Para el presente estudio se han recolectado y analizado un total de 155 datos estructurales, revelando una serie de pliegues isoclinales y una intensa compresión tectónica en la región. Los análisis sugieren un régimen tectónico complejo con orientaciones predominantes en las direcciones N-S y E-O. Esta información es fundamental para comprender la historia tectónica de la región y para futuras investigaciones geológicas y proyectos de desarrollo.

CAPITULO V: MODELO GEOLOGICO

5.1. METODOLOGIA DEL DISEÑO

La metodología empleada en este estudio abarca un enfoque integral que combina técnicas de campo, análisis de laboratorio y métodos avanzados de análisis de datos. Estos procedimientos se aplican para investigar de manera exhaustiva la geología del ámbito del glaciar Quelccaya. A continuación, se detallan las fases principales que componen la secuencias el diseño del estudio:

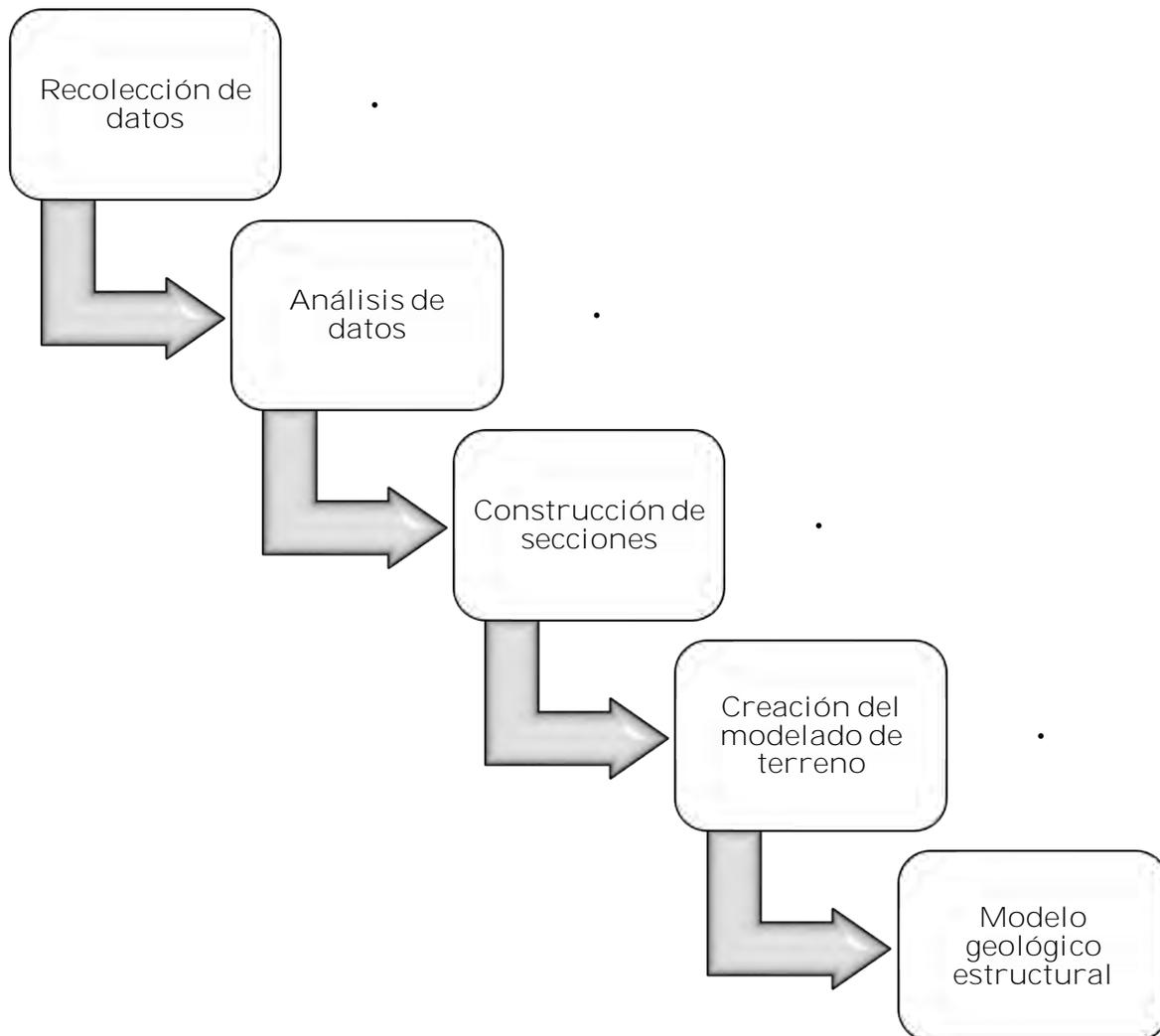


Figura 18. Flujograma empleado para el desarrollo del modelo geológico estructural del ámbito del glaciar Quelccaya

5.1.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

Este análisis detallado es crucial no solo para entender los procesos geológicos que han dado forma a esta área, sino también para evaluar su comportamiento dinámico.

Para ello, se llevaron a cabo diversas actividades de campo y laboratorio, centradas en la recolección de datos geológicos y estructurales. Entre las principales actividades destacan:

- a) **Recolección de Datos Estructurales:** Se llevó a cabo un levantamiento exhaustivo de datos estructurales, incluyendo la documentación de fallas, pliegues y fracturas. Estos datos fueron registrados con precisión utilizando brújula geológica y GPS, lo que permitió una caracterización detallada de las orientaciones y características de las estructuras tectónicas.
- b) **Recolección de Muestras Geológicas:** Se recolectaron 15 muestras de roca de diferentes puntos del ámbito del glaciar Quelccaya. Estas muestras abarcan una variedad de unidades litoestratigráficas, incluyendo la significativa Formación Quenamari, y se seleccionaron para representar la diversidad litológica y estructural de la región. La recolección se realizó de manera sistemática para asegurar una cobertura geográfica amplia y una representación adecuada de las diferentes características geológicas presentes.

5.1.2. ANALISIS DE DATOS

El análisis de datos en este estudio se ha llevado a cabo mediante varias metodologías tanto cualitativas como cuantitativas. Los principales aspectos del análisis incluyen:

- a) **Análisis Estructural:** En este estudio, se han recolectado un total de 155 datos estructurales distribuidos en cuatro conjuntos de datos para analizar la estructura geológica de la región. Los datos se han utilizado para realizar análisis detallados de la densidad de polos de planos, características de planos axiales y análisis de diagramas de rosa. El software Stereonet fue utilizado para procesar y visualizar estos datos

estructurales, facilitando el análisis de las orientaciones de fallas, pliegues y otras estructuras geológicas.

- b) Análisis Petrografía y Mineralógico: Las muestras de roca recolectadas fueron sometidas a un análisis detallado bajo microscopio petrográfico para identificar sus composiciones mineralógicas y texturales. Este análisis permitió determinar la presencia de minerales principales y accesorios, así como las texturas predominantes, proporcionando información sobre el origen y el ambiente de formación de las rocas.
- c) Modelos 3D y Secciones Transversales: Utilizando el software Leapfrog, una herramienta avanzada que permite visualizar la disposición espacial de las unidades geológicas y estructuras tectónicas, se desarrollaron modelos 3D y con el programa Adobe Illustrator, se desarrollaron secciones transversales detalladas en el ámbito de estudio, estos modelos proporcionan una comprensión tridimensional de la geología de la región, facilitando la interpretación de su compleja geometría subsuperficial.

5.1.3. CONSTRUCCION DE SECCIONES

El proceso inicia con la importación y preparación de los datos geológicos necesarios, incluyendo cartografía digital, mapas de superficie y observaciones de campo. Para esta etapa se utiliza qProf, una herramienta de QGIS diseñada para el análisis topográfico, que permite trabajar con diversos formatos de datos y generar perfiles topográficos precisos. Esta plataforma facilita la integración de información georreferenciada, asegurando una base sólida para el posterior análisis geológico.

Una vez obtenido el perfil topográfico base, se procede a representar los contactos entre las distintas unidades geológicas. Este paso es particularmente importante en el estudio de la Formación Quenamari, donde se identifican y delimitan con precisión los contactos entre sus diferentes miembros. Para lograr una representación exacta de estas relaciones estratigráficas, se emplea Adobe Illustrator, que permite ajustar y refinar los límites geológicos según los datos

de campo y la interpretación geológica. Este proceso garantiza que la sección final refleje fielmente la disposición real de las unidades en el subsuelo.

Posteriormente, se incorporan las estructuras geológicas más relevantes, como fallas, pliegues y discordancias, que ejercen un control fundamental en la configuración del terreno. Estas estructuras se dibujan cuidadosamente, respetando su orientación, buzamiento y características geométricas, para mantener la coherencia con el contexto geológico regional. La inclusión de estos elementos estructurales enriquece el perfil y proporciona información valiosa sobre los procesos tectónicos que han afectado el área.

Finalmente, la sección geológica completa se visualiza en dos dimensiones, ofreciendo una representación clara y detallada de las relaciones estratigráficas y estructurales. Esta visualización 2D no solo facilita el análisis e interpretación de la geología del área, sino que también sirve como herramienta para comunicar los hallazgos a otros investigadores.

5.1.4. CREACIÓN DEL MODELO DE TERRENO

La creación de un modelo de terreno con el software Leapfrog Geo, implica una serie de pasos que permite integrar la información topográfica y geológica en un entorno tridimensional.

El primer paso es la preparación y revisión de los archivos georreferenciados necesarios.

Iniciamos con el Modelo Digital de Elevación (DEM) en formato GeoTIFF (.tif), que represente fielmente la morfología del terreno. El segundo es un archivo SHP que contenga los polígonos de unidades litológicas delimitadas, con atributos asociados tales como nombre de unidad, edad geológica y tipo litológico. Ambos archivos deben estar referidos al sistema de coordenadas geográficas, UTM zona 19S con datum WGS84.

Con el software de Leapfrog, se procede a la importación del DEM, mediante el módulo de topografía. Posteriormente, se importa el archivo SHP de geología a través del módulo de datos

GIS de Leapfrog. En esta etapa, se selecciona el campo de atributos que representa los nombres de las unidades geológicas.

Para que los polígonos geológicos se adapten a la morfología del terreno, se utiliza la **herramienta “Drape on Topography”, seleccionando la topografía. El software Leapfrog** proyectará los polígonos de la geología sobre la superficie topográfica, generando un modelo tridimensional en el que las unidades litológicas se visualizan según sus respectivas posiciones altimétricas.

5.1.5. MODELO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL

Para complementar el modelo geológico estructural se han incorporado secciones geológicas previamente trabajadas con el software Addobe Illustrator.

El primer paso, inicia en el módulo “Cross Sections and Contours” del panel de navegación del proyecto, aquí se selecciona la opción “New Cross Section From Image”, esta herramienta permite insertar una imagen plana que representa un corte geológico conceptual, la cual será posicionada y alineada sobre los trazos de las cuatro secciones establecidas previamente.

El software Leapfrog solicita definir dos puntos en el modelo tridimensional, los cuales establecen la longitud y orientación de la sección. Una vez trazado el plano, se carga la imagen de la sección geológica, aquí Leapfrog nos presenta una vista editable donde es posible ajustar su posición, escala y alineación vertical. Es importante que la sección geológica mantenga proporciones reales, para que el corte tenga correspondencia espacial con el terreno real.

Una vez posicionada correctamente, la sección geológica importada se visualiza integrada al plano de corte en el modelo 3D, permitiéndonos observarla alineada a la geología superficial superpuesta al relieve del modelo digital de elevación.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La información obtenida del estudio del Glaciar Quelccaya proporciona una visión detallada y comprehensiva de su geología y estructura tectónica. A continuación, se presenta un resumen de los hallazgos más significativos:

Descripción general del área de estudio

El glaciar Quelccaya, situado en las regiones de Cusco y Puno Perú, es uno de los glaciares tropicales más extensos del mundo. Con una altitud máxima de 5,660 metros sobre el nivel del mar, el ámbito del glaciar se caracteriza por un clima frío y húmedo, con una significativa acumulación de nieve y hielo.

Resultados de la geomorfología

El ámbito muestra un casquete glaciar de tipo escandinavo, caracterizado por su amplia extensión y cobertura sobre un relieve montañoso complejo. Su morfología general presenta una forma que recuerda a un candelabro, con una orientación predominante noreste-suroeste. Esta configuración es producto de intensos procesos de erosión y sobreexcavación glaciar sobre un basamento volcánico compuesto principalmente por tobas riolíticas, que constituyen el sustrato geológico sobre el cual se asienta el glaciar (ver anexos: 10.1 Mapas, lámina M – 06).

Desde el punto de vista morfoestructural, el ámbito del glaciar Quelccaya exhibe diferencias notables entre sus dos vertientes principales: la noroeste y la sureste. La vertiente noroeste se caracteriza por pendientes suaves y valles amplios, que evidencian una alta concentración de lagunas ubicadas en depresiones formadas por la sobreexcavación del hielo. Este fenómeno es consecuencia directa del acelerado retroceso glaciar impulsado por el cambio climático. En esta zona también se observan frentes morrénicos bien desarrollados y de gran longitud, que marcan distintas fases del avance y retroceso histórico del glaciar.

En contraste, la vertiente sureste del glaciar presenta un relieve abrupto, con pendientes pronunciadas y valles profundos y angostos. A diferencia de la vertiente noroeste, aquí la cantidad de lagunas es considerablemente menor. No obstante, se identifican frentes morrénicos de longitud intermedia, localizados al pie del glaciar, que también evidencian la dinámica glaciar en esta zona. Además, esta vertiente destaca por una mayor presencia de bofedales, asociados a una mayor densidad de drenajes superficiales, lo que indica una dinámica hídrica más activa y fragmentada.

Resultados de la estratigrafía

La estratigrafía del ámbito está dominada por la Formación Quenamari, compuesta principalmente por tobas riolíticas que sobreyacen al grupo Mitu.

El Grupo Mitu en el ámbito de estudio, está compuesto por lavas andesitas de textura porfirítica. No se aprecia la base de este grupo, por lo que su espesor se estima según Chávez y otros (1997) en 1000 m. Este miembro infrayace en inconformidad a la formación Quenamari. La edad de este grupo es Pérmico superior y Triásico inferior.

La Formación Quenamari dividida en tres miembros principales, presenta las siguientes características:

- Miembro Chacacuniza: Este es el miembro basal de la Formación Quenamari. Se caracteriza por tobas riolíticas de color blanco a gris y riolacitas porfiríticas de color gris verdoso. Su espesor promedio alcanza los 150 metros, aumentando hacia la zona sureste del ámbito de estudio. Este miembro infrayace en discordancia erosiva al miembro Sapanuta. La edad de este miembro se estima según Cheilletz A. y otros (1990) en 10 ± 1 millones de años, que lo ubica en el Mioceno medio.
- Miembro Sapanuta: Este miembro es notable por sus tobas riolíticas cristalinas de grano fino, que varían de blanco a gris y su estructura columnar. Es el miembro de mayor

distribución en el ámbito, con un espesor que alcanza los 300 metros. Este miembro infrayace en discordancia erosiva al miembro Yapamayo. La edad de este miembro se estima según Cheillett A. y otros (1990) en 8 a 6.8 millones de años, que lo ubica en el Mioceno superior.

- Miembro Yapamayo: Representa el miembro más joven, con tobas riolíticas que varían de pardo a gris. El espesor de este miembro se estima en 200 a 250 m. Este miembro sobreyace al miembro Sapanuta en concordancia angular. La edad de este miembro se estima según Cheillett A. y otros (1990) en 4 ± 1 millones de años, que lo ubica en el Mioceno superior a Plioceno.

Resultados de la geología estructural

El análisis estructural en diaclasas para el ámbito del glaciar Quelccaya reveló la presencia de pliegues abiertos e isoclinales, así como sistemas de fallas inversas, normales y de rumbo, con orientaciones predominantes N-S y E-O, lo que refleja un régimen tectónico mayormente compresivo.

En conjunto, los resultados evidencian un sistema estructural multiepisódico, donde se superponen eventos de compresión prolongada, reactivación de bloques y alivio postglaciar,

A continuación, se presenta el cuadro resumen mencionando el tipo de esfuerzo, dirección, esfuerzo origen tectónico y un comentario al respecto.

Cuadro 4: Resumen de esfuerzos en diaclasas en el ámbito del Quelccaya

Estación	Lugar	Tipo de Estructura	Dirección Predominante (°)	Tipo de Esfuerzo	Comentario
E1	Pacocucho	Pliegue abierto con Fracturamiento paralelo	101° – 110°	Compresión E–O subhorizontal	Estructuras coherentes con subducción prolongada
E2	Huancarani	Fallas inversas oblicuas y fracturas dispersas	011° – 020°	Compresión NE–SO oblicuo	Segmentación tectónica local y ajuste de bloques
E3	Paltarumiyoc	Fragmentación por fallamiento inverso activo	001° – 010°	Compresión perpendicular al eje de cresta	Alta inclinación y fracturas discontinuas
E4	Laguna Pacco	Pliegue suave con estructuras persistentes	111° – 120°	Compresión prolongada con leve rotación	Fallamiento estructural bien definido y continuo

Se identificaron zonas de desplazamientos diferenciales entre unidades litológicas, así como evidencias de reactivación de estructuras preexistentes.

El cuadro 5 muestra el resumen de las principales fallas registradas en campo, sus características observadas y una interpretación tectónica. A si mismo se caracteriza por el tipo de cinemática que tiene. Cabe señalar que estas fallas se encontraban cubiertas en algunos casos por morrenas y en otros por depósitos fluvioglaciares, pese a ello se pudo reconocer su presencia en campo y documentar sus principales características (ver anexos: 10.1 Mapas, lámina M - 10).

Cuadro 5: Resumen Interpretativo de las fallas Mapeadas

Tipo de Falla	Características observadas	Significado tectónico
Fallas inversas	Buzamientos altos (70°–89°), rumbos N–S y E–O	Producto de compresión andina prolongada; reflejan acortamiento cortical activo
Fallas normales	Rumbos variables (150°; 330°; 185°; 283°) y buzamientos altos (70-87°), con apertura vertical o subvertical.	Asociadas a descompresión del macizo por retiro glaciar y relajación estructural; activas localmente
Fallas de rumbo	Orientación subhorizontal, con deslizamiento lateral	Posible reactivación de fracturas antiguas bajo compresión oblicua o esfuerzos diferenciales

Resultados de la petrografía

Las 15 muestras fueron recolectadas en los diferentes valles y zonas del ámbito del glaciar Quelccaya, incluyendo Chachacumani, Chectata, Cururuni, Huayllani, Morojani, Pacocucho, Ritiananta (ver Anexo 10.1, Mapa 04). Estas muestras pertenecen a la Formación Quenamari, compuesta principalmente por tobas riolíticas, con minerales primarios como cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa sódica y biotita. La presencia de texturas piroclásticas y cristalinas en las muestras sugiere una rápida deposición de material volcánico, con variaciones en la intensidad y naturaleza de los eventos eruptivos. (Ver Cuadro 06).

Cuadro 6 Resumen de las muestras y sus descripciones macroscópicas.

Lista de Muestras para Sección Delgada

Código de muestras	Estudio petrográfico	Miembro	Coordenadas	
			Este	Norte
M-01	Toba riolítica cristalina	Miembro Yapamayo	308271	8457701
M-02	Toba riolítica cristalina con líticos	Miembro Sapanuta	307938	8456943
M-03	Toba riolítica cristalina	Miembro Yapamayo	305318	8456026
M-04	Toba riolítica cristalina con líticos	Miembro Sapanuta	305025	8455470
M-05	Riodacita porfirítica	Miembro Chacacuniza	304340	8453830
M-06	Riodacita porfirítica	Miembro Chacacuniza	305467	8453090
M-07	Toba riolítica cristalina con líticos	Miembro Sapanuta	298978	8459272
M-08	Toba riolítica cristalina con líticos	Miembro Yapamayo	300337	8459146
M-09	Riodacita porfirítica	Miembro Yapamayo	300360	8461238
M-10	Riodacita porfirítica	Miembro Chacacuniza	300284	8463413
M-11	Toba riolítica cristalina con líticos	Miembro Sapanuta	300478	8463617
M-12	Riodacita porfirítica	Miembro Chacacuniza	305004	8466352
M-13	Toba riolítica cristalina	Miembro Chacacuniza	305322	8466508
M-14	Toba riolítica cristalina con líticos	Miembro Sapanuta	305796	8466367
M-15	Toba riolítica cristalina	Miembro Yapamayo	305749	8465601

A continuación, se presenta una interpretación general de las muestras recolectadas, basada en las descripciones macroscópicas y microscópicas.

Descripción Macroscópica y Microscópica:

Texturas: Las texturas piroclásticas observadas, incluyen fragmentos cristalinos en una matriz fina de ceniza vítrea, indican un entorno deposicional violento y explosivo. La presencia de texturas porfiríticas en algunas muestras, con cristales grandes de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico en una matriz más fina, sugiere que algunos de estos depósitos se originaron en cámaras magmáticas donde los cristales crecieron antes de ser expulsados por una erupción.

Mineralogía: Las muestras evidencian una mineralogía dominada por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa sódica y biotita. La alteración mineralógica a magnetita y hematita en las biotitas indica procesos post-deposicionales, como la oxidación bajo condiciones supergénicas, lo que sugiere un ambiente de alteración propenso a la circulación de fluidos ricos en oxígeno.

Fragmentos Líticos y Xenolitos: La presencia de fragmentos líticos, especialmente de andesitas, en algunas de las tobas indica la inclusión de material volcánico de una fuente subyacente o adyacente, lo que proporciona evidencia de la diversidad de materiales volcánicos presentes en el área durante los eventos eruptivos. Los xenolitos observados en algunas muestras también son indicativos de una historia eruptiva compleja, donde fragmentos de roca preexistente fueron arrancados y transportados por el magma ascendente. (Ver Anexos: 10.3. Estudio petrológico Petrográfico).

Cuadro 7 Descripción macroscópica y microscópica de las muestras de la formación Quenamari.

Código de Muestra	Descripción Macroscópica	Descripción Microscópica	Interpretación y Formación Asociada
MO1	Textura piroclástica-cristalina, color pardo blanquecino, cristales de 1- 2mm, de cuarzo y plagioclasa, feldespato potásico y biotita.	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados, zonados y microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, presentan microfracturas: FPsk I y alteraciones a sericita: FPKs II (ser); las biotitas con formas subhedrales, alteradas a hematita: bt II. Además, se tienen minerales opacos: Ops. La matriz está compuesta por minerales feldespato potásico, también por cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	Interpretación: Toba riolítica cristalina con matriz granosa, mostrando características de una erupción ácida. Formación: Quenamari (Miembro Yapamayo)
MO2	Textura piroclástica-cristalina, color gris claro, cristales de 0.5- 2mm, de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita, además presencia de líticos de composición volcánica.	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados, parcialmente reemplazados por la matriz: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados, zonados y microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, microfracturados: FPsk; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a hematita: bt II; minerales opacos: Ops. fragmentos líticos compuesto por cuarzo, feldespato, óxidos de hierro y minerales opacos: Litics. La matriz está compuesta por	Interpretación: Toba riolítica cristalina con fragmentos líticos de composición volcánica, sugiriendo una fuente volcánica con significativa heterogeneidad. Formación: Quenamari (Miembro Sapanuta)

		minerales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y ceniza vítrea.	
MO3	Textura piroclástica-cristalina, color gris blanquecino, cristales de 1- 2mm, cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita, además presencia de líticos de composición volcánica.	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados, con inclusiones de minerales opacos: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados, algunos zonados y microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales, microfracturados: FPsk; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I. Además, se tienen minerales opacos: Ops. La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y ceniza vítrea.	Interpretación: Toba riolítica cristalina con buena presencia de ortoclasa, indicaría un entorno volcánico altamente explosivo. Formación: Quenamari (Miembro Yapamayo)
MO4	Textura piroclástica-cristalina, color gris blanquecino, cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita, además presencia de líticos de composición volcánica.	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados: cz, con inclusiones de minerales opacos: cz I; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados, zonados y microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, microfracturados: FPsk; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I, alterados a hematita: bt II, alterados a cloritas: bt III (CLOs); además, se tienen minerales opacos: Ops. La matriz está compuesta por cristales de feldespato	Interpretación: Toba riolítica cristalina representan un entorno de cristalización altamente dinámico. Formación: Quenamari (Miembro Sapanuta)

		potásico, cuarzo y plagioclasa con ceniza vítrea.	
MO5	Textura porfídica-cristalina, color gris verdoso, cristales de 2-4mm de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotita fresca.	Roca ígnea piroclástica con textura pilotáxica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales y bordes redondeados, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados, microfracturados y parcialmente reemplazados por la matriz: PGLS I y alterados a sericita: PGLs II (ser); las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I, alterados a hematita: bt II y alterados a cloritas: bt II (CLOs). La matriz es fina con ceniza vítrea.	Interpretación: Riodacita porfírica con fuerte alteración mineral y estructura pilotáxica, típica de una erupción explosiva. Formación: Quenamari (Miembro Chacacuniza)
MO6	Textura piroclástica-cristalina, color pardo blanquecino, cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita, además presencia de líticos de composición volcánica.	Roca ígnea piroclástica con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales y bordes redondeados, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados, microfracturados y parcialmente reemplazados por la matriz: PGLS I; fragmentos de feldespato potásico, con formas subhedral a anhedral, maclados, con bordes reabsorbidos por la matriz, microfracturados: FPsK I; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a hematita: bt II. La matriz es fina con ceniza vítrea.	Interpretación: Toba riolítica cristalina con significativa alteración de la biotita a hematita, indicando un entorno oxidante. Formación: Quenamari (Miembro Chacacuniza)
MO7	Textura piroclástica-cristalina, color gris blanquecino, cristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales y bordes	Interpretación: Toba riolítica con matriz piroclástica, indicaría un proceso de enfriamiento

	sódica, y biotita. Muestra deleznable.	subredondeados, microfracturados con inclusiones de minerales opacos: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, presentan microfracturas: FPsk; las biotitas con formas subhedrales con habito tabular, se muestran ligeramente plegadas, están alteradas a óxidos de hierro: bt I. La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico.	rápido tras la deposición del material volcánico. Formación: Quenamari (Miembro Sapanuta)
MO8	Textura piroclástica-cristalina, color pardo blanquecino, cristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita con alteración.	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados, reemplazados por minerales opacos: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas subhedrales a anhedrales, microfracturados: FPsk; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt. La matriz está compuesta por minerales de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	Interpretación: Sugiere una fragmentación violenta del magma riolítico, generando piroclastos Formación: Quenamari (Miembro Yapamayo)
MO9	Textura piroclástica-cristalina, color blanco grisáceo, cristales de 1-2mm de cuarzo, plagioclasa sódica, feldespato potásico y biotita, además presencia de líticos de	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados,	Interpretación: Toba cristalina, representa un entorno volcánico activo y con alta alteración. Formación: Quenamari (Miembro Yapamayo)

	composición volcánica.	zonados y microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, presentan microfracturas: FPsk; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt. Además, se tienen minerales opacos: Ops. La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y ceniza vítrea.	
M10	Textura piroclástica-cristalina, color gris blanquecino, cristales de 0.5- 2mm de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa sódica, biotita, además presencia de líticos de composición volcánica.	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas irregulares, microfracturados y alterados a sericita: FPsk; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a hematita: bt II; minerales opacos: OPs. La matriz está compuesta por cristales angulosos dispersos y ceniza vítrea.	Interpretación: La muestra presenta características típicas de una toba volcánica con alto contenido vítreo, lo que evidencia su origen en un evento eruptivo explosivo de carácter riolítico. Formación: Quenamari (Miembro Chacacuniza)
M11	Textura piroclástica-cristalina, color gris blanquecino, co cristales de 0.5- 2mm de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa sódica, biotita, y fragmentos líticos.	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas subhedrales a anhedrales, microfracturados, con inclusiones de minerales opacos: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas subhedrales a anhedrales y bordes subredondeados,	Interpretación: Toba riolítica cristalina con presencia de grandes fragmentos líticos, indicando un ambiente deposicional violento. Formación: Quenamari (Miembro Sapanuta)

		presentan microfracturas: FPsk; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt; minerales opacos: OPs. La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y ceniza vítrea.	
M12	Textura pórfidica-cristalina, color pardo amarillento, cristales >2mm de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita alterada a hematita, como material supergénico.	Roca ígnea piroclástica con textura cinerítica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados, microfracturados: PLGs; I y con inclusiones de feldespato potásico: PGLs II; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a clorita: bt II (CLOs). La matriz fina con ceniza vítrea.	Interpretación: Riodacita porfírica, sugiere un ambiente volcánico explosivo y procesos posteriores de alteración mineral. Formación: Quenamari (Miembro Chacacuniza)
M13	Textura porfídica-cristalina, color gris verdoso, con cristales anhedrales de 2-4mm de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa sódica y biotita.	Roca ígnea piroclástica con textura pilotáxica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados, microfracturados: PLGs y parcialmente reemplazados por la matriz: PGLs I; fragmentos de feldespato potásico, con formas subhedral a anhedral, microfracturados, alterados a sericita: FPsk II(ser); las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a hematita: bt II. La matriz fina con ceniza vítrea.	Interpretación: Riodacita porfírica con alto contenido de cuarzo y plagioclasa, características de un ambiente volcánico explosivo. Formación: Quenamari (Miembro Chacacuniza)
M14	Textura piroclástica-cristalina, color gris blanquecino, cristales de 0.5- 2mm, de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas	Interpretación: Corresponde a una toba riolítica cristalina con fragmentos líticos de composición volcánica,

	sódica y accesorios la biotita, además presencia de fragmentos líticos.	con formas irregulares, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales, microfracturados: FPsk; las biotitas con formas subhedrales con hábitos tabulares, están alteradas a óxidos de hierro: bt I; Fragmentos líticos de origen volcánico: Líticos I, Líticos II, Líticos III . La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y ceniza vítrea.	lo que sugiere un evento explosivo con mayor material volcánico. Formación: Quenamari (Miembro Sapanuta)
M15	Textura piroclástica-cristalina, color blanco grisáceo, cristales de 1mm de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa sódica y biotita.	Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas subhedrales a anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes reabsorbidos por la matriz, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales, microfracturados, con inclusiones de minerales opacos: FPsk; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt. La matriz está compuesta principalmente por feldespato potásico, así como, minerales de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	Interpretación: Muestra una composición mineralógica característica de una toba cristalina con significativa alteración supergénica. Formación: Quenamari (Miembro Yapamayo)

Resultados de las secciones geológicas

Se presentan cuatro secciones transversales en el ámbito del Glaciar Quelccaya (ver figura 19).

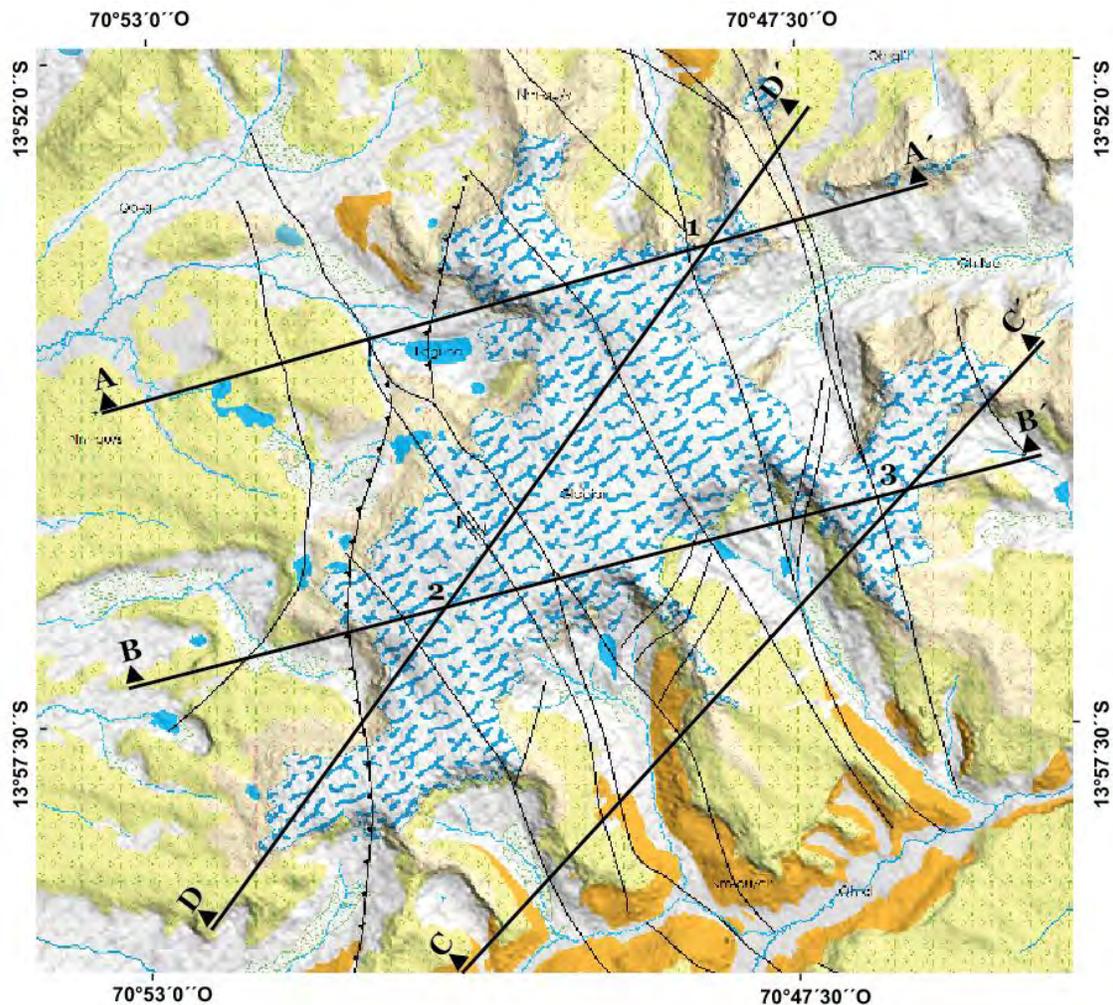


Figura 19. Se muestran 4 secciones geológicas realizadas para el ámbito de estudio.

Estas secciones proporcionan un análisis detallado de la estructura geológica en profundidad, permitiendo evaluar el comportamiento y la distribución de la Formación Quenamari y sus miembros a lo largo del ámbito del glaciar, se detallan a continuación:

SECCION GEOLOGICA 01:

La sección muestra el dominio de la formación Quenamari en el ámbito del glaciar Quelccaya, así también, la presencia de depósitos aluviales y glaciares, lo cual indica actividad fluvial reciente, tal como en el valle del río Ritiananta. El miembro Sapanuta es el de mayor dominio en la sección, seguido del miembro Chacacuniza y el miembro Yapamayo, sobre el cual se encuentra emplazada el glaciar Quelccaya.

Las unidades muestran una inclinación regional suave, sin grandes deformaciones, dominada principalmente por fallas normales de alto ángulo.

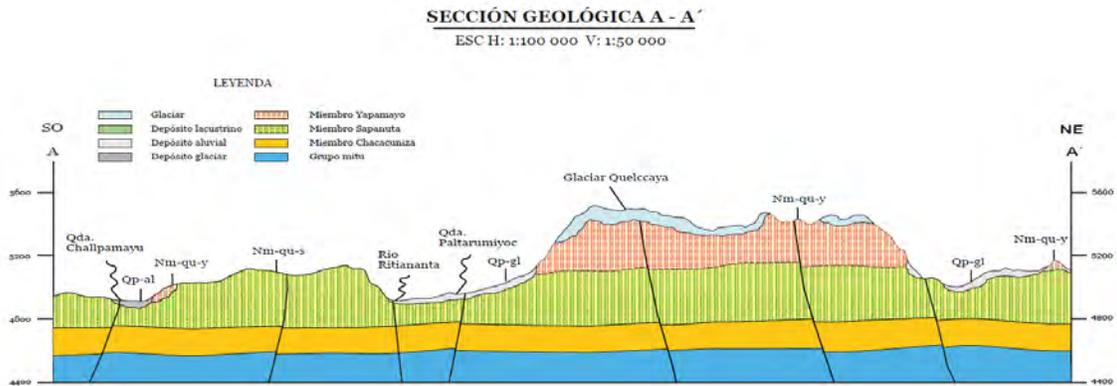


Figura 20. Vista de la sección geológico transversa A-A', en dirección SO- NE

SECCION GEOLOGICA 02:

La sección muestra una mayor actividad erosiva hacia el NE, lo cual indica actividad fluvial reciente, especialmente en la Quebrada Anjasi.

Las unidades muestran un ligero levantamiento en el centro de la sección, la cual sugiere una estructura tipo anticlinal suave.

Las unidades muestran una inclinación regional suave, sin grandes deformaciones, dominada principalmente por fallas normales de alto ángulo.

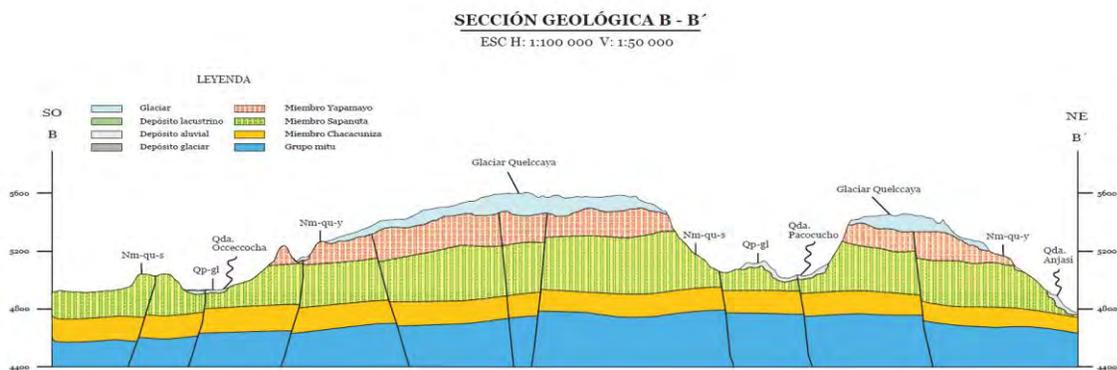


Figura 21. Vista de la sección geológico transversa B-B', en dirección SO- NE.

SECCION GEOLOGICA 03:

La sección muestra una topografía marcada por valles en U, característico de la acción glaciár principalmente en los miembros Yapamayo y Sapanuta. También se muestra un mayor espesor de los depósitos cuaternarios, especialmente en las quebradas de Huancarane, Huayllani y Pacocucho. Las unidades muestran una inclinación suave hacia el NE, controlada por fallas normales. No se evidencian desplazamientos importantes entre bloques.

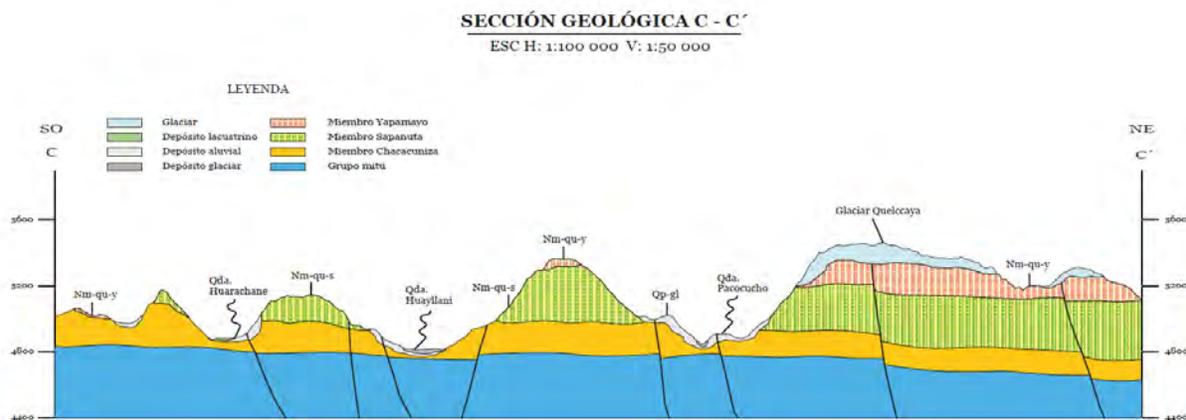


Figura 22. Vista de la sección geológico-transversa C-C', en dirección SO- NE

SECCION GEOLOGICA 04:

Es la sección con mayor dominio del casquete glaciár Quelccaya. La sección muestra que el glaciár Quelccaya descansa en su totalidad sobre el miembro Yapamayo. El miembro Chacacuniza descansa en inconformidad sobre el Grupo Mitu.

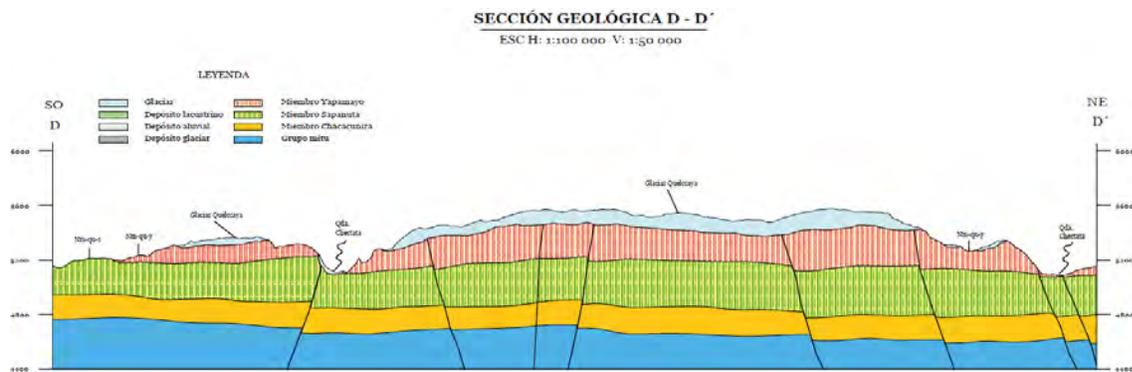


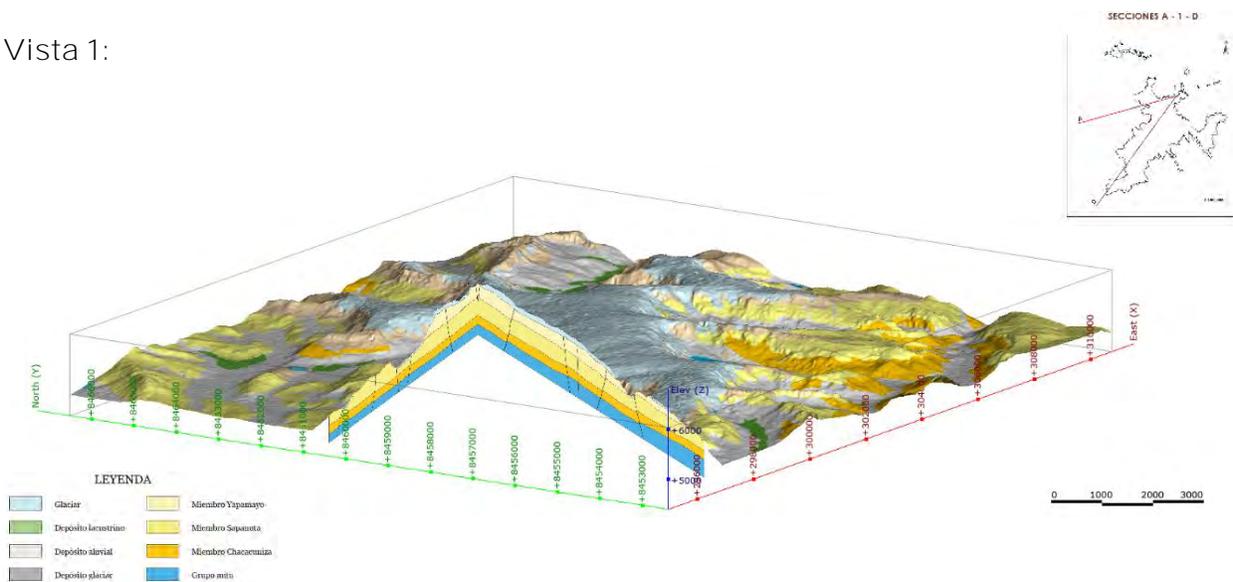
Figura 23. Vista de la sección geológico-transversa D-D', en dirección SO- NE

Las estructuras se encuentran dominadas por fallas de cinemática normal de alto ángulo, así mismo, se ha reconocido en campo la presencia de una falla inversa de dirección NE-SO.

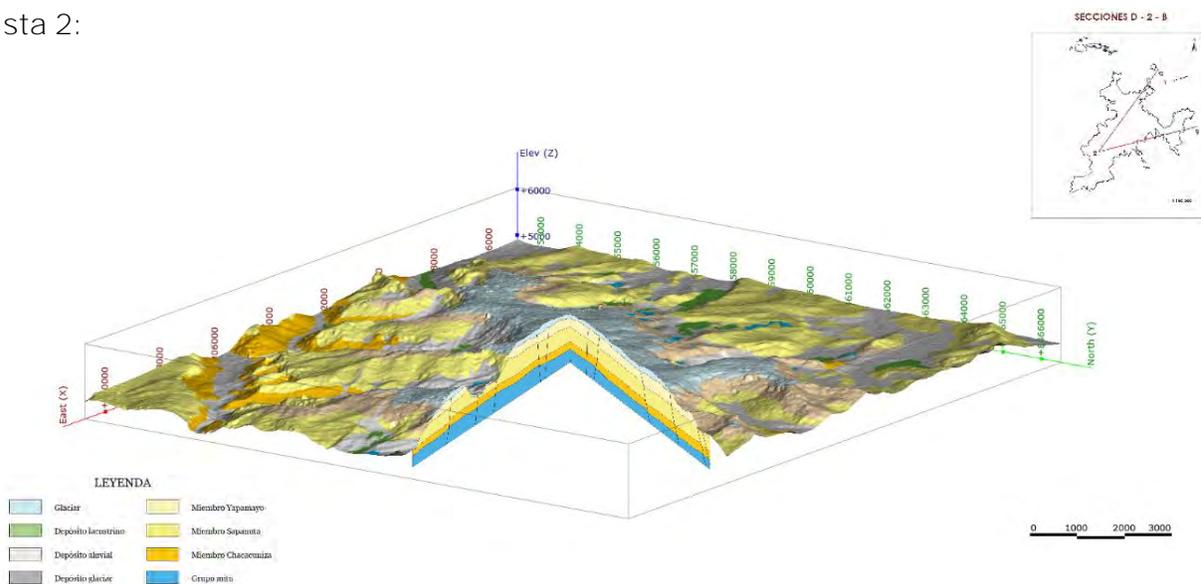
6.1. MODELO GEOLOGICO ESTRUCTURAL

La configuración del modelo geológico estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, muestra la disposición y características de las unidades rocosas, estructuras tectónicas y depósitos glaciares que subyacen y rodean al casquete glaciar. (ver anexos: 10.1 Mapas, lámina M - 11)

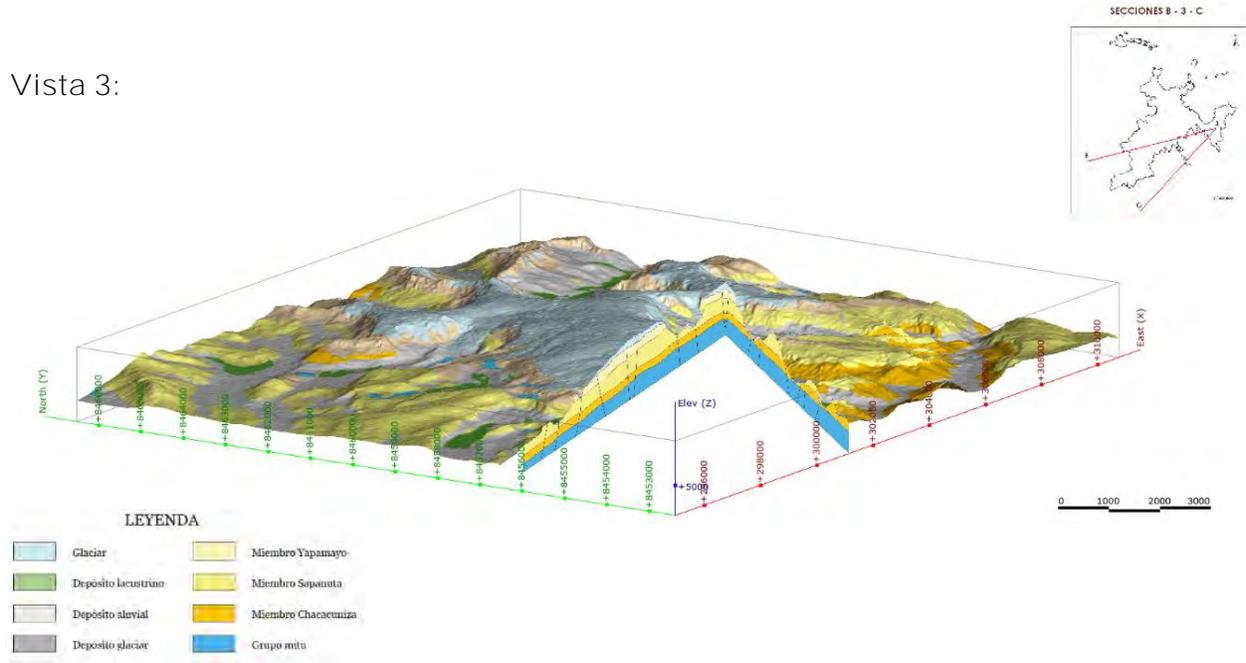
Vista 1:



Vista 2:



Vista 3:



Vista 4:

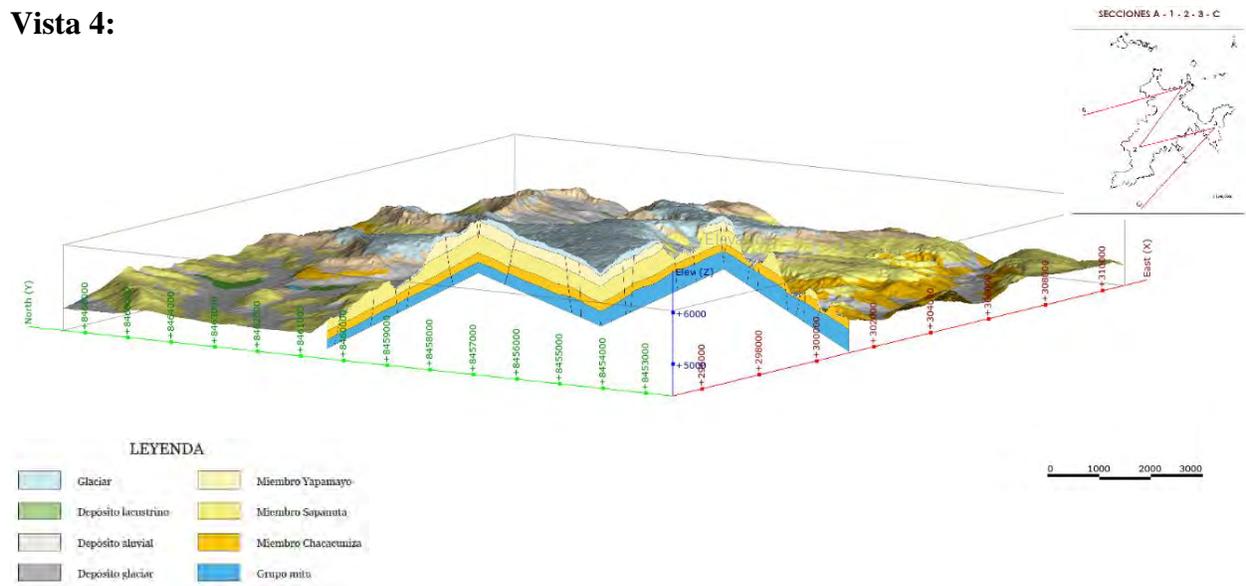


Figura 24. Vistas 1,2,3,4 del modelo geológico estructural del ámbito del glaciar Quelccaya.

COMPARACIÓN CON ESTUDIOS PREVIOS

Los resultados obtenidos en este estudio muestran una notable concordancia con investigaciones previas realizadas en el ámbito del Glaciar Quelccaya y la región circundante. Estudios anteriores, como los realizados por Cheilletz A. y otros (1990), Chavez (1997), Condorhuaman, A. y otros (2016), López (1996), Rivera (2011), Vicente, O y Paredes, M (2020), Soberon y otros (2022), han destacado la importancia de la Formación Quenamari y su caracterización como una unidad litoestratigráfica compuesta principalmente por tobas riolíticas.

Estratigrafía: Los estudios previos de López (1996) identifican la presencia de tres miembros principales dentro de la Formación Quenamari: Chacacuniza, Sapanuta y Yapamayo. Nuestro estudio confirma dicha subdivisión, aportando una descripción más detallada de sus características litológicas y su distribución en el ámbito del glaciar Quelccaya.

Por su parte, Chávez (1997) elaboró la primera columna estratigráfica general de la Formación Quenamari. A partir de dicha referencia, el presente trabajo construye una columna estratigráfica local, ajustada a las condiciones geológicas observadas específicamente en el sector del Quelccaya.

Asimismo, los trabajos de Soberón et al. (2022) destacan la existencia de una inconformidad angular entre el Grupo Mitu y la Formación Quenamari, asociada a un hiato estratigráfico importante. Nuestro estudio confirma esta relación, reconociendo el contacto discordante y el hiato tectosedimentario entre el Grupo Mitu (Permo–Triásico) y la Formación Quenamari (Mioceno–Plioceno), lo cual es clave para comprender la evolución estructural y volcánica de la región.

Estructuras Tectónicas: Las orientaciones registradas de fallas y pliegues son consistentes con los modelos tectónicos previamente propuestos para los Andes del Sur.

Estudios de Cheilletz y otros (1992), proponen que el volcanismo riolítico de la formación Quenamari, se desarrolló en sincronía con eventos tectónicos compresivos, Quechua 2 y 3, indicando que los pulsos de actividad magmática félsica estuvieron estrechamente relacionados a la evolución dinámica de la corteza andina durante el Mioceno. Nuestro estudio concuerda con esa investigación, a partir del análisis estereográfico se han evidenciado fases compresivas durante el mioceno, posteriormente el en el Plioceno el régimen pasa a ser distensivo.

De manera complementaria, Chávez (1997), durante las fases Quechua II y III se desarrollaron episodios de carácter distensivo que generaron estructuras de rift y depresiones tectónicas, como la depresión Corani–Ananea. En coherencia con este marco, el presente estudio ha identificado la presencia de fallas normales de alto ángulo con dirección NO–SE, las cuales pueden correlacionarse con esos eventos extensionales.

Petrografía: Los estudios petrográficos previos de Condorhuamán et al. (2016) caracterizan a la Formación Quenamari como compuesta principalmente por tobas de cristales de textura fragmental, constituidas por fenocristales de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, dispuestos en una matriz vítrea o microcristalina. Asimismo, se reporta la presencia de minerales accesorios como circón, lo cual es concordante con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Por otro lado, Rivera (2011) describe rocas volcánicas con alto contenido de cristales (hasta un 45%), así como fragmentos vítreos y obsidiana. Su estudio también señala asociaciones mineralógicas con moscovita, biotita y andalucita. En nuestro caso, las muestras correspondientes al miembro Yapamayo presentan un alto contenido de cristales, conformado por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita, y minerales accesorios como circón y rutilo. No obstante, no se identificaron minerales como moscovita ni andalucita.

Cabe destacar que la identificación de minerales de interés económico no fue un objetivo de este trabajo, por lo que no se abordó el análisis geoquímico o metalogenético correspondiente.

CONCLUSIONES

1. El ámbito de estudio del casquete del glaciar Quelccaya tiene una morfología de tipo escandinavo, de orientación NE-SO, asentado sobre depósitos volcánicos de tobas riolíticas. Así mismo, se describen diferencias notables entre las vertientes noroeste y sureste del mismo, producto de dinámicas glaciales diferenciadas y del retroceso acelerado por el cambio climático.
2. La estratigrafía del ámbito del glaciar Quelccaya muestra un dominio de la Formación Quenamari, compuesta por tres miembros volcánicos: Chacacuniza, Sapanuta y Yapamayo. El miembro Chacacuniza es el miembro basal de la formación, está conformado por tobas y riolacitas porfíricas, que sobreyace en inconformidad al grupo Mitu, su espesor es de 100 a 150m. El miembro Sapanuta es el miembro de mayor expansión en el ámbito, está conformado por tobas riolíticas con estructura columnar, que sobreyace en discordancia erosiva al miembro Chacacuniza, su espesor es de 250 a 300m. El miembro Yapamayo es el miembro superior de la formación Quenamari, está conformado por tobas riolíticas de color blanquecino, que sobreyace en discordancia erosiva al miembro Sapanuta, su espesor es de 200 a 250m. La formación Quenamari sobreyace en inconformidad al Grupo Mitu, conformado por lavas andesíticas.
3. En la geología estructural del ámbito del glaciar Quelccaya, a partir del análisis de datos se determinó cuatro sistemas estructurales predominantes, de dirección Norte-Sur, Este-Oeste, Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste. Donde la disposición de los planos axiales y los diagramas de rosa, sugiere un primer régimen tectónico compresivo, probablemente relacionado con la convergencia de placas tectónicas en la región andina. Posteriormente el ámbito ha pasado a un régimen distensivo, generando fallas normales de dirección NO-SE.
4. El estudio petrográfico de 15 muestras dominadas por tobas riolíticas y riolacitas porfíricas, con texturas piroclásticas y porfíricas y una mineralogía compuesta por

cuarzo, plagioclasa sódica, feldespato potásico, biotita. Evidenciando alteraciones minerales por oxidación de la biotita a hematita y magnetita, como también fragmentos líticos y xenolitos, indicando una historia eruptiva violenta, con eventos de deposición rápida en un ambiente volcánico altamente explosivo.

5. Caracterizada la configuración del modelo geológico estructural del ámbito del glaciar Quelccaya, mediante el análisis de datos geomorfológicos, estratigráficos, estructurales y petrográficos. El modelo geológico estructural describe un escenario geológico complejo, caracterizado por múltiples fases volcánicas, procesos erosivos-glaciares y una intensa actividad tectónica. La integración de estudios geomorfológicos, estratigráficos, estructurales y petrográficos permitió modelar las estructuras geológicas en el ámbito de estudio y su relación con la evolución glaciar.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios adicionales de geocronología y geoquímica para obtener una visión más precisa de la evolución volcánica y tectónica de la región.
2. Realizar un estudio sobre el hiato entre el Grupo Mitu del Pérmico – Triásico y la formación Quenamari (Mioceno -Plioceno).
3. Promover estudios adicionales que incluyan un muestreo más amplio y el uso de tecnologías avanzadas, como imágenes satelitales de alta resolución, tecnología LIDAR y análisis geoquímicos de alta precisión. Estas herramientas permitirán obtener datos más detallados y precisos, lo que contribuirá a una mejor comprensión de los procesos geológicos, la gestión de recursos y la evaluación de riesgos en la región.
4. Llevar a cabo estudios sismológicos detallados que proporcionen información sobre la actividad tectónica actual y ayuden en la evaluación de riesgos.
5. Complementar el estudio con estaciones geomecánicas, que permitan evaluar la calidad del macizo rocoso en el ámbito del glaciar Quelccaya.
6. Recolectar datos estructurales adicionales, especialmente en zonas con baja cobertura de datos actuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arellano Gil, J., De la Llata Romero, R., Carreón Méndez, M. A., Morales Barrera, W. V., & Villarreal Morán, J. C. (2002). *Ejercicios de geología estructural*. México D.F.: Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de México.
- Audebaud, E., Capdevila, R., Dalmayrac, B., Laubacher, G., Lefevre, C., & Tomasi, P. (1973). *Les traits géologiques essentiels des Andes centrales (Pérou-Bolivie)*. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique* (Vols. 15(1-2)).
- Barnes, V., Edwards, G., McLaughlin, W., Friedman, I., & Joensuu, O. (1970). *Macusanite occurrence, age, and composition, Macusani, Peru*. *Geological Society of America Bulletin*. doi:[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1970\)81\[1539:MOAACM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1970)81[1539:MOAACM]2.0.CO;2)
- Benn, D., & Evans, D. (2010). *Glaciers and glaciation (2nd ed.)*. Hodder Education.
- Burga, J. (2011). *Diccionario geológico*. Callao, Peru: Arthaltuna.
- Carlotto Caillaux, V., Cárdenas Roque, J., & Carlier, G. (2011). *Geología del cuadrangulo de Cusco 28-s - 1:50 000 - [Boletín A 138]*. Lima: INGEMMET.
- Carrasco Díaz, S. (2006). *Metodología de la investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación* (1ra edición ed.). Lima: San Marcos.
- Chávez V, A., Salas A, G., Cuadros P, J., & Gutiérrez S, E. (1996). *Geología de los cuadrangulos de Putina y la Rinconada. Hojas 30-x y 30-y*. Lima: INGEMMET.
- Chávez, A., Salas, G., Gutiérrez, E., & Cuadros, J. (1997). *Geología de los cuadrángulos de Corani y Ayapata, hojas: 28-u y 28-v*. INGEMMET. *Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 90*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/47>
- Cheilletz, A., Clark, A., Farrar, E., Arroyo, G., Pichavant, M., & Sandeman, H. (1992). *Volcano-stratigraphy and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Macusani ignimbrite field: monitor of the Miocene geodynamic evolution of the Andes of southeast Peru*. *Tectonophysics*. doi:[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90433-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90433-7)
- Cheilletz, A., Clark, A., Farrare, E., & Pauca, G. (1990). *STRATIGRAPHY AND GEOCHRONOLOGY OF THE HACIJSANI IGNIMBRITE FIELD: CHRONOMETER OF THE MIO-PLIOCENE GEODYNAMIC EVOLUTION OF THE ANDES OF SE PERU*. Paris: ORSTOM: .
- Condorhuaman, A., Rondon, M., Chumbe, M., Mamani, Y & Jaimes, F. (2016). *Características petrográficas del volcanico Quenamari asociados con la ocurrencia de minerales de Uranio*. Lima, Peru: INGEMMET. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2760>
- De la Cruz, J., López, J., León, W., & Lara, M. (1996). *Geología del cuadrángulo de Macusani*. INGEMMET, *Boletín. Ser. A: Carta Geol. Nac.* INGEMMET.
- Díaz Aguilar, R. D., Barros Pozo, P. M., & Bustinza Urviola, V. S. (2022). *Rutas del cambio climático y geoparque del glaciar Quelccaya, Cusco-Puno*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. Tarea Asociación Gráfica

- Educativa. Obtenido de <https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/c5dbdc7a-513c-462e-a472-f2c905b5f67b>
- Echavarría, L. (2008). *Mapeo en terrenos volcánicos*. Colorado: Colorado School. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/329933934>
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. (M. M. Romo, Ed.) Madrid, España: Pearson Education S.A.
- Hanco, M. B. (2023). **“Evolución del retroceso glaciar de los nevados Japu Punta y Yayamari en contexto de cambio climático, en la cordillera Vilcanota, departamento Cusco – Perú”**. Cusco: Universidad Andina del Cusco. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5952>
- Laugbacher, G. (1978). *Estudio geológico de la región norte del Lago Titicaca*. Instituto de Geología y Minería, Boletín, Serie D: Estudios Especiales, 5. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/320>
- Le Maitre, R. (2002). *A classification of Igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on The Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press.
- Li, V. (2016). *The uranium mineralization of the Macusani district, southeast Peru: mineralogy, geochemistry, geochronology and ore-genetic model*. Kingston, Ontario: **Queen’s University**. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1974/14332>
- López, J. (1996). *Geología del cuadrángulo de Nuñoa, Hoja 29-u*. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/197>
- Lopez, J. P., & Bellos, L. I. (2021). *Petrografía ígena: una guía para clases prácticas* (1ra edición ed.). San Miguel de Tucumán. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/351700921>
- Mazzoni, M. (1986). *Procesos y depósitos piroclásticos*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina. Serie B, Didáctica y Complementaria 14.
- MCLAughlin, D. (1924). *Geology and Physiography of the Peruvian Cordillera, Departments of Junin and Lima*. Geological Society of America Bulletin. doi:<https://doi.org/10.1130/GSAB-35-591>
- Muñoz Jimenez, J. (2000). *Geomorfología general*. Madrid: Síntesis S.A.
- Newell, N. (1949). *Geology of the Lake Titicaca region, Perú and Bolivia*. GSA Memoirs: New York: Geological Society of America. doi:<https://doi.org/10.1130/MEM36>
- Palacios, M. (2019). *Modelo geológico estructural 3D del área de Tamazunchale, San Lui de Potosí*. Mexico: Repositorio Digital de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México. Obtenido de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/17067>
- Panca, F., & Breitkreuz, C. (2010). *El grupo Mitu (Permico superior-Jurasico inferior?), seccion Pallpa-Oqoruro, Ido sureste de Pisac, Cusco, Peru: Facies volcanosedimentarias y*

- Geoquímica*. Cusco: XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos. Sociedad geológica del Perú.
- Pichavant, M., Kontak, D., Briqueu, L., Valencia, J., & Clark, A. (1988). *The Miocene-Pliocene Macusani Volcanics, SE Peru. II. Geochemistry and origin of a felsic peraluminous magma*. Contributions to Mineralogy and Petrology. doi:<https://doi.org/10.1007/BF00379742>
- Pichavant, M., Valencia, J., Boulmier, S., Briqueu, L., Joron, J., Juteau, M., . . . Vermet, M. (1987). *The Macusani glasses, SE Peru: evidence of chemical fractionation in peraluminous magmas*. En: Mysen, B.O. University Park, PA: Geochemical Society, Special Publication: Magmatic processes: physicochemical principles. Obtenido de <https://bit.ly/3Mf5y1Z>
- Rivera, A. (2010). *Rivera, A. 2010. Progresos en el conocimiento de la geología y mineralización de Uranio en los volcánicos Quenamari, Macusani- Perú*. XV Congreso Peruano de Geología, Pub. Esp. N° 9.
- Rivera, R., Condori, N., & Valencia, J. (2011). *Metalogenia del uranio en las regiones de Cusco y Puno*. INGEMMET. Lima: Boletín, Serie B: Geología Económica.
- Sandeman, H., Clark, A., Farrar, E., & Arroyo, G. (1997). *Lithostratigraphy, petrology and ⁴⁰Ar-³⁹Ar geochronology of the Crucero Supergroup, Puno department, SE Peru*. Journal of South American Earth Sciences. doi:[https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(97\)00023-0](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(97)00023-0)
- Soberon, D., Rodriguez, R., Choquehuanca, S., & Gómez, W. (2022). *Geología del cuadrángulo de Corani (hojas 28u1, 28u2, 28u3, 28u4)*. INGEMMET. Lima: Boletín, serie L. Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000).
- Streckeisen, A. (1976). *To each plutonic rock its proper name*. Amsterdam, New York, London: Earth-Sci. Rev.
- Teruggi, M., Mazzoni, M., Spalletti, L., & Andreis, R. (1998). *Rocas piroclásticas. Interpretación y sistemática*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, Publicación especial, Serie B Complementaria y Didáctica 5: 1-18.
- Toselli, A. J. (2009). *Elementos básicos de petrología ígnea* (Serie Miscelánea ed.). (D. F. Aceñolaza, Ed.) San Miguel de Tucumán: Instituto Superior de Correlación Geológica.
- Varnes, D. (1978). *Slope movement types and processes*. En R.L. Schuster & R.J. Krizek (Eds.), *Special Report 176: Landslides: Analysis and control*. Transportation and Road Research Board, National Academy of Sciences.
- Vicente, O & Paredes, M. (2020). **“Prospección Geológica y Geoquímica para definir posibles áreas de interés por Litio en la Meseta de Macusani”**. Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12001>

ANEXOS

Cuadro 8. Matriz de consistencia

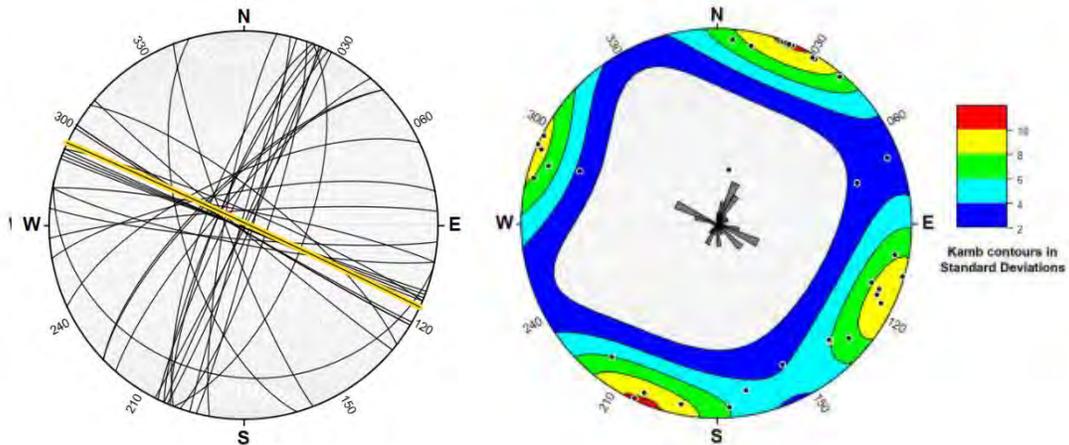
Matriz de Consistencia

Título del proyecto de tesis:			Investigadores	
“MODELO GEOLOGICO ESTRUCTURAL EN EL AMBITO DEL GLACIAR QUELCCAYA, 2024”			Bachilleres:	
			Anibal Alvarez Perez	
			Bruss Hamier Huachaca Avalos	
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables Independientes	Método científico
¿Cuál es la configuración del modelo geológico estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?	Determinar la configuración del modelo geológico estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.	La configuración del modelo geológico estructural del ámbito del glaciar Quelccaya, presenta por una geomorfología de ambiente glaciar, una estratigrafía dominada por la Formación Quenamari, una geología estructural dominada por fallas normales y de rumbo, y una petrografía dominada por rocas riolíticas con fenocristales de cuarzo, feldespato, biotita en matriz vítrea.	- Geomorfología	Enfoque: Mixto
			- Estratigrafía	Nivel: Descriptivo
			- Geología estructural	
			-Petrografía	Diseño: No experimental - Transversal
Problema Especifico	Objetivos Específicos	Hipótesis Específica	Variables Dependientes	
PE1:	OE1:	HE1:		
¿Cómo será la geomorfología en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?	Determinar la geomorfología en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.	La geomorfología del ámbito del glaciar Quelccaya es el resultado de procesos volcánicos y glaciáricos asociados al emplazamiento del glaciar Quelccaya sobre los depósitos de la formación Quenamari, los cuales han modelado un relieve llano de tipo Escandinavo, con valles glaciares, lagunas, depósitos morrénicos y humedales.	Modelado Geológico Estructural	Técnica de recolección de información: Búsqueda Archivística, trabajo de campo y medición directa, procesamiento en

PE2:	OE2:	HE2:	hojas de cálculo, fichas instrumentales, bases de datos y análisis integrado con herramientas SIG y Leapfrog.
¿Cómo será la estratigrafía en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?	Determinar la estratigrafía en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.	La estratigrafía del ámbito del glaciar Quelccaya muestra secuencias de derrames volcánicos riolíticos denominados formación Quenamari. Estas unidades presentan una disposición estratigráfica que refleja episodios eruptivos diferenciados y períodos de inactividad volcánica.	
PE3:	EO3:	HE3:	Instrumentos de Recolección de Información:
¿Cómo será la geología estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?	Determinar la geología estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.	La geología estructural en el ámbito del glaciar Quelccaya presenta un sistema de fallas relacionadas a esfuerzos tectónicos regionales, que controlan la disposición y deformación del macizo rocoso. Estas estructuras han condicionado tanto la estabilidad del terreno como los patrones de drenajes y la evolución geomorfológica del área.	
PE4:	EO4:	HE4:	Instrumento: Cartografía geomorfológica, geológica, estructural. Ensayos geomecánicos Análisis petrográfico
¿Cómo será la petrografía en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024?	Determinar la petrografía en el ámbito del glaciar Quelccaya, 2024.	La petrografía en el ámbito del glaciar Quelccaya se caracteriza por tobas volcánicas riolíticas de la formación Quenamari, de textura piroclástica, con fenocristales de cuarzo, feldespatos y biotitas en una matriz vítrea, característicos de magmas silícicos de alta viscosidad	

10.1. ANALISIS DE DATOS ESTRUCTURALES

10.1.1. ANÁLISIS DEL REGISTRO DE DATOS ESTRUCTURALES 1



Poles from Planes

calculated from 35 planes from Data set: '1.txt'

- ----Kamb Contouring

Data set name = poles to 1.txt

Contour Int. = 1 sigma; Counting Area = 20.45% of net area

Expected Num. = 7.159091 Signif. Level = 3 sigma

- ----Pick Axial Plane

Axial plane of dataset: poles to 1.txt

Trend & plunge of fold axis: 294.4, 83.7

Strike & dip of axial plane: 288.0, 89.3 S

Interlimb angle: 3.4°

- ----Rose diagram/Circular Histogram

Planes data set (petals parallel strike direction): 1.txt

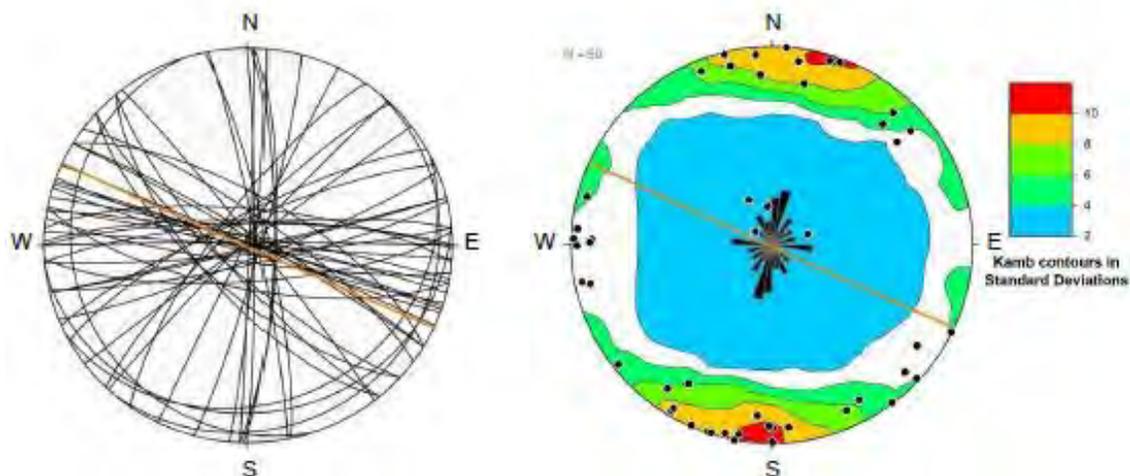
Max value = 11.42% between 21° and 030°

Mean Vec = 073.0° ± 31.7°; Average Length = 0.2172

Circular Variance = 0.7828; kappa = 0.4296

[Krumbein's axial mean; uncertainty is 1 standard error, for 95% confidence level multiply by 1.96]

10.1.2. ANÁLISIS DEL REGISTRO DE DATOS ESTRUCTURALES 2



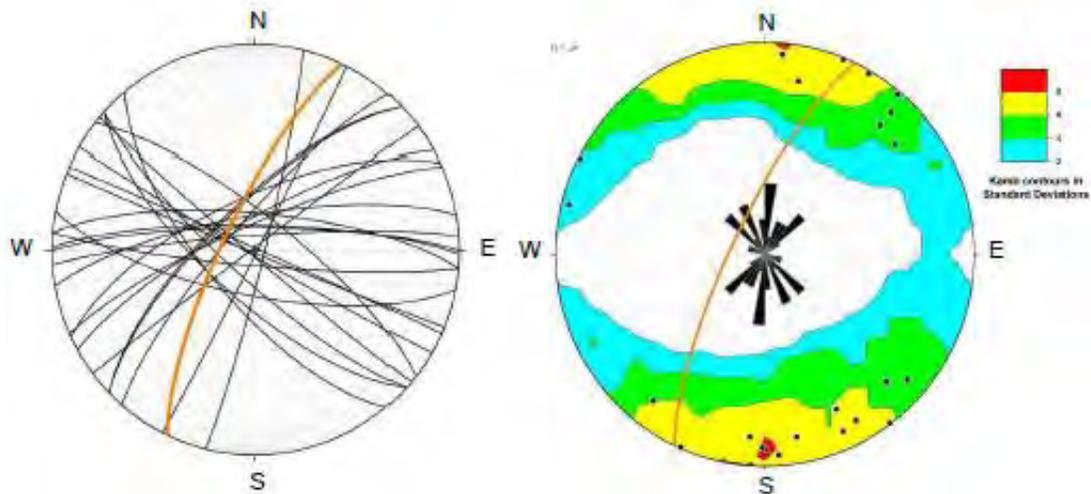
Poles from Planes | 26/07/2024 at 08:42 ———
 calculated from 50 planes from Data set: '2.txt'

—— Kamb Contouring | 26/07/2024 at 08:45——
 Data set name = poles to 2.txt
 Contour Int. = 2 sigma: Counting Area = 15.25% of net area
 Expected Num. = 7.627119 Signif. Level = 3 sigma

—— Pick Axial Plane | 26/07/2024 at 08:47——
 Axial plane of dataset: poles to 2.txt
 Trend & plunge of fold axis: 152.7, 88.9
 Strike & dip of axial plane: 114.6, 89.3 S
 Interlimb angle: 166.9°

—— Rose diagram/Circular Histogram | 26/07/2024 at 08:49——
 Lines data set: poles to 2.txt
 Max value = 14% between 011° and 020°
 Mean Vec = 006.8° ± 19.1°; Average Length = 0.2975
 Circular Variance = 0.7025; kappa = 0.6062
 [Krumbein's axial mean; uncertainty is 1 standard error,
 for 95% confidence level multiply by 1.96]

10.1.3. ANÁLISIS DEL REGISTRO DE DATOS ESTRUCTURALES 3



Poles from Planes
calculated from 24 planes from Data set: '3.txt'

— Kamb Contouring | 26/07/2024 at 09:02—

Data set name = poles to 3.txt
Contour Int. = 2 sigma; Counting Area = 27.27% of net area
Expected Num. = 6.545455 Signif. Level = 3 sigma

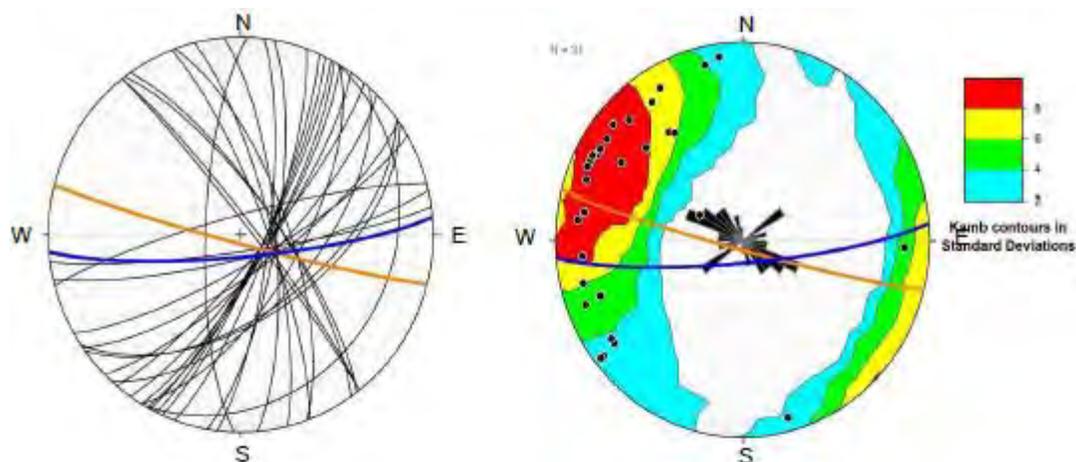
---- Pick Axial Plane | 26/07/2024 at 09:04----

Axial plane of dataset: poles to 3.txt
Trend & plunge of fold axis: 290.1, 77.0
Strike & dip of axial plane: 205.5, 77.1 W
Interlimb angle: 163.8°

---- Rose diagram/Circular Histogram | 26/07/2024 at 09:08----

Lines data set: poles to 3.txt
Max value = 16.86887% between 001° and 010°
Mean Vec = 358.8° ± 19.8°; Average Length = 0.406
Circular Variance = 0.594; kappa = 0.8741
[Krumbein's axial mean; uncertainty is 1 standard error,
for 95% confidence level multiply by 1.96]

10.1.4. ANÁLISIS DEL REGISTRO DE DATOS ESTRUCTURALES 4



Poles from Planes
calculated from 31 planes from Data set: '4.txt'

-----Kamb Contouring

Data set name = poles to 4.txt

Contour Int. = 2 sigma; Counting Area = 22.5% of net area
Expected Num. = 6.975 Signif. Level = 3 sigma

-----Pick Axial Plane

Axial plane of dataset: poles to 4.txt
Trend & plunge of fold axis: 117.0, 72.9
Strike & dip of axial plane: 106.2, 86.7 S
Interlimb angle: 173.7°

-----Pick Axial Plane

Axial plane of dataset: poles to 4.txt
Trend & plunge of fold axis: 117.0, 72.9
Strike & dip of axial plane: 104.5, 86.2 S
Interlimb angle: 171.7°

-----Pick Axial Plane

Axial plane of dataset: poles to 4.txt
Trend & plunge of fold axis: 117.0, 72.9
Strike & dip of axial plane: 084.9, 80.8 S
Interlimb angle: 171.0°

----- Rose diagram/Circular Histogram | 26/07/2024 at 09:18-----

Lines data set: poles to 4.txt

Max value = 16.12903% between 111° and 120°
Mean Vec = 114.3° ± 15.2°; Average Length = 0.4519
Circular Variance = 0.5481; kappa = 1.0102
[Krumbein's axial mean; uncertainty is 1 standard error,
for 95% confidence level multiply by 1.96]

10.2. ESTUDIO PETROGRAFICO

Nº DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M01	OU-01-24	308271	8457701	19

ELABORADO POR:
ANIBAL ALVAREZ PEREZ
BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	TOBA RIOLÍTICA CRISTALINA
--------------------------	---------------------------

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA
<p>1. Textura: Piroclástica cristalina Color: Pardo blanquecino Tamaño de cristales: 1 – 2mm Forma: Anhedral</p> <p>2. Composición mineralógica: Minerales principales: Cuarzo, Plagioclasa, Feldespato potásico Minerales Accesorios: Biotita</p>



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasas (andesina), feldespato potásico (ortoclasa) y biotita alterada, dispuestos en una matriz fina con ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 1.2	15
		Plagioclasa, cristales con formas anhedrales, con macla polisintética y microfracturados.	≤ 1.3	12
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales con inclusiones de plagioclasas, cuarzo y biotita, se reconocen por su macla.	≤ 1.2	10
	Accesorios	Biotita, cristales con formas anhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a magnetita y algunos a hematita	≤ 1.1	3
		Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración de la plagioclasa.	-	Traza
LÍTICOS	No presenta.		-	-
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.		-	60

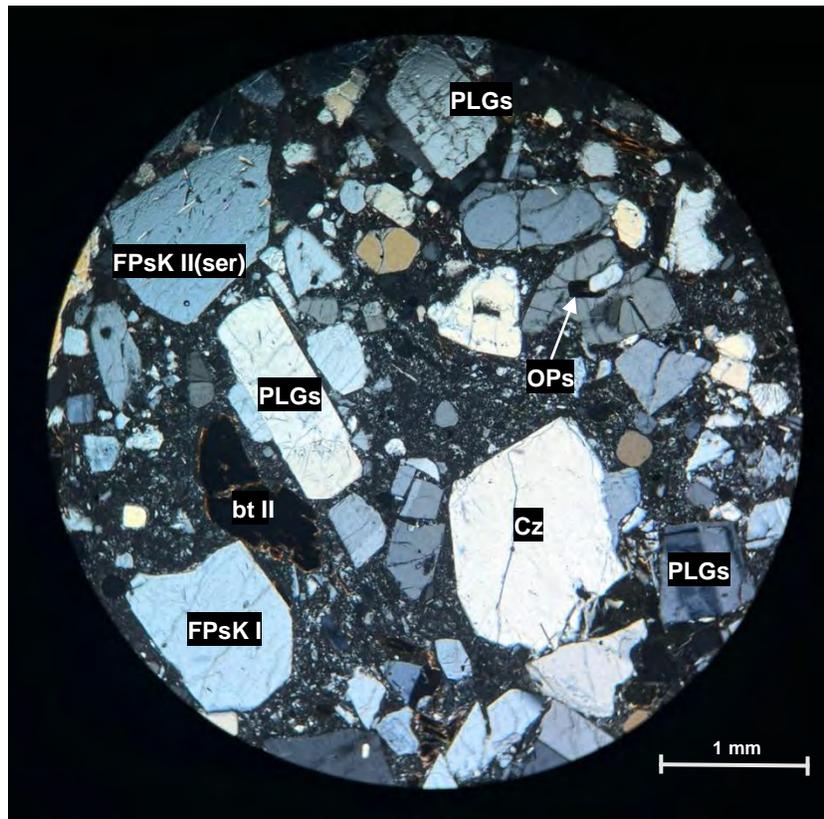
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico se encuentra ligeramente alterado a sericita.
Las biotitas se encuentran alteradas a óxidos de hierro y hematita.

<u>OBSERVACIONES</u>
Se encontró cristales de rutilo como inclusiones en plagioclasa.

FOTOMICROGRAFÍA/S

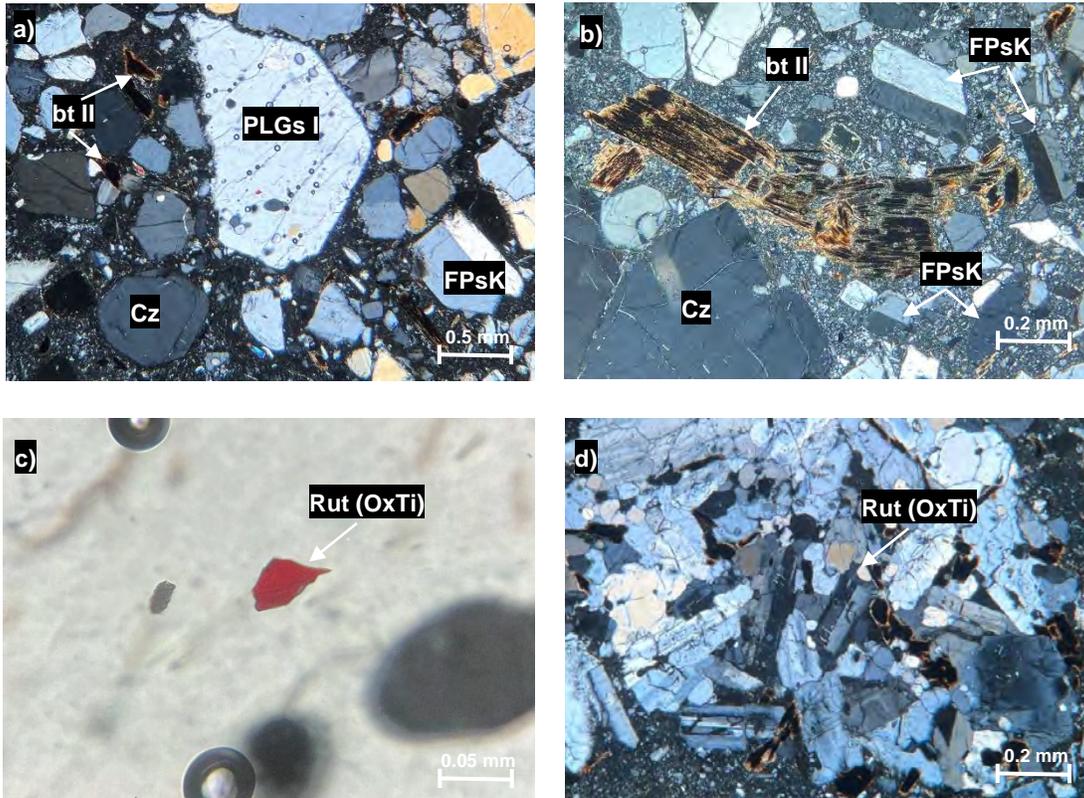
Muestra N° QU-01-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados, zonados y microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, presentan microfracturas: FPsK I y alteraciones a sericita: FPKs II(ser); las biotitas con formas subhedrales, alteradas a hematita: bt II. Además, se tienen minerales opacos: Ops. La matriz está compuesta por minerales feldespato potásico, también por cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-01-24



Fotomicrografías: a. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con planos de exfoliación: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas subhedrales a anhedrales: FPsK. las biotitas con formas anhedrales a subhedrales, microfracturados, se muestran alterados a hematita: bt II. b. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de feldespato potásico con forma subhedral a anhedral, microfracturados; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, plegados y microfracturados, alterados a hematita: bt II. c. Cristales de rutilo como inclusiones de feldespato. d. Aglomerado de cristales de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, maclados y algunos zonados, microfracturados, con inclusiones de minerales opacos.

N° DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M02	QU-02-24	307938	8456943	19

ELABORADO POR:
ANIBAL ALVAREZ PEREZ
BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	TOBA RIOLITICA CRISTALINA CON LITICOS
--------------------------	---------------------------------------

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA
<p>1. Textura: Piroclástico – Cristalino Color: Gris claro Tamaño de cristales: 0.5 – 2mm Forma: Anhedrales</p> <p>2. Composición mineralógica: Minerales principales: Plagioclasa sódica, Cuarzo, Feldespato potásico >> Líticos Minerales Accesorios: Biotita</p>

FOTO MACROSCÓPICA


<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotitas alteradas; con inclusiones de fragmentos líticos de composición volcánica, dispuestos en una matriz fina con cristales de feldespato potásico, cuarzo y plagioclasas con ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, microfracturados, algunos se muestran alterados a sericita.	≤ 0.5	12
		Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 0.6	10
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales y bordes subredondeados, con inclusiones de minerales opacos, microfracturados.	≤ 1.0	10
	Accesorios	Biotita, pequeños cristales pequeños con formas anhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a algunos a hematita	≤ 0.25	3
		Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración de la plagioclasa.	-	Traza
LÍTICOS	De naturaleza volcánica, se observan cristales de cuarzo, feldespato y minerales opacos.	≤ 3.5	10	
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	55	

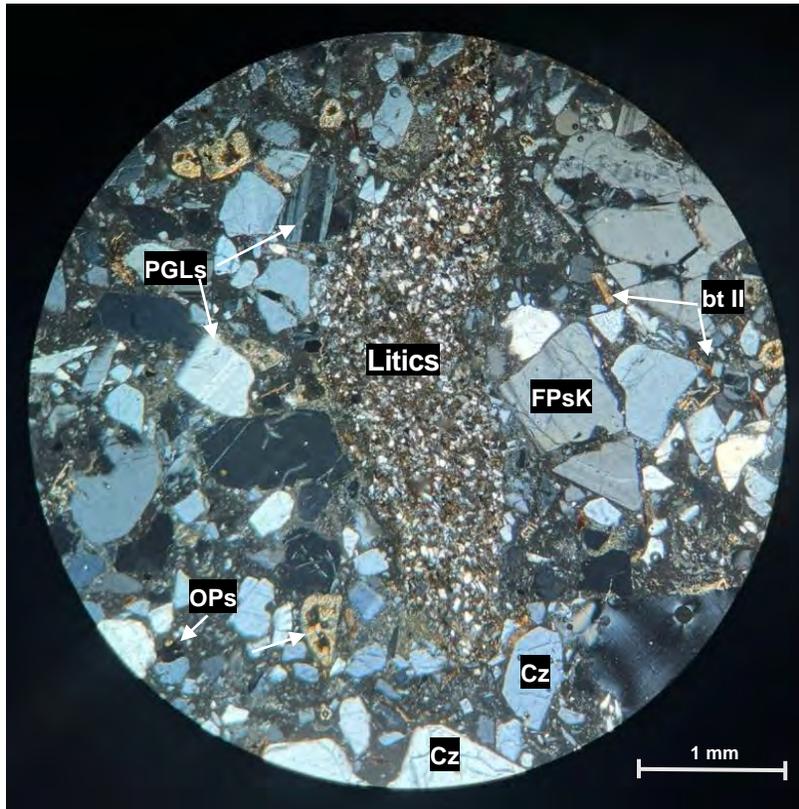
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
La plagioclasa se encuentra ligeramente alterado a sericita. La biotita se encuentra moderadamente alterada a óxidos de hierro.

<u>OBSERVACIONES</u>
Se observa una variedad de fragmentos líticos principalmente de composición volcánica, estos contienen cristales de feldespato potásico, cuarzo y fragmentos de roca; algunos líticos contienen cristales de Zircón.

FOTOMICROGRAFÍAS

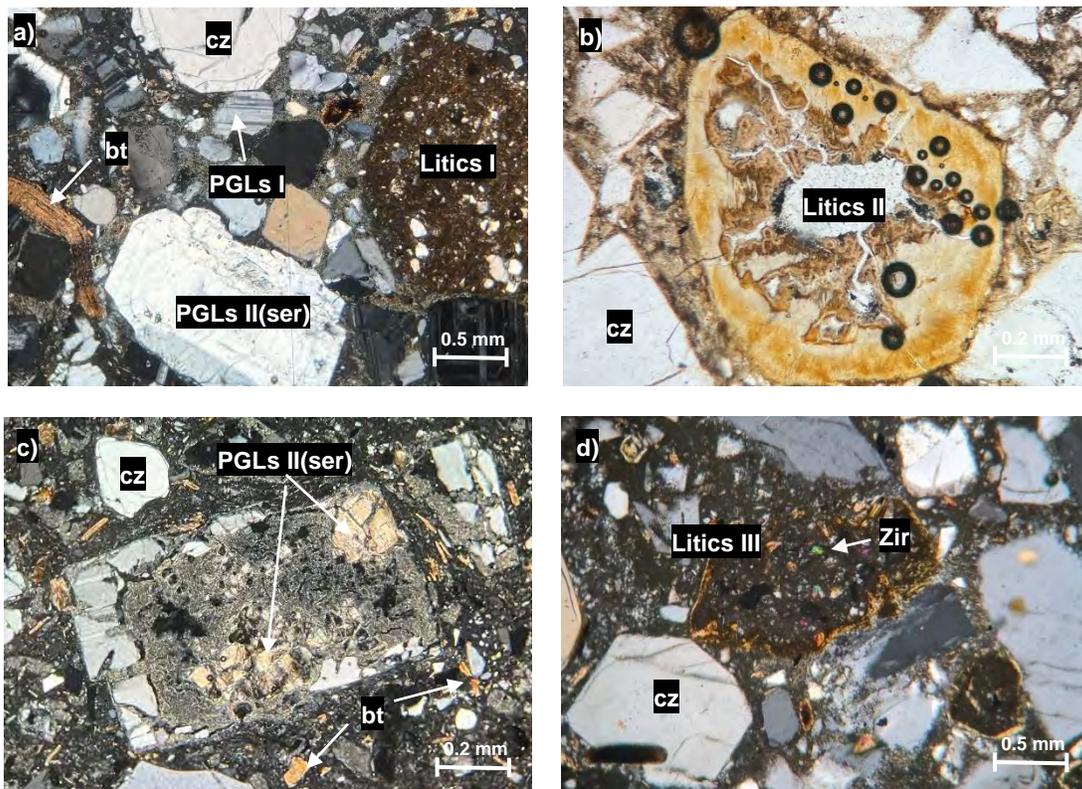
Muestra N° QU-02-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados, parcialmente reemplazados por la matriz: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados, zonados y microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, microfracturados: FPsk; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a hematita: bt II; minerales opacos: OPs. fragmentos líticos compuesto por cuarzo, feldespato, óxidos de hierro y minerales opacos: Litics. La matriz está compuesta por minerales de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍAS

Muestra N° QU-02-24



Fotomicrografías: a. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas, macladas y zonadas: PGLs I, ligeramente alteradas a sericita: PGLs II(ser); las biotitas con formas anhedrales a subhedrales, alterados a óxidos de hierro: bt I; fragmentos líticos constituido por agregados de cristales de cuarzo y feldespato y fragmentos de roca: Líticos I. b. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmento lítico de forma subredondeada, microfracturado, intensamente alterado hacia los bordes a óxidos de hierro,: Líticos II. c. Cristales de cuarzo de formas anhedrales con bordes redondeados, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales, microfracturados, intensamente alterados a sericita: PGLs II(ser); la biotita con formas subhedrales tabulares, alteradas a óxidos de hierro: bt I. d. Cristales de cuarzo, de forma subhedral a anhedral, microfracturados: cz; fragmento lítico de composición volcánica, intensamente alterado contiene cristales euhedrales de Zircón: Líticos III.

N° DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M03	QU-03-24	305318	8456026	19

ELABORADO POR:

ANIBAL ALVAREZ PEREZ

BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

TOBA RIOLÍTICA CRISTALINA CON LÍTICOS

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

1. Textura: Piroclástico – Cristalino

Color: Gris blanquecino

Tamaño de cristales: 1 – 2mm

Forma: Anhedrales

2. Composición mineralógica:

Minerales principales: Plagioclasa sódica, Cuarzo, Feldespato potásico >> líticos

Minerales Accesorios: Biotita

FOTO MACROSCÓPICA



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotitas alteradas, además de inclusiones de fragmentos líticos de composición volcánica, dispuestos en una matriz fina con ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Plagioclasa, cristales con formas anhedrales, con macla polisintética y microfracturados.	≤ 0.6	15
		Cuarzo, cristales con formas anhedrales, microfracturados.	≤ 1.7	12
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales con inclusiones de plagioclasas, cuarzo y biotita, se reconocen por su macla.	≤ 1.0	10
	Accesorios	Biotita, pequeños cristales pequeños con formas anhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a óxidos de hierro.	≤ 1.1	3
		Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración de la plagioclasa.	-	Traza
LITICOS	De naturaleza volcánica, se observan cristales de cuarzo, feldespato y minerales opacos.	≤ 1.0	5	
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	55	

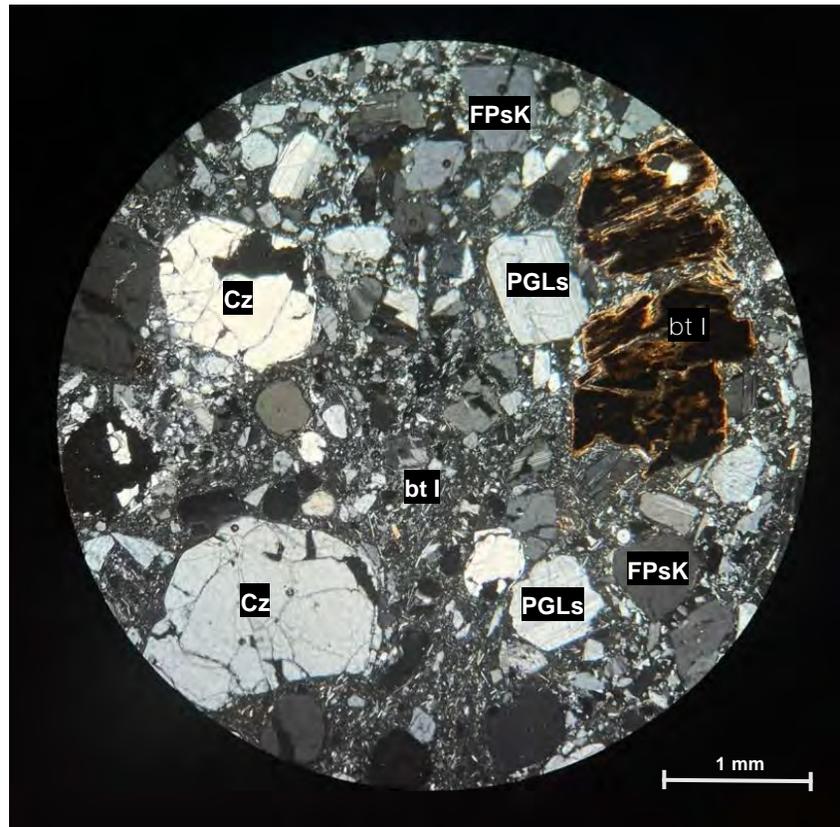
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
La biotita se encuentra ligeramente alterada a óxidos de hierro.

<u>OBSERVACIONES</u>
Las biotitas se encuentran plegadas y fracturadas.

FOTOMICROGRAFÍA/S

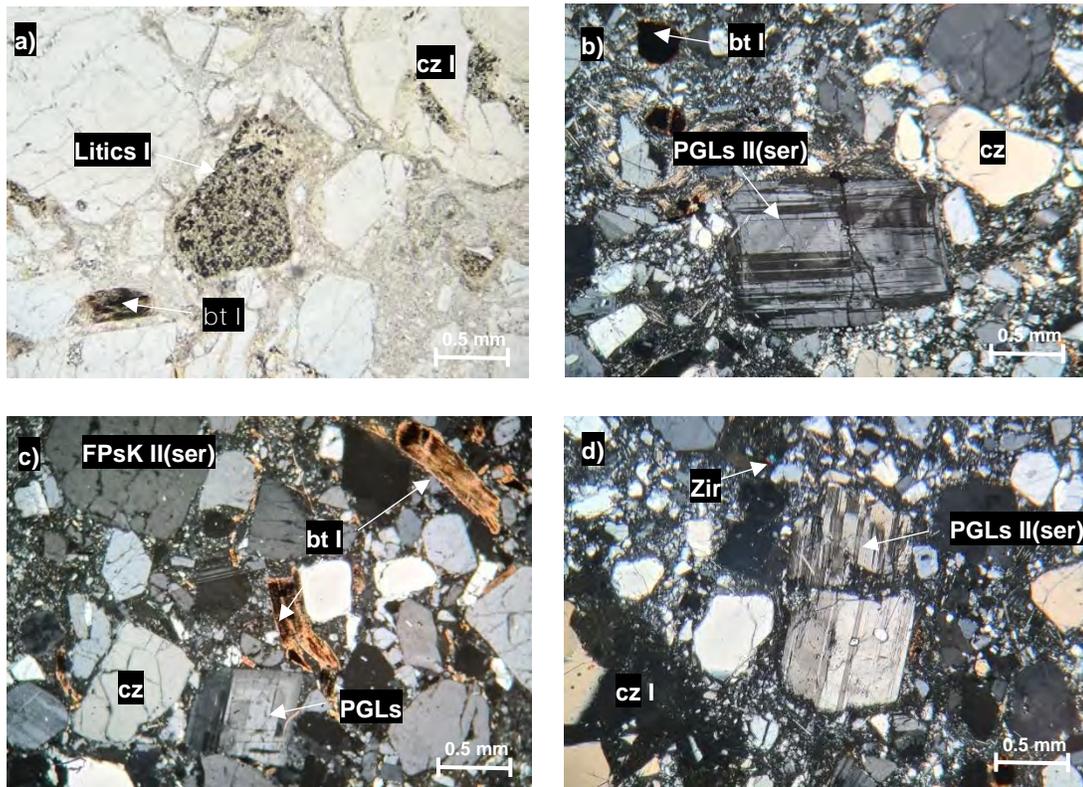
Muestra N° QU-03-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados, con inclusiones de minerales opacos: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados, algunos zonados y microfracturados: PGLs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales, microfracturados: FPsK; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I. Además, se tienen minerales opacos: Ops. La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-03-24



Fotomicrografías: a. Vista en nicols paralelos de cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados, parcialmente reemplazados por la matriz: cz I; la biotita con formas subhedrales a anhedrales, microfracturados, alteradas a óxidos de hierro: bt I; b. Cristales de cuarzo de formas irregulares, bordes subredondeados, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas de formas subhedrales, maclados y zonados, alterados a sericita: PGLs II(ser); las biotitas con formas anhedrales alterados a óxidos de hierro: bt I. c. Cristales de cuarzo de formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de feldspatos potásicos, con formas irregulares, alterados a sericita: FPsK II(ser); la biotita con formas subhedrales tabulares, se encuentran plegadas y microfracturados, alteradas a óxidos de hierro: bt I. d. Cristales de cuarzo, de forma anhedral, parcialmente reemplazados por la matriz, microfracturados: cz I; los fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales, microfracturados y alterados a sericita: PGLs II(ser); cristales de zircón con formas euhedrales: Zir.

N° DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M04	QU-04-24	305025	8453470	19

ELABORADO POR:

ANIBAL ALVAREZ PEREZ

BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

TOBA RIOLÍTICA CRISTALINA CON LÍTICOS

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

1. Textura: Piroclástico – Cristalino

Color: Gris blanquecino

Tamaño de cristales: 0.5 – 2mm

Forma: Anhedrales

2. Composición mineralógica:

Minerales principales: Cuarzo, Feldespato potásico, Plagioclasa sódica >> líticos

Minerales Accesorios: Biotita

FOTO MACROSCÓPICA



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotitas alteradas, dispuestos en una matriz fina con cristales de feldespato potásico, cuarzo y plagioclasas con ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 1.5	15
		Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, parcialmente reemplazados por la matriz, microfracturados.	≤ 0.8	12
		Feldespato potásico, cristales con formas subhedrales a anhedrales, se reconocen por su macla tipo Carlsbad con inclusiones de plagioclasas, algunos alterados a sericita.	≤ 1.0	10
		Biotita, cristales con formas anhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a óxidos de hierro.	≤ 1.2	5
	Accesorios	Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo, hematita.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración del feldespato potásico y plagioclasa.	-	Traza
LITICOS	De naturaleza volcánica, se observan cristales de cuarzo, feldespato y minerales opacos.	≤ 1.0	3	
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	55	

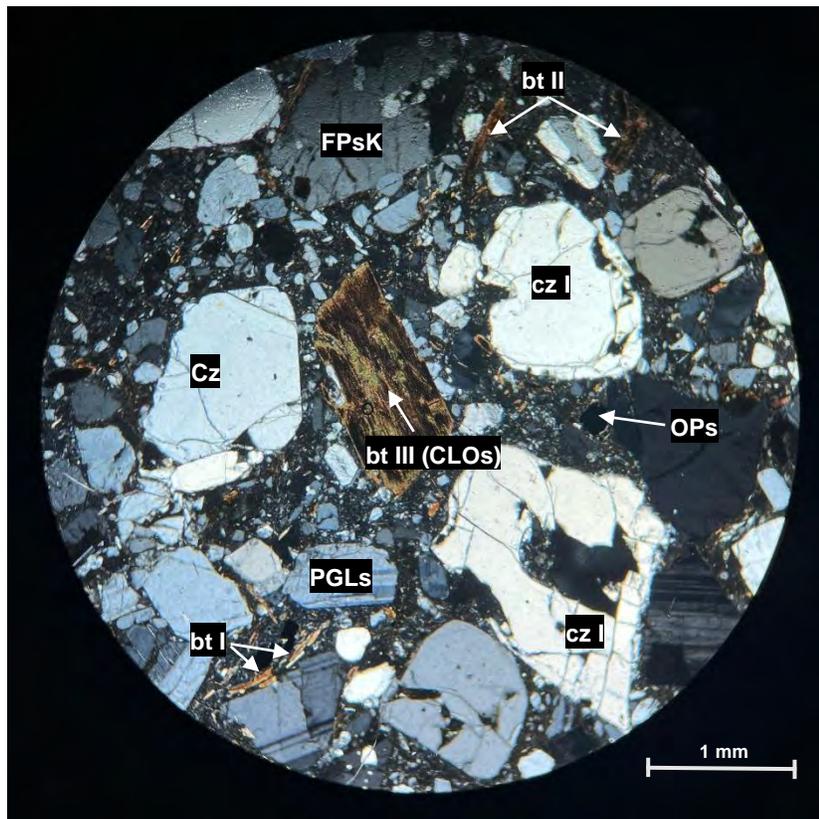
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico se encuentra ligeramente alterado a sericita. La biotita se encuentra moderadamente alterada a óxidos de hierro, hematita y clorita.

<u>OBSERVACIONES</u>
Ninguna

FOTOMICROGRAFÍA/S

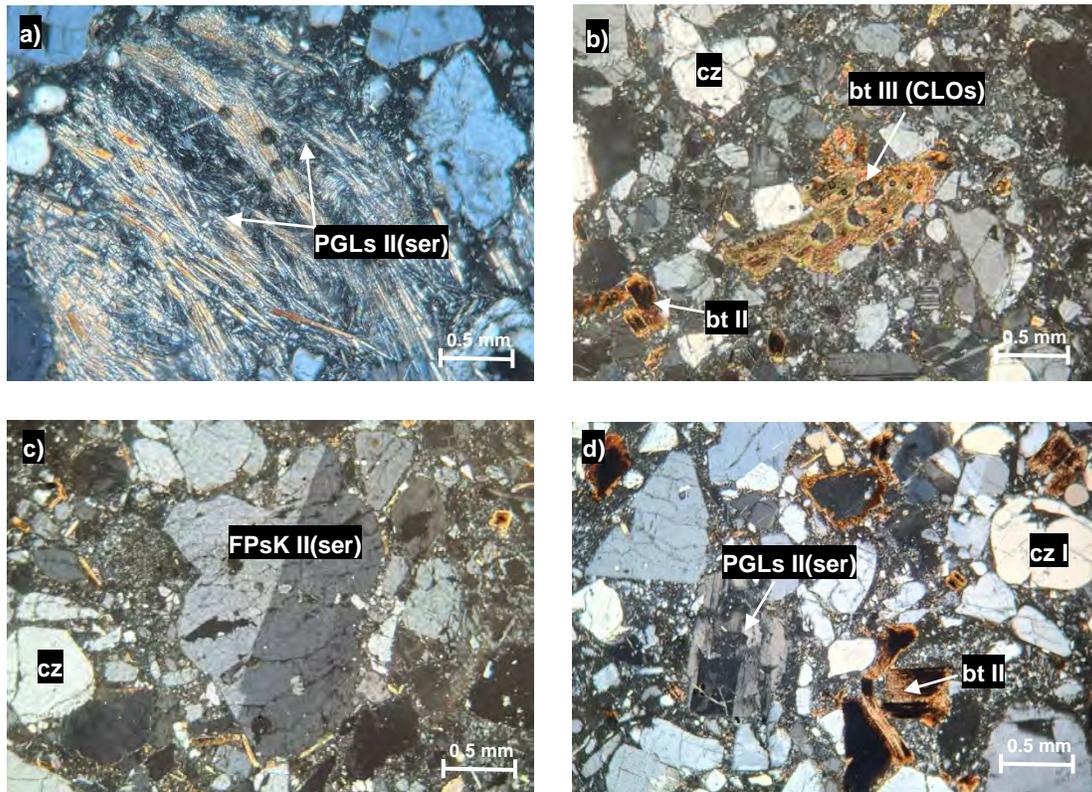
Muestra N° QU-04-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados: cz, con inclusiones de minerales opacos: cz I; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados, zonados y microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, microfracturados: FPsK; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I, alterados a hematita: bt II, alterados a cloritas: bt III(CLOs); además, se tienen minerales opacos: Ops. La matriz está compuesta por cristales de feldespato potásico, cuarzo y plagioclasa con ceniza vitrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-04-24



Fotomicrografías: a. Microlitos de plagioclasas, alterados a sericita: PGLs II(ser); b. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; las biotitas con formas anhedrales, alterados a hematita: bt II, alterados a cloritas: bt III(CLOs). c. Cristales de cuarzo de formas anhedrales con bordes redondeados, microfracturados: cz; fragmentos de feldspatos potásicos, con formas anhedrales, microfracturados, alterados a sericita: FPsK II(ser); la biotita con formas subhedrales tabulares, alteradas a óxidos de hierro: bt I. d. Cristales de cuarzo, de forma anhedral a subhedral, microfracturados: cz, parcialmente reemplazados por la matriz: cz I; fragmentos de plagioclasas con formas anhedrales, microfracturados, alterados a sericita(ser); la biotita con formas tabulares, alteradas a hematita: bt II.

Nº DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M05	QU-05-24	304340	8453830	19

ELABORADO POR:

ANIBAL ALVAREZ PEREZ

BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

RIODACITA PORFIRÍTICA

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

1. Textura: Porfídica - cristalina

Color: Gris verdoso

Tamaño de cristales: 2 – 4mm

Forma: Anhedrales

2. Composición mineralógica:

Minerales principales: Cuarzo, Plagioclasa sódica, Feldespato potásico

Minerales Accesorios: Biotita fresca

FOTO MACROSCÓPICA

<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura pilotáxica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotitas alteradas, dispuestos en una matriz fina con ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 1.3	5
		Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, microfracturados, se encuentran alterados a sericita.	≤ 0.9	10
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales y bordes subredondeados, con inclusiones de minerales opacos, se encuentran alterados a sericita, microfracturados.	≤ 0.4	5
		Biotita, cristales con formas subhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a óxidos de hierro.	≤ 0.6	8
	Accesorios	Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración de la plagioclasa.	-	Traza
LÍTICOS	No presenta	-	-	
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	72	

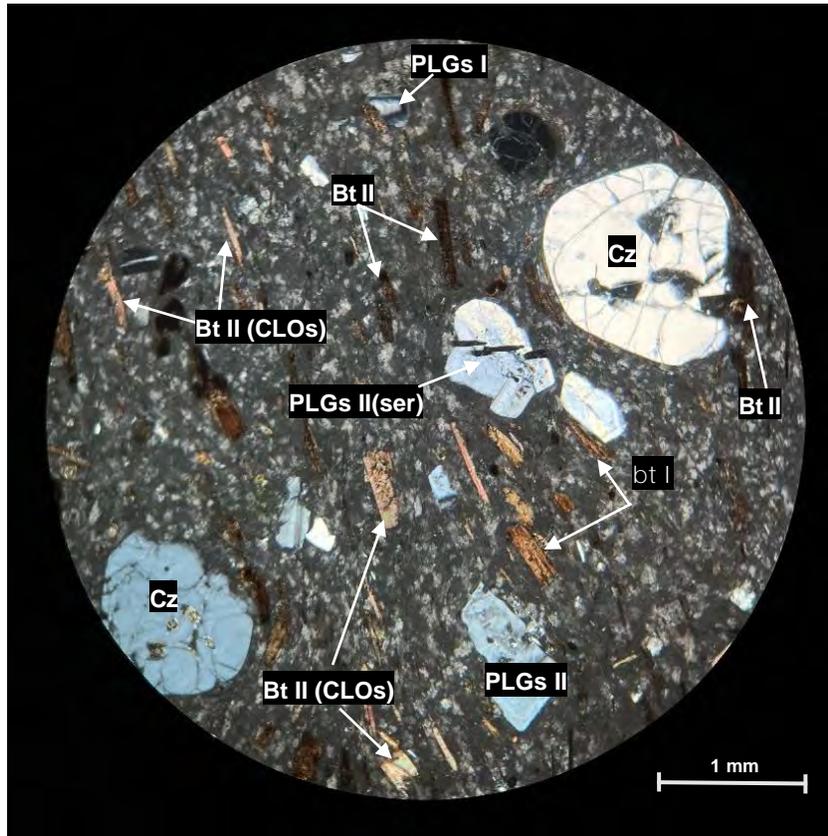
TEXTURAS	Pilotáxica
----------	------------

<u>ALTERACIONES</u>
La plagioclasa se encuentra ligeramente alterado a sericita.
La biotita se encuentra moderadamente alterada a óxidos de hierro, hematita y cloritas.

<u>OBSERVACIONES</u>
Los cristales de cuarzo muestran bordes subredondeados.
La biotita se muestra marcando una dirección de flujo.

FOTOMICROGRAFÍA/S

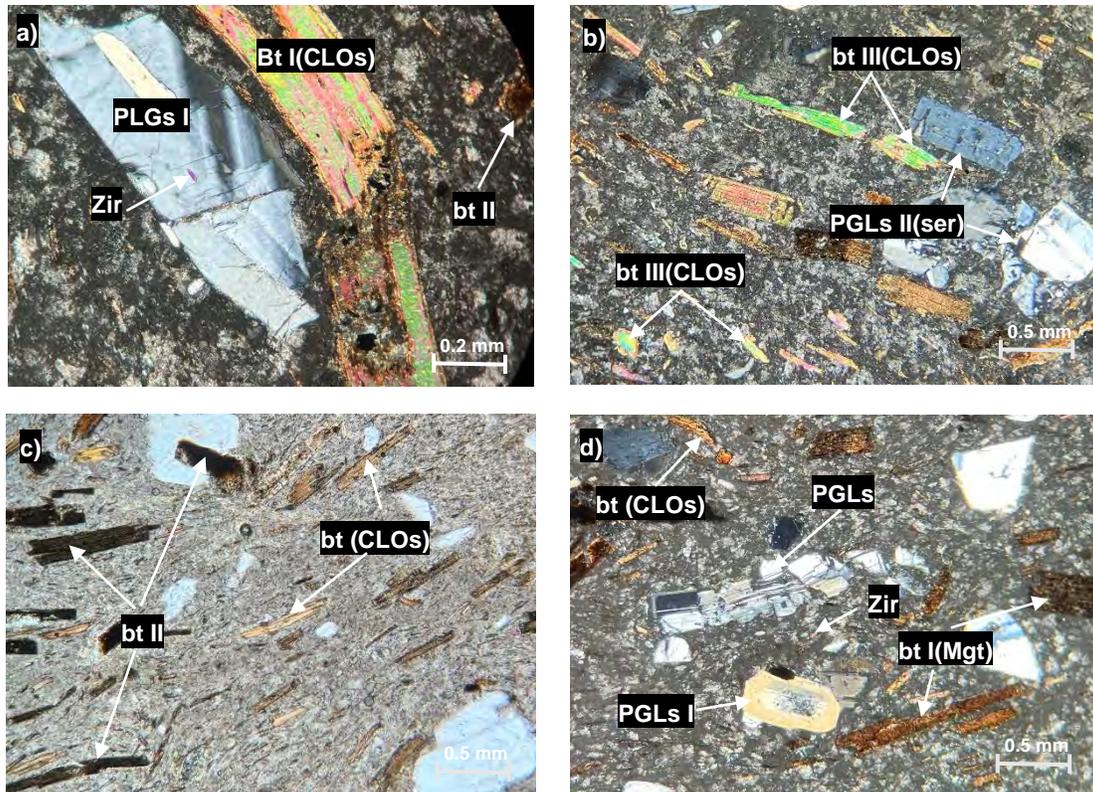
Muestra N° QU-05-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura pilotáxica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales y bordes redondeados, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados, microfracturados y parcialmente reemplazados por la matriz: PGLs I y alterados a sericita: PGLs II (ser); las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I, alterados a hematita: bt II y alterados a cloritas: bt II (CLOs). La matriz es fina con ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-05-24



Fotomicrografías: a. Cristales de plagioclasas, macladas y zonadas, con bordes parcialmente reabsorbidos por la matriz, presentan inclusiones de cristales de zircón: PLGs I. las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alterados a hematita: bt II, se muestran plegados y microfracturados, con alteración a cloritas: bt III. b. Cristales de plagioclasas, macladas y algunas zonadas, parcialmente reabsorbidos por la matriz, alterados a sericita: PGLs II(ser); las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alterados a cloritas: bt III(CLOs). c. Cristales de biotita con formas subhedrales, habito tabular, alteradas a óxidos de hierro, muestran una orientación preferente: bt II y alterados a cloritas: bt III(CLOs). d. Cristales plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, maclados y zonados, microfracturados, se encuentran alterados a sericita: PGLs II(ser); la biotita con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a cloritas: bt III(CLOs).

N° DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M06	QU-06-24	305467	8453090	19

ELABORADO POR:
ANIBAL ALVAREZ PEREZ
BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	TOBA RIOLÍTICA CRISTALINA CON LÍTICOS
--------------------------	---------------------------------------

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA
<p>1. Textura: Piroclástica – Cristalina Color: Pardo blanquecino Forma: Anhedral</p> <p>2. Composición mineralógica: Minerales principales: Cuarzo, Plagioclasa, Feldespato potásico >>líticos Minerales Accesorios: Biotita</p>



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasa (andesina), feldespato potásico (ortoclasa) y biotitas alteradas, además de inclusiones de fragmentos líticos de composición volcánica, dispuestos en una matriz fina con ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 1.3	15
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales con inclusiones de plagioclasas, cuarzo y biotita, se reconocen por su macla.	≤ 1.6	10
		Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, microfracturados.	≤ 1.0	8
		Biotita, cristales con formas anhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a magnetita, hematita y clorita.	≤ 0.9	6
	Accesorios	Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración de la plagioclasa.	-	Traza
LITICOS		De naturaleza volcánica, se observan cristales de cuarzo, feldespato y minerales opacos.	-	5
MATRIZ		Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	56

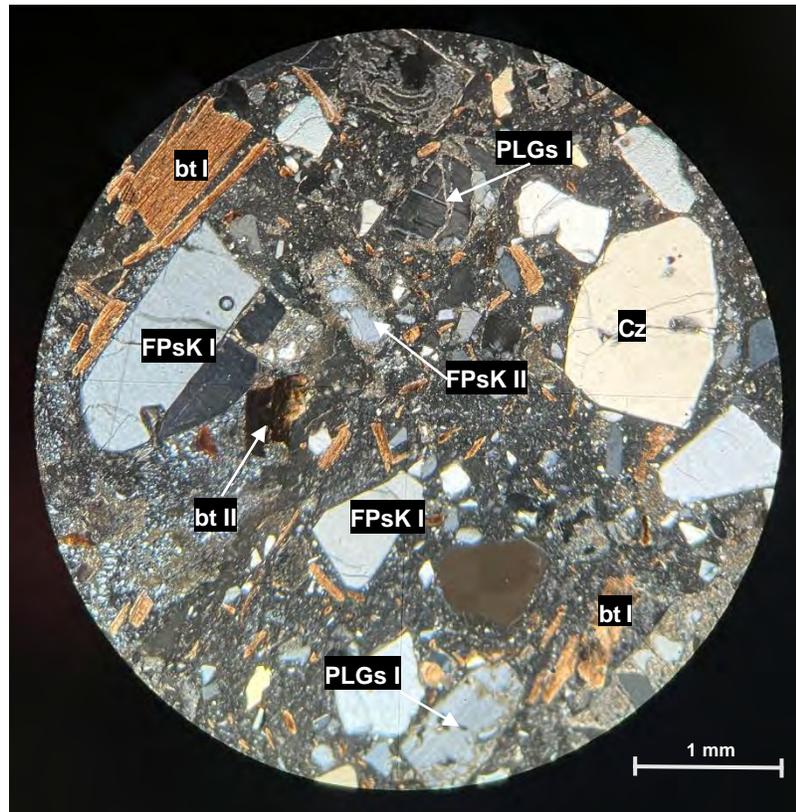
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico y la plagioclasa se encuentra alterado a sericita. La biotita se encuentra moderadamente alterada a óxidos de hierro.

<u>OBSERVACIONES</u>
Ninguna

FOTOMICROGRAFÍA/S

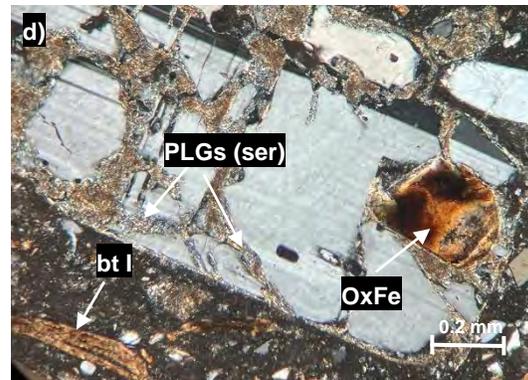
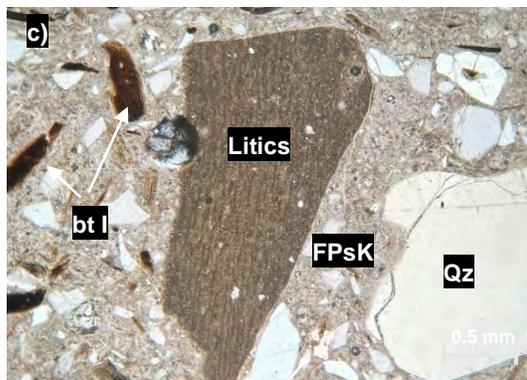
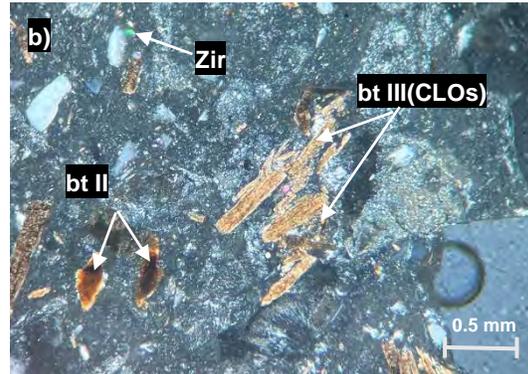
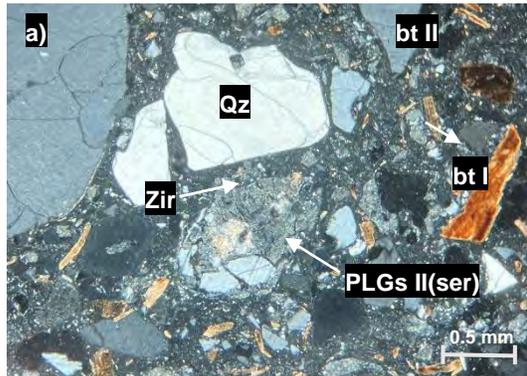
Muestra N° QU-06-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales y bordes redondeados, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados, microfracturados y parcialmente reemplazados por la matriz: PLGs I; fragmentos de feldespato potásico, con formas subhedral a anhedral, maclados, con bordes reabsorbidos por la matriz, microfracturados: FPsK I; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a hematita: bt II. La matriz es fina con ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-06-24



Fotomicrografías: a. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas, macladas y zonadas, alteradas a sericita: PLGs II (ser). las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alterados a óxidos de hierro: bt I y alterados a hematita: bt II. b. Cristales de zircón con formas euhedrales: Zir; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alterados a óxidos de hierro: bt I y alterados a cloritas: bt III. c. Vista en nicoles paralelos de cristales de cuarzo de formas anhedrales y bordes redondeados parcialmente reabsorbidos por la matriz, microfracturados: cz; fragmentos de feldespatos con formas irregulares: FPsK; la biotita con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I; fragmentos líticos de composición volcánica: Líticos d. Cristales de plagioclasas con formas subhedrales, microfracturados, se encuentran alterados a sericita y con inclusiones de oxidos de hierro: PGLs II (ser); la biotita con formas subhedrales, habito tabular, alteradas a óxidos de hierro: bt I.

Nº DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M07	QU-04-24	298978	8459272	19

ELABORADO POR:

ANIBAL ALVAREZ PEREZ

BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

TOBA RIOLÍTICA CRISTALINA

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

1. Textura: Piroclástico – Cristalino

Color: Gris blanquecino

Forma: Anhedrales

2. Composición mineralógica:

Minerales principales: Cuarzo, Feldespato potásico, Plagioclasa sódica

Minerales Accesorios: Biotita

FOTO MACROSCÓPICA



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotitas alteradas, dispuestos en una matriz compuesta por minerales de feldespato potásico, cuarzo, y plagioclasa con ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 3.0	15
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales con inclusiones de plagioclasas, cuarzo y biotita, se reconocen por su macla.	≤ 1.2	10
		Plagioclasa, cristales con formas anhedrales a subhedrales, maclados, zonados y microfracturados, alterados a sericita.	≤ 0.8	8
		Biotita, cristales con formas subhedrales, tabulares, ligeramente flexionados, alterados a óxidos de hierro.	≤ 1.0	5
	Accesorios	Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración de la plagioclasa.	-	Traza
LÍTICOS		No presenta	-	-
MATRIZ		Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	62

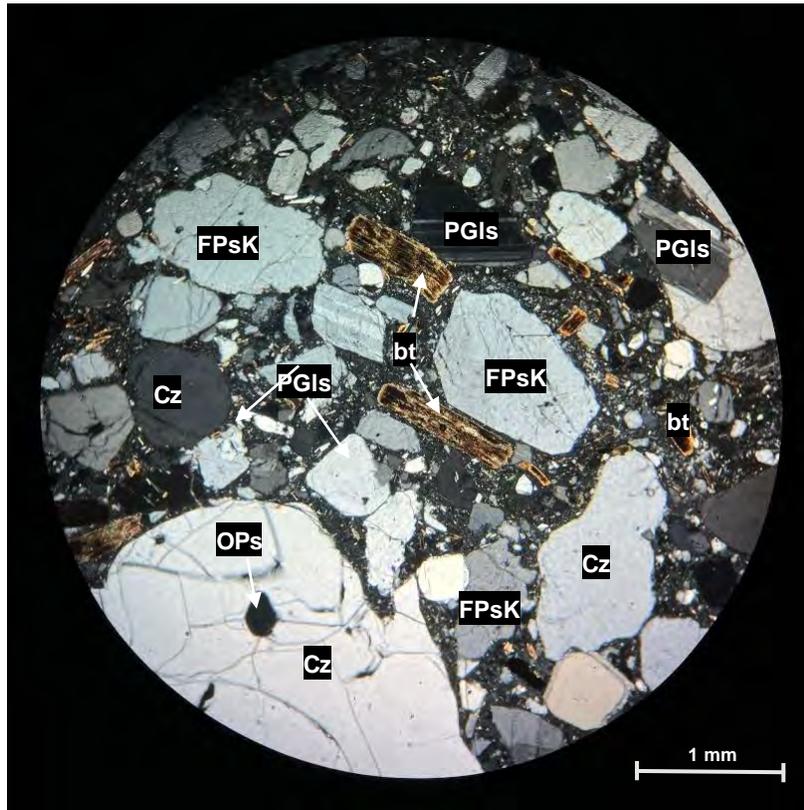
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
Las plagioclasas se encuentran ligeramente alterado a sericita. Las biotitas se encuentran moderadamente alterada a óxidos de hierro.

<u>OBSERVACIONES</u>
Se observan cristales de zircón en plagioclasas.

FOTOMICROGRAFÍA/S

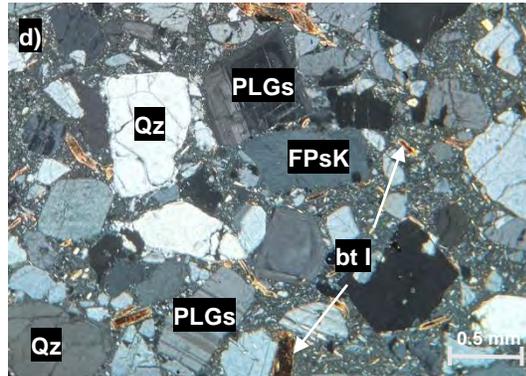
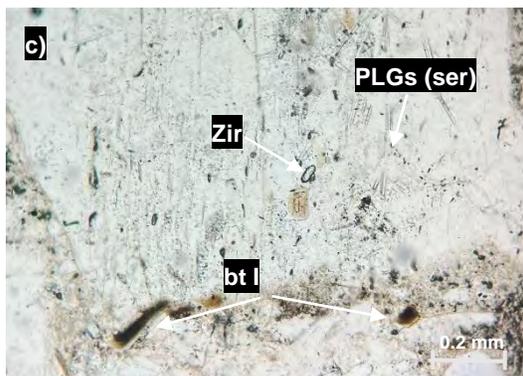
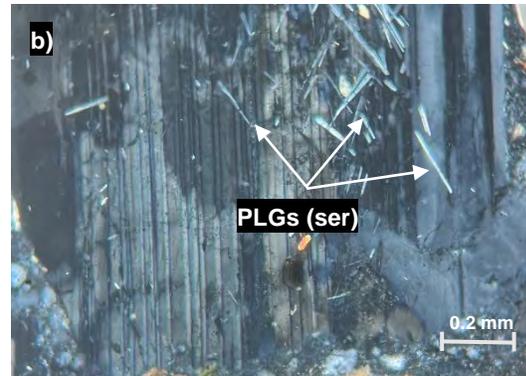
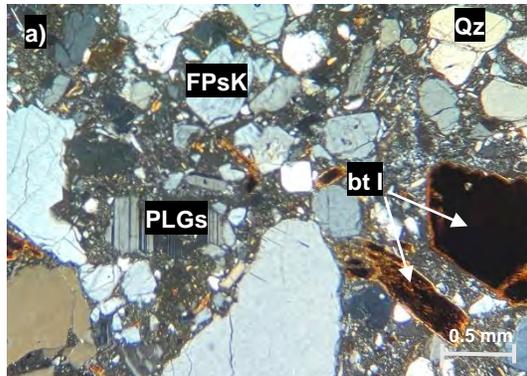
Muestra N°QU-07-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales y bordes subredondeados, microfracturados con inclusiones de minerales opacos: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, presentan microfracturas: FPsK; las biotitas con formas subhedrales con habito tabular, se muestran ligeramente plegadas, están alteradas a óxidos de hierro: bt I. La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclase y feldespato potásico.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-07-24



Fotomicrografías: a. Cristales de cuarzo: cz, Plagioclasa: PLGs, feldespato potásico, biotitas alteradas a óxidos de hierro: bt I. b. Cristales de plagioclasas alterados a sericita: PGLs(ser) c. Cristales de forma euhedral, prismáticos de zircón: Zir en fragmento de plagioclasa alteradas a sericita: PGLs(ser) y biotitas alteradas a óxidos de hierro: bt I. d. Cristales de cuarzo: cz, Plagioclasas macladas y zonadas: PLGs, feldespato potásico: FPsk y biotitas alteradas a óxidos de hierro: bt I. La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y

N° DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M08	QU-08-24	300337	8459146	19

ELABORADO POR:
ANIBAL ALVAREZ PEREZ
BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	TOBA RIOLÍTICA CRISTALINA
--------------------------	---------------------------

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA
<p>1. Textura: Piroclástica – Cristalina Color: Pardo blanquecino Forma: Anhedrales</p> <p>2. Composición mineralógica: Minerales principales: Cuarzo, Plagioclasa, Feldespato potásico Minerales Accesorios: Biotita</p>



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotitas alteradas, dispuestos en una matriz compuesta por minerales de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos parcialmente reemplazados por la matriz.	≤ 1.0	15
		Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, microfracturados, fallados y parcialmente reemplazados por la matriz,	≤ 0.9	15
		Feldespato potásico, cristales con formas subhedrales a anhedrales, se reconocen por su macla tipo Carlsbad con inclusiones de plagioclasas, algunos alterados a sericita.	≤ 0.8	10
	Accesorios	Biotita, cristales con formas anhedrales, tabulares, plegados, microfracturados, alterados a óxidos de hierro y hematita.	≤ 0.3	3
		Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de Hierro, Cristales anhedrales de color marrón rojizo oscuro.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración del feldespato potásico y plagioclasa.	-	Traza
LITICOS	No presenta	-	-	
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	57	

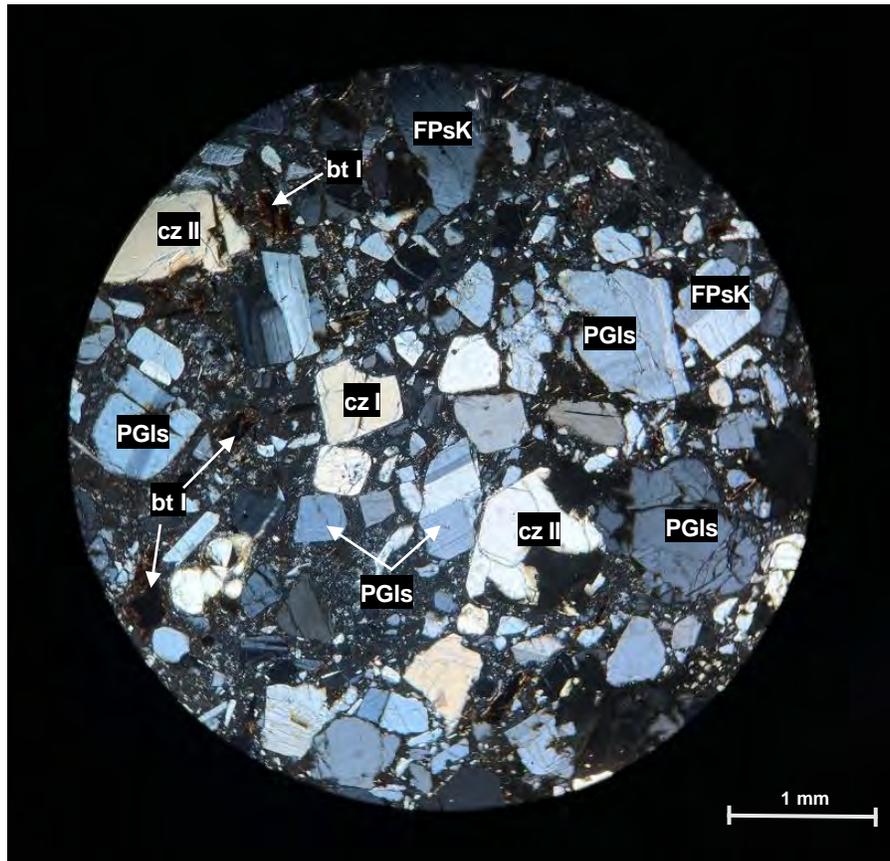
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
La biotita muestra alteraciones a óxidos de hierro y posteriormente a hematita

<u>OBSERVACIONES</u>
Ninguna

FOTOMICROGRAFÍA/S

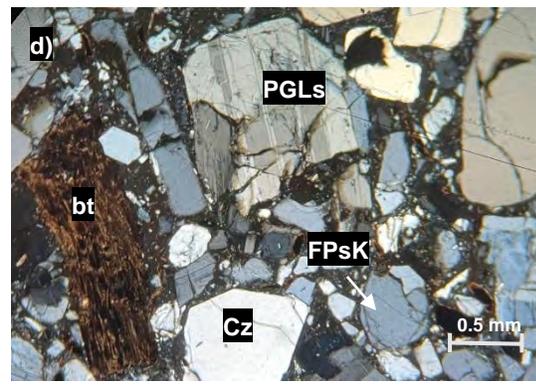
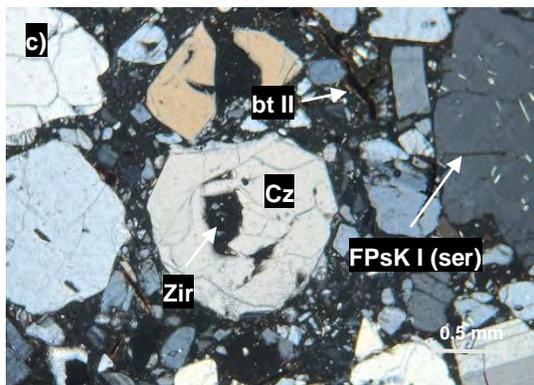
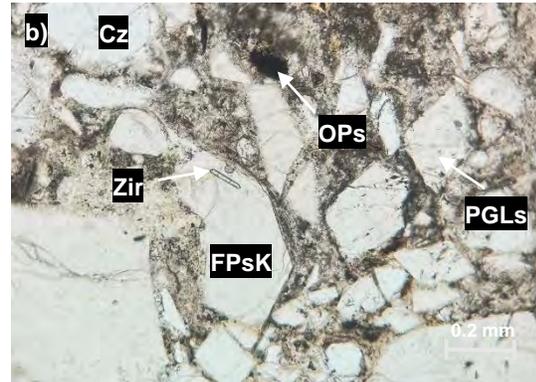
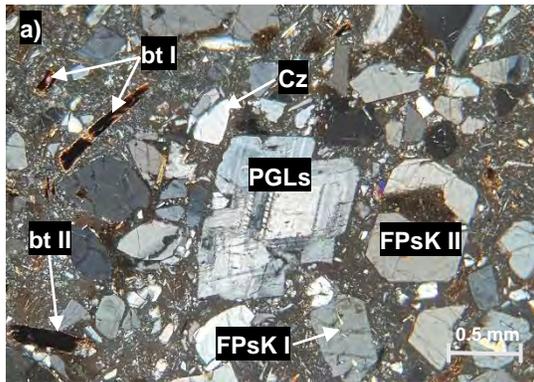
Muestra N° QU-08-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz I, parcialmente reemplazados por la matriz: cz II; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas subhedrales a anhedrales, microfracturados: FPsK; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I. La matriz está compuesta por minerales de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-08-24



Fotomicrografías: a. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas, macladas y zonadas, se encuentran microfracturadas: PGLs; fragmentos de feldespato potásico con formas subhedrales a anhedrales: FPsk I, algunos parcialmente reabsorbidos por la matriz, incluyen cristales de zircón: FPsk II; las biotitas con formas subhedrales, alterados a óxidos de hierro: bt I y alterados a hematita: bt II. b. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas de formas subhedrales: PGLs; fragmentos de feldespato potásico con formas subhedrales a anhedrales: incluyen cristales de zircón: FPsk I; minerales opacos: OPs c. Cristales de cuarzo de formas anhedrales con bordes redondeados, microfracturados, parcialmente reabsorbidos por la matriz, incluyen cristales de zircón: cz; fragmentos de feldespatos potásicos alterados a sericita: FPsk I (ser); la biotita con formas subhedrales tabulares, alteradas a hematita: bt II. d. Cristales de cuarzo, de forma subhedral a anhedral, microfracturados: cz; los fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales, maclados y algunos zonados, microfracturados; fragmentos de feldespatos potásicos con formas anhedrales, microfracturados: FPsk.

Nº DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M09	QU-09-24	300360	8461238	19

ELABORADO POR:
ANIBAL ALVAREZ PEREZ
BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	TOBA RIOLÍTICA CRISTALINA CON LÍTICOS
--------------------------	---------------------------------------

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA
<p>1. Textura: Piroclástica – Cristalina Color: Blanco grisáceo</p> <p>Tamaño de cristales: 1-2mm</p> <p>Forma: Anhedral</p> <p>2. Composición mineralógica: Minerales principales: Cuarzo, Plagioclasa sódica, Feldespato potásico >> líticos</p> <p>Minerales Accesorios: Biotita</p>



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotitas alteradas, además de inclusiones de fragmentos líticos de composición volcánica, dispuestos en una matriz La matriz compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 2.0	15
		Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, microfracturados.	≤ 0.5	10
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales y bordes subredondeados, con inclusiones de minerales opacos, se encuentran alterados a sericita, microfracturados.	≤ 1.1	8
	Accesorios	Biotita, cristales con formas subhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a óxidos de hierro.	≤ 0.3	3
		Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración de la plagioclasa y feldespato potásico.	-	Traza
LITICOS	De naturaleza volcánica, se observan cristales de cuarzo, feldespato y minerales opacos.	≤ 0.3	5	
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	59	

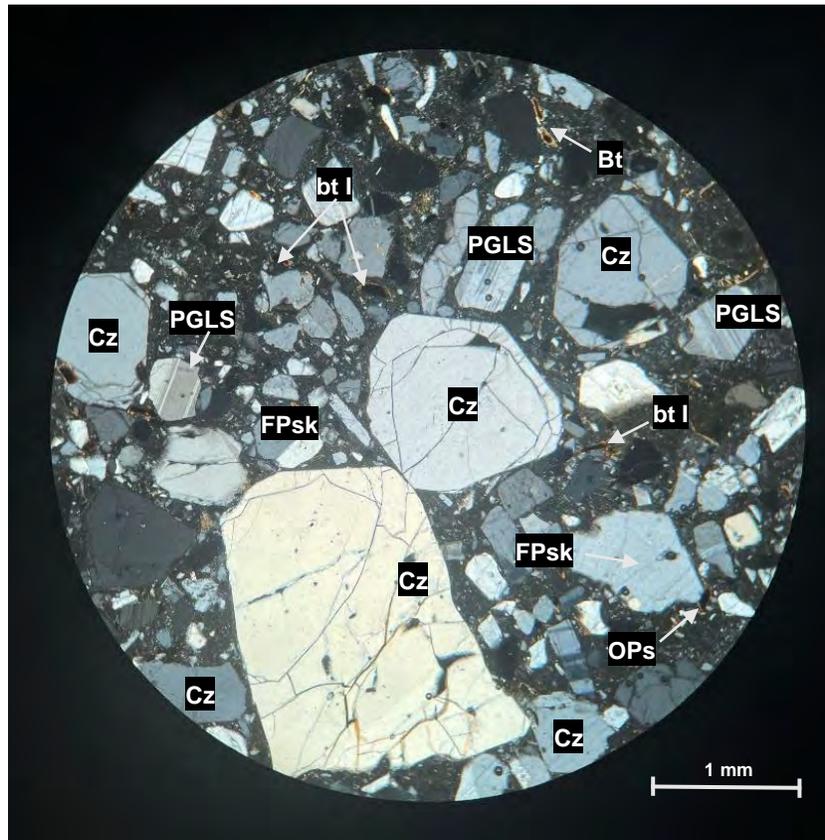
TEXTURA	Piroclástica
---------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico se encuentra ligeramente alterado a sericita.
La biotita se encuentra moderadamente alterada a óxidos de hierro.

<u>OBSERVACIONES</u>
Ninguna

FOTOMICROGRAFÍA/S

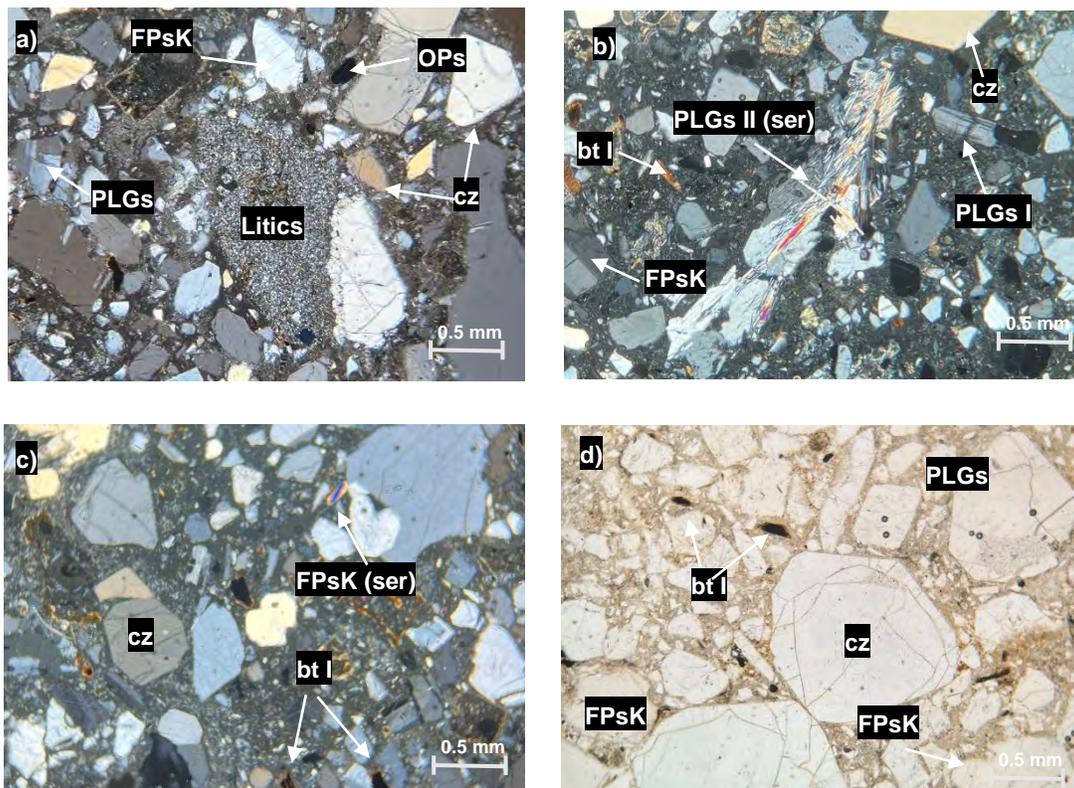
Muestra N°QU-09-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, maclados, zonados y microfracturados: PGLS; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales y bordes subredondeados, presentan microfracturas: FPsk; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt. Además, se tienen minerales opacos: Ops. La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-09-24



Fotomicrografías: a. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas, macladas y zonadas: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas irregulares: FPsK; minerales opacos: OPs y fragmentos líticos constituido por agregados de cristales de cuarzo y feldespato y minerales opacos: Líticos. b. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas de formas subhedrales, maclados: PGLs I y microlitos de plagioclasas alterados a sericita: PGLs II (ser); las biotitas con formas anhedrales a subhedrales, alterados a óxidos de hierro: bt I. c. Cristales de cuarzo de formas anhedrales con bordes redondeados, microfracturados: cz; fragmentos de feldespatos potásicos alterados a sericita: FPsK (ser); la biotita con formas subhedrales tabulares, alteradas a óxidos de hierro: bt I. d. Vista en nicoles paralelos de cristales de cuarzo, de forma anhedral a subhedral, microfracturados: cz; los fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales, microfracturados; fragmentos de feldespatos potásicos con formas anhedrales, microfracturados: FPsK; la biotita con formas tabulares, alteradas a óxidos de hierro: bt I.

N° DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M10	QU-10-24	300284	8463413	19

ELABORADO POR:
ANIBAL ALVAREZ PEREZ
BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	TOBA RIOLÍTICA CRISTALINA CON LÍTICOS
--------------------------	---------------------------------------

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA
<p>1. Textura: Piroclástica – Cristalina Color: Gris blanquecino Tamaño de cristales: 0.5 – 2mm Forma: Anhedral a Subhedral</p> <p>2. Composición mineralógica: Minerales principales: Cuarzo, Feldespato potásico, Plagioclasa >> Líticos Minerales Accesorios: Biotita</p>



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotitas alteradas, además de inclusiones de fragmentos líticos de composición volcánica, dispuestos en una matriz compuesta por cristales angulosos dispersos y ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas anhedrales, microfracturados.	≤ 0.8	15
		Feldespato potásico, cristales con formas subhedrales a anhedrales, se reconocen por su macla tipo Carlsbad con inclusiones de plagioclasas, algunos alterados a sericita.	≤ 0.6	10
		Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, parcialmente reemplazados por la matriz, microfracturados.	≤ 1.1	8
		Biotita, cristales con formas anhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a óxidos de hierro, hematita y clorita.	≤ 0.5	5
	Accesorios	Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración del feldespato potásico y plagioclasa.	-	Traza
		Clorita: Cristales subhedrales a anhedrales de color verde pálido a amarillento, como reemplazo de la biotita.	-	Traza
LITICOS	De naturaleza volcánica, compuesto por cristales de cuarzo, feldespato, fragmentos de roca.	≤ 1.5	5	
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	57	

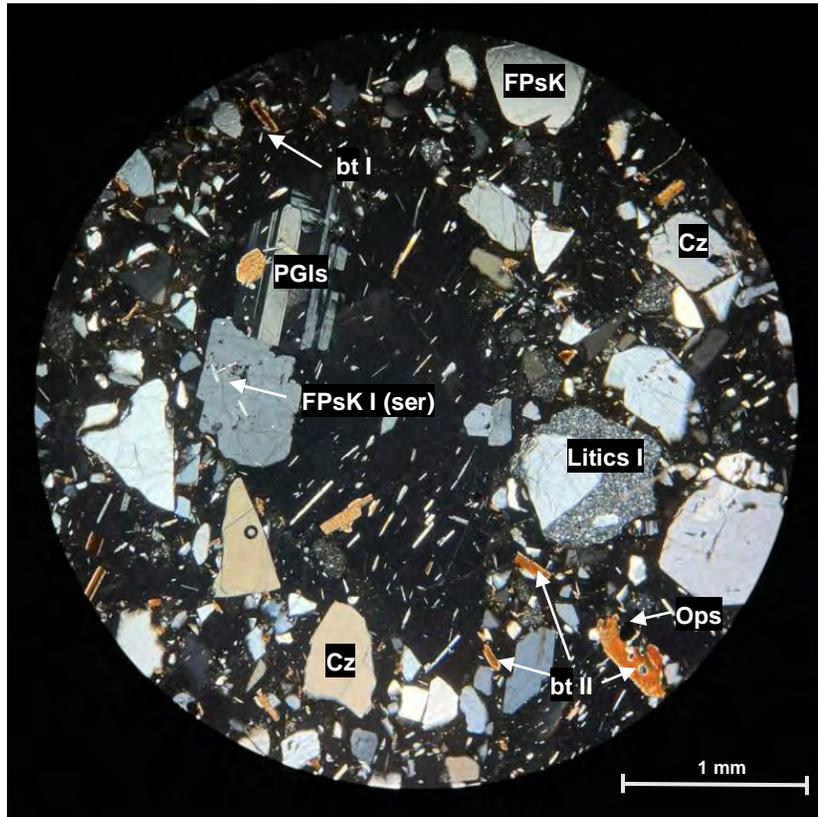
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico se encuentra ligeramente alterado a sericita. La biotita muestra alteraciones a óxidos de hierro, hematita y también a clorita.

<u>OBSERVACIONES</u>
Se muestran fragmentos de cristales angulosos dispersos.

FOTOMICROGRAFÍA/S

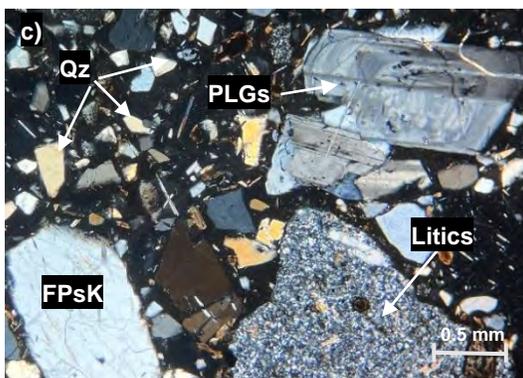
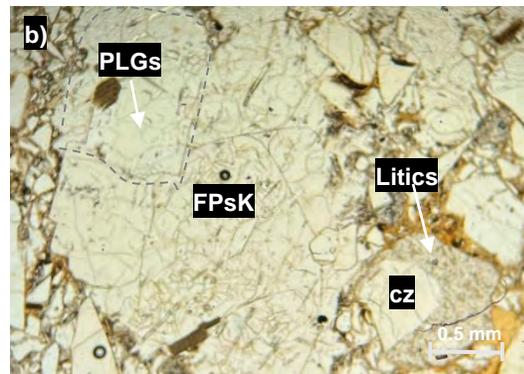
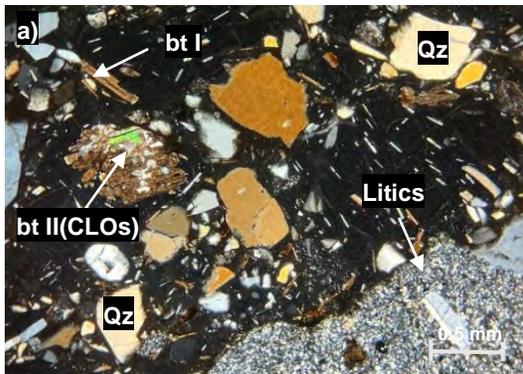
Muestra N° QU-10-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas irregulares, microfracturados y alterados a sericita: FPsK; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a hematita: bt II; minerales opacos: OPs. La matriz está compuesta por cristales angulosos dispersos y ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-10-24



Fotomicrografías: a. Se aprecia cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos líticos, de naturaleza volcánica, compuestos por minerales de cuarzo, feldespato, biotita y minerales opacos: Lítics. b. Se aprecia cristales de cuarzo con formas irregulares incluidos en fragemnto litico, microfracturados: cz, la biotita se encuentra alterada a óxidos de hierro: bt y líticos de composición volcánica: Lítics I. c. Cristales de feldespato potásico maclados, microfracturados: FPsK, la biotita con formas subhedrales tabulares, se encuentra plegada, ligeramente alteradas a óxidos de hierro: bt I. d. Cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz, fragmentos de plagioclasas macladas y zonadas: PGLs I y están parcialmente reabsorbidos por la matriz: PGLs II, la biotita se encuentra ligeramente alterada a óxidos de hierro: bt I.

N° DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M11	QU-11-24	300478	8463617	19

ELABORADO POR:
ANIBAL ALVAREZ PEREZ
BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	TOBA RIOLITICA CRISTALINA CON LÍTICOS
--------------------------	---------------------------------------

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

1. Textura: Piroclástico – Cristalino

Color: Gris blanquecino

Tamaño de cristales: 0.5 – 2mm

Forma: Anhedrales

2. Composición mineralógica:

Minerales principales: Cuarzo, Feldespato potásico, Plagioclasa sódica >> Líticos

Minerales Accesorios: Biotita

FOTO MACROSCÓPICA



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de plagioclasas fracturadas, cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotita, además de inclusiones de fragmentos líticos de composición volcánica, dispuestos en una matriz compuesta por minerales de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 2.0	15
		Feldespato potásico, cristales con formas subhedrales a anhedrales, se reconocen por su macla tipo Carlsbad con inclusiones de plagioclasas, algunos alterados a sericita.	≤ 1.2	7
		Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, parcialmente reemplazados por la matriz, microfracturados.	≤ 0.6	5
		Biotita, cristales con formas anhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a óxidos de hierro.	≤ 1.2	3
	Accesorios	Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo, hematita.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración del feldespato potásico y plagioclasa.	-	Traza
LÍTICOS		De naturaleza volcánica, se observan cristales de cuarzo, feldespato, biotita, óxidos de hierro y minerales opacos.	≤	5
MATRIZ		Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	65

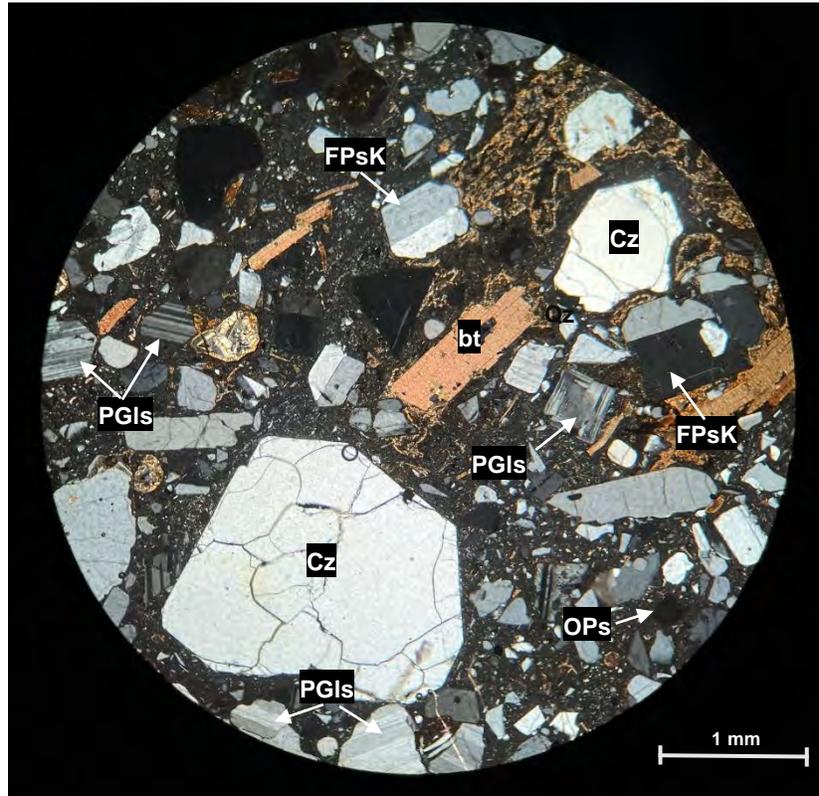
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico se encuentra ligeramente alterado a sericita.
La biotita se encuentra moderadamente alterada a óxidos de hierro.

<u>OBSERVACIONES</u>
Sin observaciones.

FOTOMICROGRAFÍA/S

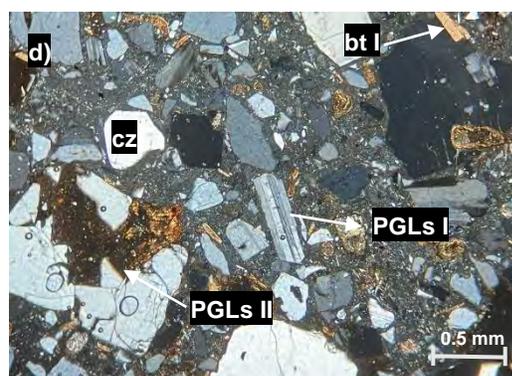
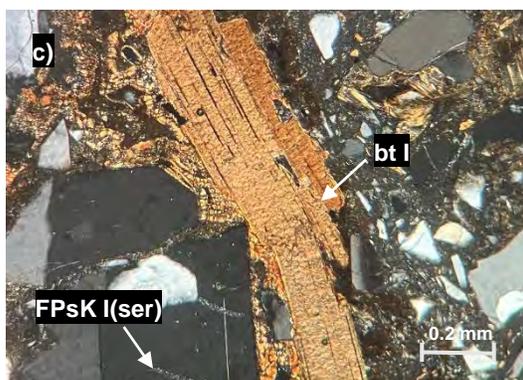
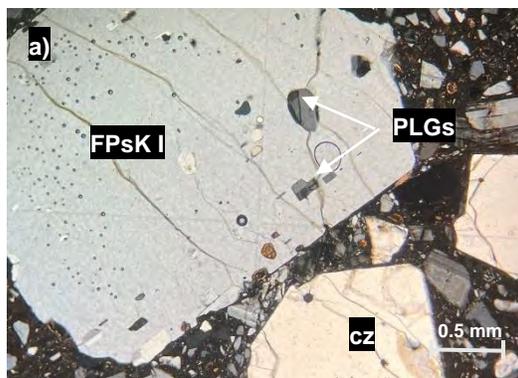
Muestra N° QU-11-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas subhedrales a anhedrales, microfracturados, con inclusiones de minerales opacos: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas subhedrales a anhedrales y bordes subredondeados, presentan microfracturas: FPsK; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt; minerales opacos: OPs. La matriz está compuesta por minerales de feldespato potásico, cuarzo, plagioclasea y ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍAS

Muestra N° QU-11-24



Fotomicrografías: **a.** Se aprecia cristales de cuarzo con formas subhedrales, microfracturados: cz; feldespato potásico con formas irregulares, microfracturados con inclusiones de plagioclasas: FPsK I. **b.** Se aprecia cristales de cuarzo con formas irregulares, microfracturados: cz; la biotita se encuentra alterada a óxidos de hierro: bt I y líticos de composición volcánica, se observan cristales de cuarzo, feldespato, biotita, óxidos de hierro y minerales opacos: Litics I. **c.** Cristales de feldespato potásico maclados, microfracturados, alterados a sericita: FPsK, la biotita con formas subhedrales tabulares, se encuentra plegada, ligeramente alterada a óxidos de hierro: bt I. **d.** Cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz, fragmentos de plagioclasas macladas y zonadas: PGLs I y algunas parcialmente reabsorbidos por la matriz, incluyen cristales de Zircon: PGLs II. la biotita se encuentra ligeramente alterada a óxidos de hierro: bt I.

Nº DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M12	QU-12-24	305004	8466352	19

ELABORADO POR:

ANIBAL ALVAREZ PEREZ

BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

RIODACITA PORFIRÍTICA

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

1. Textura: Pórfidica – Cristalina

Color: Pardo amarillento

Tamaño de cristales: >2mm

Forma: Anhedral

2. Composición mineralógica:

Minerales principales: Plagioclasa, Cuarzo, Feldespato potásico

Minerales Accesorios: Biotita (alterada a hematita)

FOTO MACROSCÓPICA



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura cinerítica, constituida por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotitas alteradas dispuestos en una matriz fina con ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Plagioclasa, cristales con formas anhedrales, con macla polisintética y microfracturados.	≤ 1.3	6
		Cuarzo, cristales con formas anhedrales, microfracturados	≤ 0.4	5
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales con inclusiones de plagioclasas, cuarzo y biotita, se reconocen por su macla.	≤ 0.4	5
		Biotita, cristales con formas anhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a magnetita y algunos a hematita	≤ 1.2	10
	Accesorios	Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo, hematita.	-	Traza
Sericita: Agregados incoloros por alteración del feldespato potásico y plagioclasa.		-	Traza	
LÍTICOS	No presenta	-	-	
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	74	

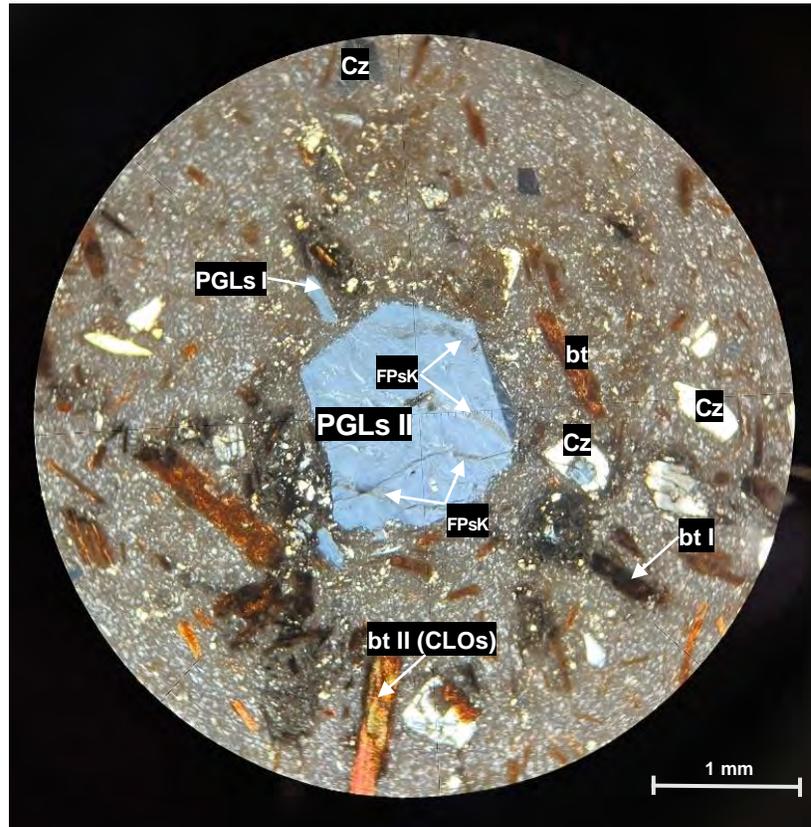
TEXTURAS	Cinerítica
----------	------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico y la plagioclasa se encuentran alterados a sericita. La biotita se altera a hematita como material de alteración supergénica.

<u>OBSERVACIONES</u>
Fragmentos de cristales angulares dispersos.

FOTOMICROGRAFÍA/S

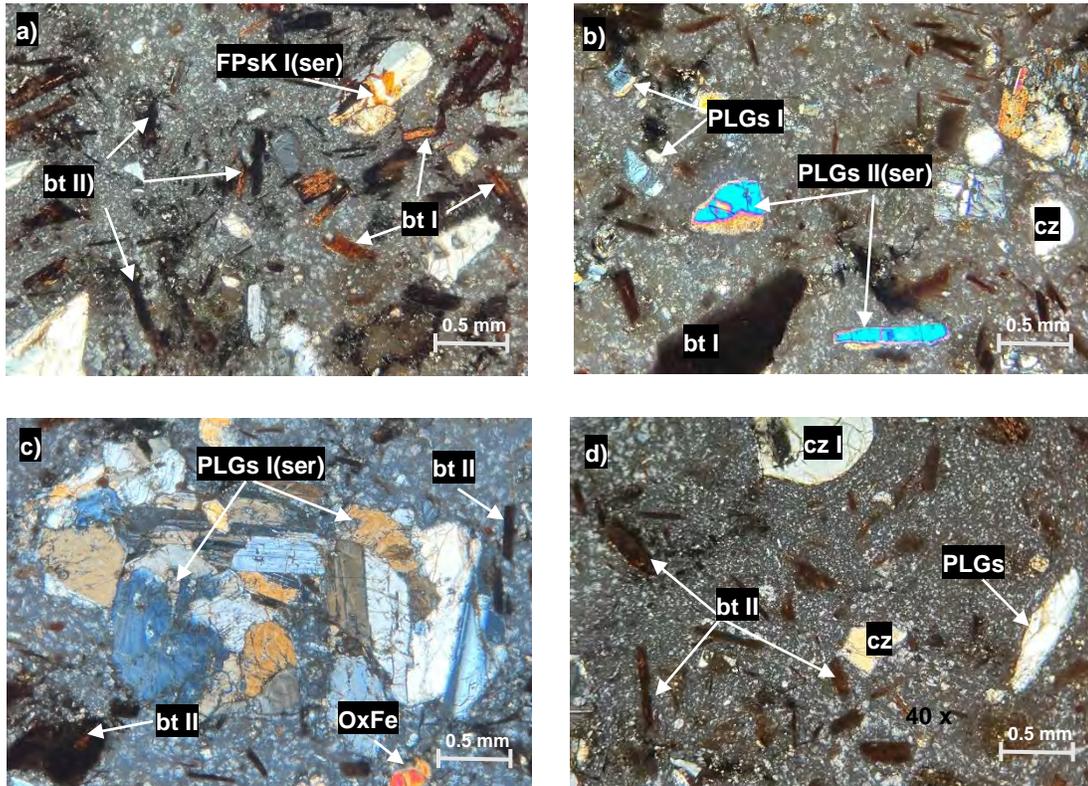
Muestra N° QU-12-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura cinerítica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados, microfracturados: PLGs; I y con inclusiones de feldespato potásico: PGLs II; las biotitas con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a clorita: bt II (CLOs). La matriz es afanítica.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-12-24



Fotomicrografías: a. Cristales de feldespato potásico con formas irregulares, maclados, alterados a sericita: FPsK I(ser); la biotita con formas subhedrales tabulares, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a hematita: bt II. b. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas de formas subhedrales, maclados: PGLs I y microlitos de plagioclasas alterados a sericita: PGLs II(ser); las biotitas con formas anhedrales a subhedrales, alterados a hematita: bt I. c. Aglomerados de plagioclasas, con formas anhedrales, alterados a sericita: PLGs I(ser); la biotita con formas subhedrales a anhedrales, de hábito tabular, alteradas a hematita bt II. d. Vista en nicols paralelos de cristales de cuarzo, de forma anhedral a subhedral, con bordes redondeados, parcialmente reabsorbidos por la matriz, microfracturados: cz I; los fragmentos de plagioclasas con formas anhedrales, microfracturados; la biotita con formas subhedrales, hábito tabular, alteradas a óxidos de hierro: bt II.

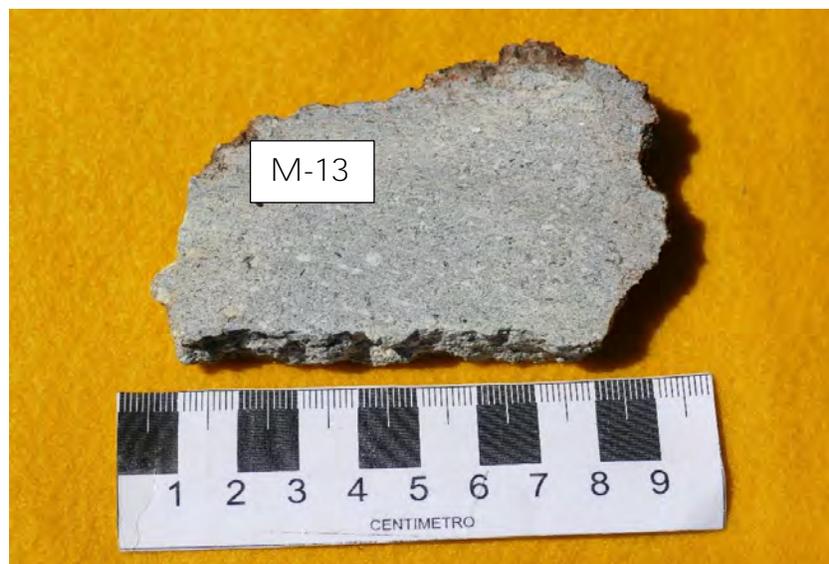
Nº DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M-13	QU-13-24	305322	8466508	19

ELABORADO POR:
ANIBAL ALVAREZ PEREZ
BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA	RIODACITA PORFIRÍTICA
--------------------------	-----------------------

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA
<p>1. Textura: Porfídica - cristalina Color: Gris verdoso Tamaño de cristales: 2 – 4mm Forma: Anhedrales</p> <p>2. Composición mineralógica: Minerales principales: Cuarzo, Plagioclasa sódica, Feldespato potásico Minerales Accesorios: Biotita fresca</p>

FOTO MACROSCÓPICA



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura pilotáxica, constituida por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotitas, dispuestos en una matriz fina con ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, se encuentran alterados a sericita, microfracturados.	≤ 1.2	7
		Cuarzo, cristales con formas anhedrales, microfracturados	≤ 0.5	5
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales y bordes subredondeados, con inclusiones de minerales opacos, se encuentran alterados a sericita, microfracturados.	≤ 0.8	5
		Biotita, cristales con formas anhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a magnetita y algunos a hematita.	≤ 0.7	8
	Accesorios	Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración de la plagioclasa.	-	Traza
LÍTICOS		No presenta	-	-
MATRIZ		Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	75

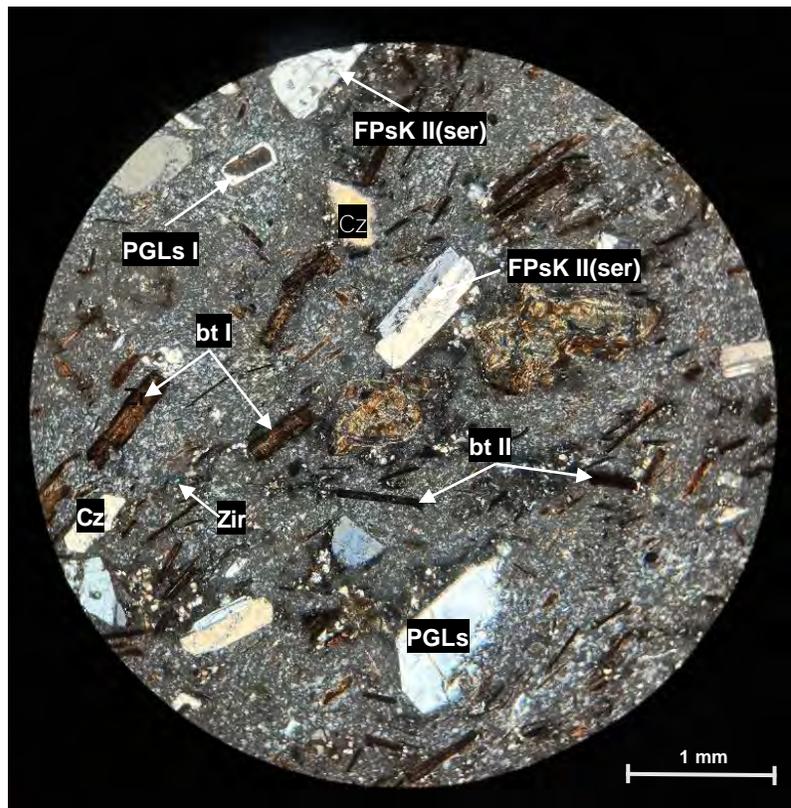
TEXTURAS	Pilotáxica
----------	------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico y la plagioclasa se encuentran alterados a sericita. La biotita se encuentra moderadamente alterada a óxidos de hierro, hematita y a clorita.

<u>OBSERVACIONES</u>
Los cristales se encuentran marcando la dirección de flujo.

FOTOMICROGRAFÍA/S

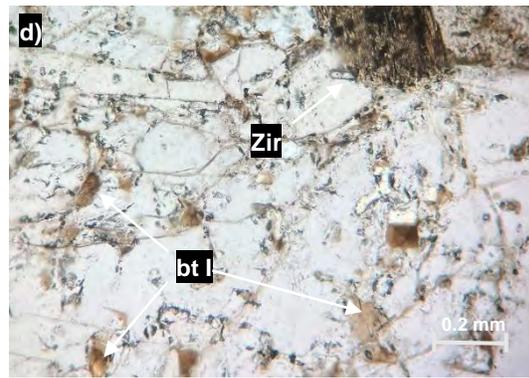
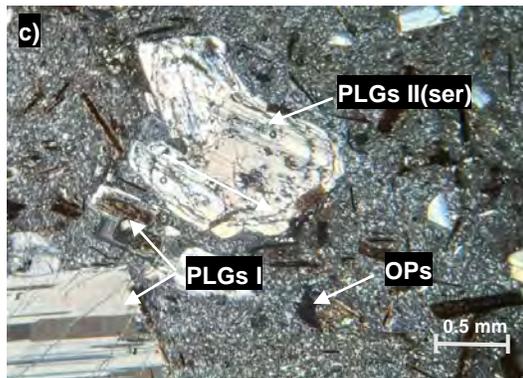
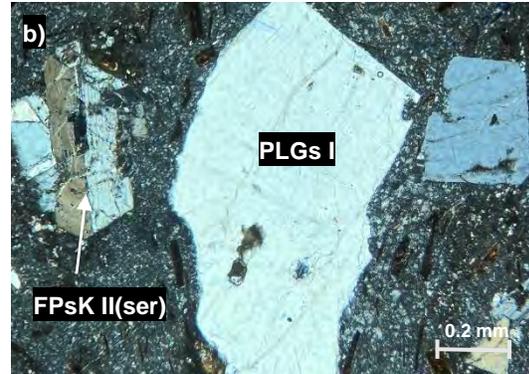
Muestra N° QU-13-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura pilotáxica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados, microfracturados: PGLs y parcialmente reemplazados por la matriz: PGLs I; fragmentos de feldespato potásico, con formas subhedral a anhedral, microfracturados, alterados a sericita: FPsK II(ser); las biotitas con formas subhedral a anhedral, alteradas a óxidos de hierro: bt I y alterados a hematita: bt II. La matriz fina con ceniza vítrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-13-24



Fotomicrografías: a. Cristales de plagioclasa presentan maclas polisintéticas características y zonación normal. Muestran fallas internas evidentes y una alteración parcial a sericita (PLG II-ser). Las biotitas, con morfologías que varían de subhedrales a anhedrales, exhiben alteración a hematita, asociada a procesos de oxidación: bt II. b. Cristales de plagioclasas de formas subhedrales a anhedrales, presentan exfoliación en dos direcciones, se encuentran parcialmente reemplazados por la matriz: PGLs I; fragmentos de feldespato potásico, con formas subhedrales a anhedrales, maclados, se encuentran alterados a sericita: PGLs II (ser) c. Cristales de plagioclasas, con formas subhedrales a anhedrales, parcialmente reemplazados por la matriz: PGLs I y microfracturados, alterados a y sericita: PGLs II (ser). d. Vista en nicoles paralelos de cristales de zircón, de forma euhehedral a subhedral: Zir; la biotita con formas subhedrales a anhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt I.

Nº DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M14	QU-14-24	305796	8466367	19

ELABORADO POR:

ANIBAL ALVAREZ PEREZ

BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

TOBA RIOLÍTICA CON LÍTICOS

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

1. Textura: Piroclástico – Cristalino

Color: Gris blanquecino

Tamaño de cristales: 0.5 – 2mm

Forma: Anhedrales

2. Composición mineralógica:

Minerales principales: Cuarzo, Plagioclasa sódica, Feldespato potásico >> líticos

Minerales Accesorios: Biotita

FOTO MACROSCÓPICA



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotitas alteradas, además de inclusiones de fragmentos líticos de composición volcánica, dispuestos en una matriz compuesta por ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 1.6	13
		Plagioclasa, cristales con formas subhedrales, con macla polisintética y microfracturados.	≤ 0.8	7
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales y macla de Carlsbad, con inclusiones de minerales opacos, se encuentran alterados a sericita, microfracturados.	≤ 0.7	6
	Accesorios	Biotita, cristales con formas subhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a óxidos de hierro.	≤ 0.15	3
		Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo, hematita.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración de la plagioclasa.	-	Traza
LITICOS		De naturaleza volcánica, se observan cristales de cuarzo, plagioclasas, óxidos de hierro y minerales opacos.	≤ 3.5	10
MATRIZ		Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	61

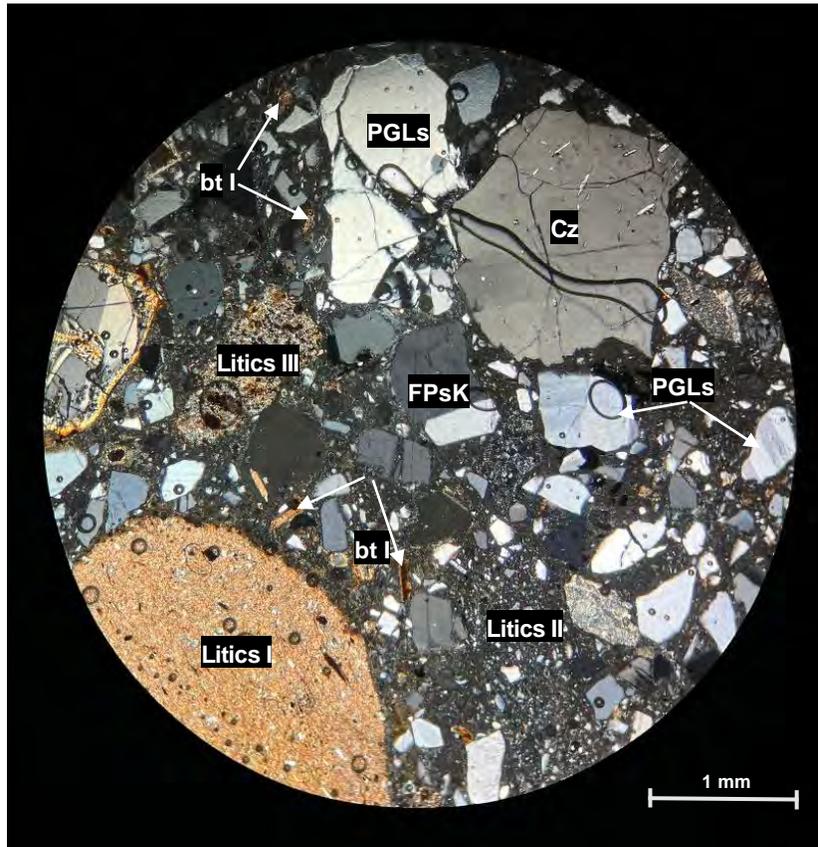
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico se encuentra ligeramente alterado a sericita.
Las biotitas muestran alteraciones a óxidos de hierro y a clorita

<u>OBSERVACIONES</u>
Mayor presencia de líticos de gran tamaño.

FOTOMICROGRAFÍA/S

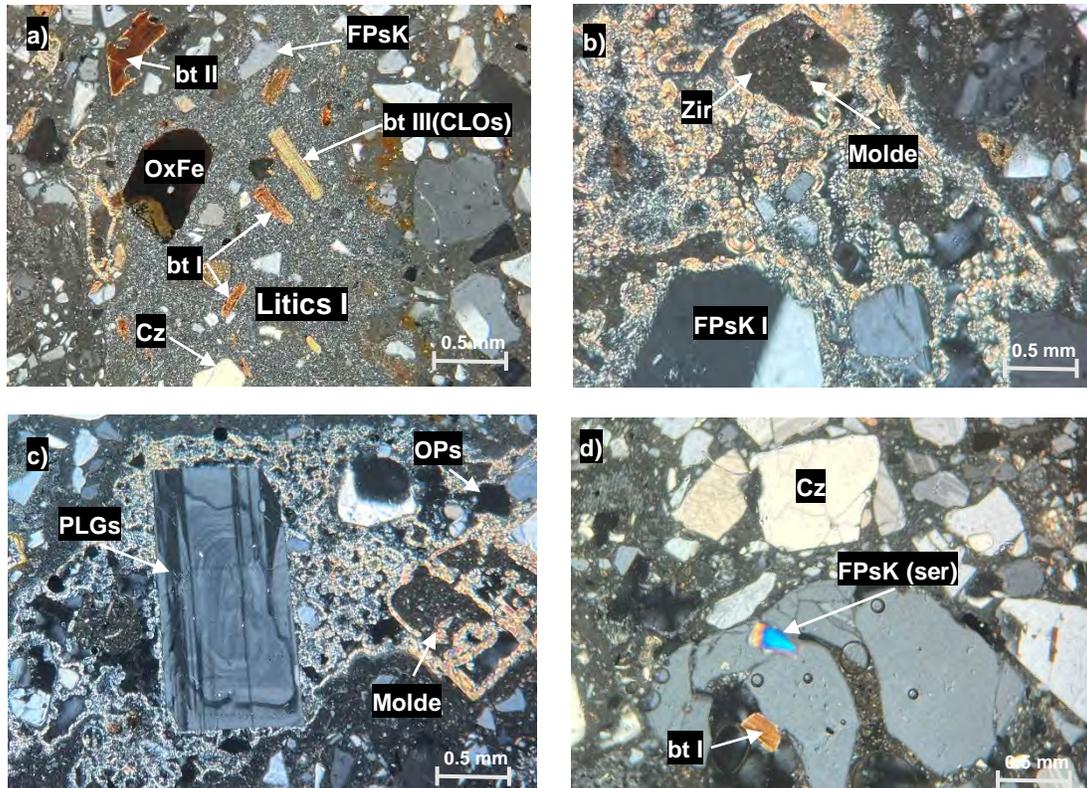
Muestra N° QU-14-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas irregulares, maclados y algunos zonados, microfracturados: PGLs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales, microfracturados: FPsK; las biotitas con formas subhedrales con hábitos tabulares, están alteradas a óxidos de hierro: bt I; Fragmentos líticos de origen volcánico: Líticos I, Líticos II, Líticos III . La matriz está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico y ceniza vitrea.

FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-14-24



Fotomicrografías: a. Fragmento lítico constituido por cristales de cuarzo: cz, feldespato potásico: FPsK, Las biotitas alteradas a óxidos de hierro: bt I, a hematita: bt II y clorita: bt III(CLOs): Líticos I. b. Cristales de feldespato potásico con formas irregulares, maclados: FPsK I; moldes rellenos por la matriz, incluyen cristales de Zircón: Zir. c. Fragmentos plagioclasas de forma subhedral a anhedral, con bordes ligeramente reabsorbidos por la matriz, maclados y zonados: PGLs, con bordes reabsorbidos por la matriz y moldes rellenos por la matriz con cristales de Zircon: Zir; minerales opacos: OPs. d. Cristales de cuarzo de formas irregulares, microfracturados: cz; fragmentos de feldespatos potásico alterados a sericita: FPsK (ser); la biotita con formas tabulares, alterados a óxidos de hierro: bt I.

N° DE MUESTRA ORIGINAL	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS		
		N	E	Zona
M15	QU-15-24	305749	8465601	19

ELABORADO POR:

ANIBAL ALVAREZ PEREZ

BRUSS HAMIER HUACHACA AVALOS

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA

TOBA RIOLÍTICA CRISTALINA

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

1. Textura: Piroclástica – Cristalina

Color: Blanco grisáceo

Tamaño de cristales: 1-2mm

Forma: Anhedral

2. Composición mineralógica:

Minerales principales: Cuarzo, Plagioclasa sódica, feldespato potásico

Minerales Accesorios: Biotita

FOTO MACROSCÓPICA



<u>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</u>				
Roca ígnea con textura piroclástica. Presenta cristales de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico y biotitas alteradas, dispuestos en una matriz está compuesta principalmente por feldespato potásico, así como, minerales de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.				
<u>DESCRIPCIÓN MINERALÓGICA</u>			Tamaño (mm)	%
C R I S T A L E S	Esenciales	Cuarzo, cristales de formas irregulares, microfracturados, algunos con inclusiones de opacos.	≤ 1.2	20
		Plagioclasa, cristales con formas subhedrales a anhedrales, con bordes subredondeados, con macla polisintética, algunos zonados, microfracturados.	≤ 1.3	10
		Feldespato potásico, cristales con formas anhedrales y bordes subredondeados, con inclusiones de minerales opacos, se encuentran alterados a sericita, microfracturados.	≤ 1.1	10
		Biotita, cristales con formas subhedrales, tabulares, algunos flexionados, alterados a óxidos de hierro.	≤ 0.25	5
	Accesorios	Zircón: Cristales euhedrales, prismáticos, presentes como inclusiones en plagioclasas.	-	Traza
		Opacos: Cristales de forma anhedral presentes como inclusiones en cristales de cuarzo y feldespato.	-	Traza
	Secundarios	Óxidos de hierro: Cristales anhedrales de color marrón rojizo, hematita.	-	Traza
		Sericita: Agregados incoloros por alteración del feldespato potásico y plagioclasa.	-	Traza
LÍTICOS	No presenta	-	-	
MATRIZ	Está compuesta por minerales principalmente de feldespato potásico, también de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.	-	55	

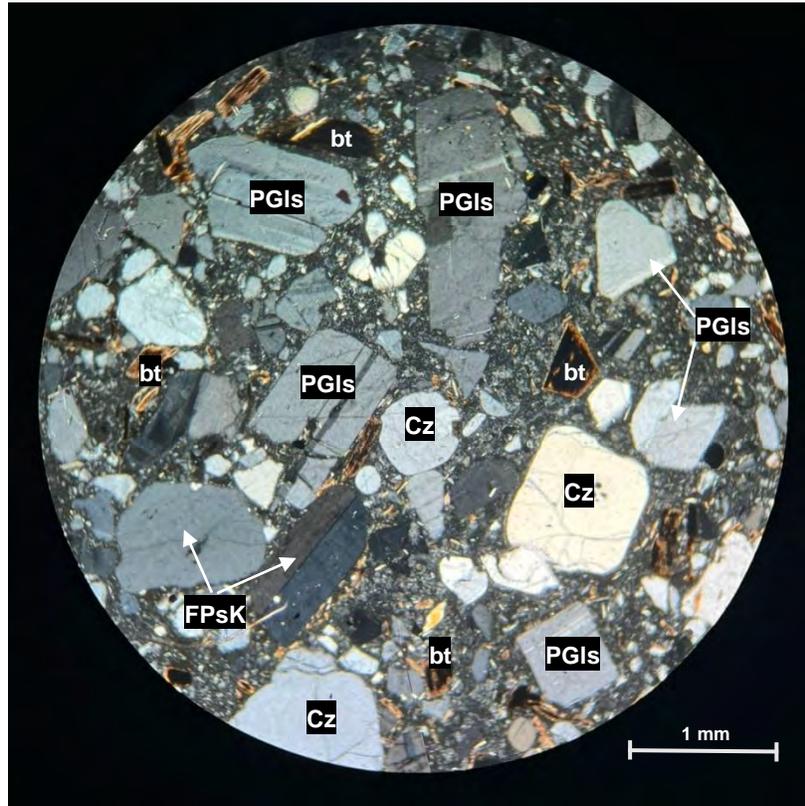
TEXTURAS	Piroclástica
----------	--------------

<u>ALTERACIONES</u>
El feldespato potásico se encuentra ligeramente alterado a sericita.
La biotita se encuentra moderadamente alterada a óxidos de hierro.

<u>OBSERVACIONES</u>
Ninguna

FOTOMICROGRAFÍA/S

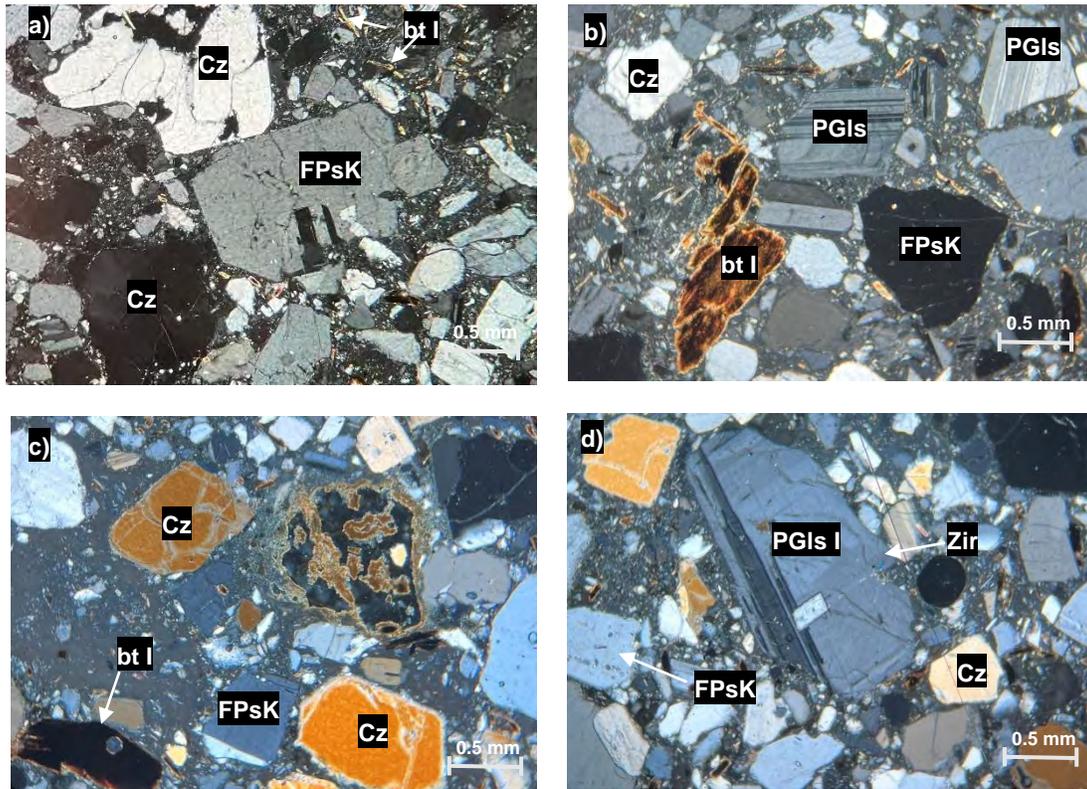
Muestra N° QU-15-24



Fotomicrografía: Roca ígnea con textura piroclástica; presenta cristales de cuarzo con formas subhedrales a anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con formas subhedrales a anhedrales, con bordes reabsorbidos por la matriz, maclados y algunos zonados, microfracturados: PLGs; fragmentos de feldespato potásico con formas anhedrales, microfracturados, con inclusiones de minerales opacos: FPsK; las biotitas con formas subhedrales, alteradas a óxidos de hierro: bt. La matriz está compuesta principalmente por feldespato potásico, así como, minerales de cuarzo, plagioclasa y ceniza vítrea.

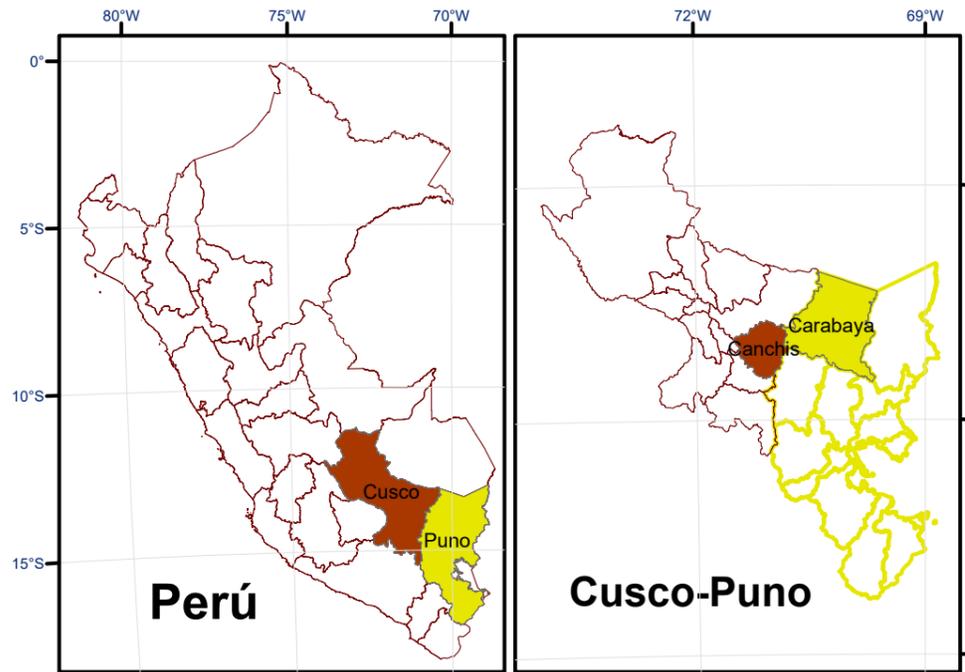
FOTOMICROGRAFÍA/S

Muestra N° QU-15-24



Fotomicrografías: a. Se aprecia cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados, con inclusiones de minerales opacos: cz; fragmentos de feldespato potásico con formas subhedral a anhedral, microfracturados, con inclusiones de minerales opacos: FPsK; la biotita con forma subhedral, tabular, alterada a óxidos de hierro: bt I. b. Cristales de cuarzo con formas irregulares: cz, fragmentos de plagioclasas macladas y algunas zonadas: PGLs; fragmentos de feldespato potásico con formas irregulares microfracturados: FPsK; la biotita se encuentra alterada a óxidos de hierro: bt I. c. Cristales de cuarzo con formas subhedral a anhedral, microfracturados: cz; fragmentos de feldespato potásico maclados, microfracturados: FPsK; la biotita con formas subhedral, habito tabular ligeramente flexionada, alteradas a óxidos de hierro: bt I. d. Cristales de cuarzo con formas anhedrales, microfracturados: cz; fragmentos de plagioclasas con forma anhedral, maclada y zonada, con inclusiones de zircón: PGLs I; fragmentos de feldespatos potásico con formas irregulares: FPsK.

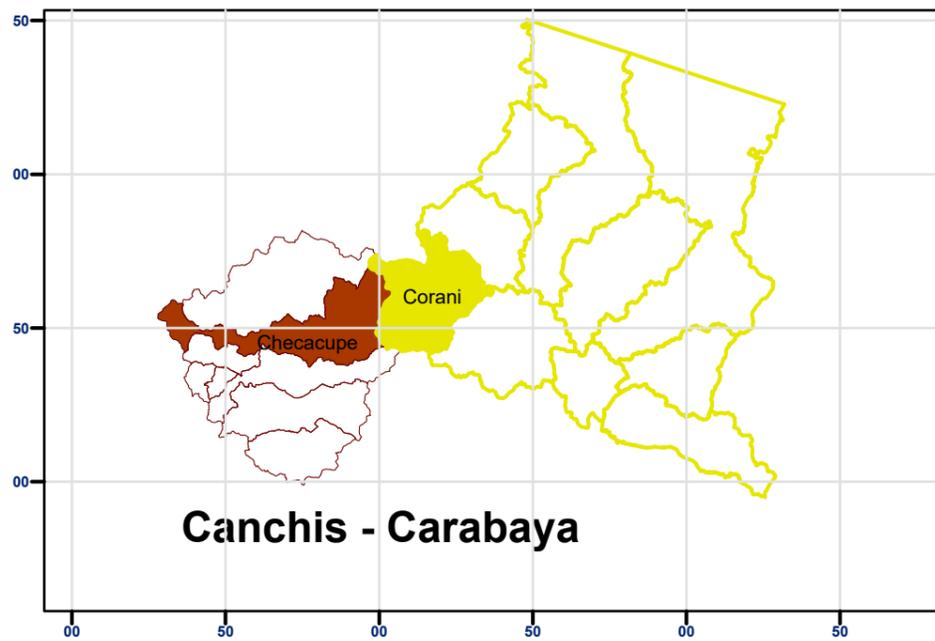
UBICACIÓN ÁMBITO de ESTUDIO



Ubicación Regional

Ubicación Provincial

Ubicación Distrital



Canchis - Carabaya

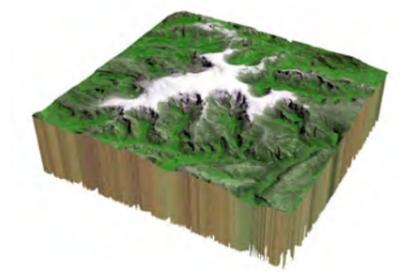


"Modelo Geológico Estructural en el Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"

TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
Bruss Hamier Huachaca Avalos
ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón

SIMBOLOS

- Pueblos
- Vías**
 - Camino de herradura
 - Camino transitable
- Hidrografía**
 - ~ Quebrada
 - ~ Río
 - Laguna
 - Glaciar
- Curvas**
 - ~ Primarias
 - ~ Secundarias



UBICACIÓN

REGIÓN: Cusco - Puno
PROVINCIA: Canchis - Carabaya
DISTRITO: Checacupe - Corani
ÁMBITO: Glaciar Quelccaya
ESCALA: 1:75,000
FECHA: Agosto de 2025
CUADRICULA: 5 000 m
DATUM: WGS 84
SISTEMA de PROYECCION: UTM zona 19 S

Se accede desde la ciudad del Cusco y desde la ciudad de Juliaca, ambas a través de una vía asfaltada seguida de una vía afirmada

Vía 01

Cusco - Quelccaya

Total de: 190 km - 4hrs 25min

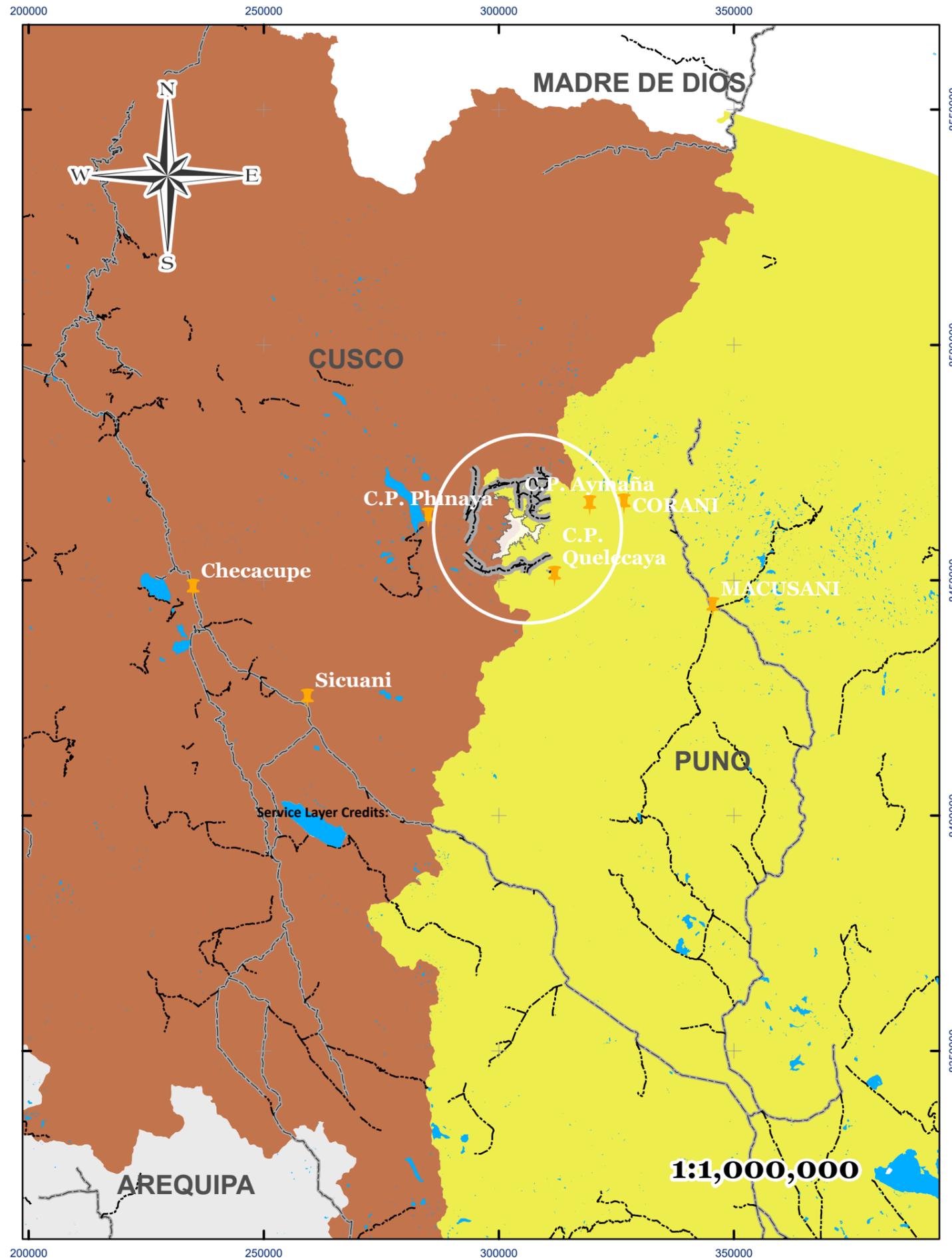
- Cusco - Checacupe
100 Km - 2hrs
- Checacupe - C.P. Phinaya
90 Km - 2 hrs 25 min

Vía 02

Juliaca - Quelccaya

Total de: 270 km - 4hrs 45min

- Juliaca - Macusani
210 Km - 3 hrs 10 min
- Macusani - Aymaña
60 Km - 1 hr 35 min

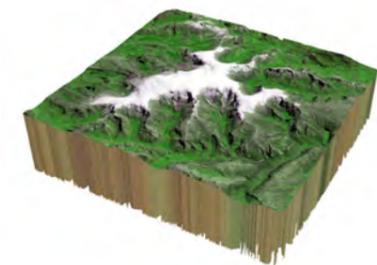


**"Modelo Geológico Estructural en el
 Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"**

TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
 Bruss Hamier Huachaca Avalos
 ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón

SIMBOLOS

- Lugares
- Afirmado
- Asfaltado
- Trocha Carrosable
- PUNO
- CUSCO
- MADRES de DIOS
- AREQUIPA



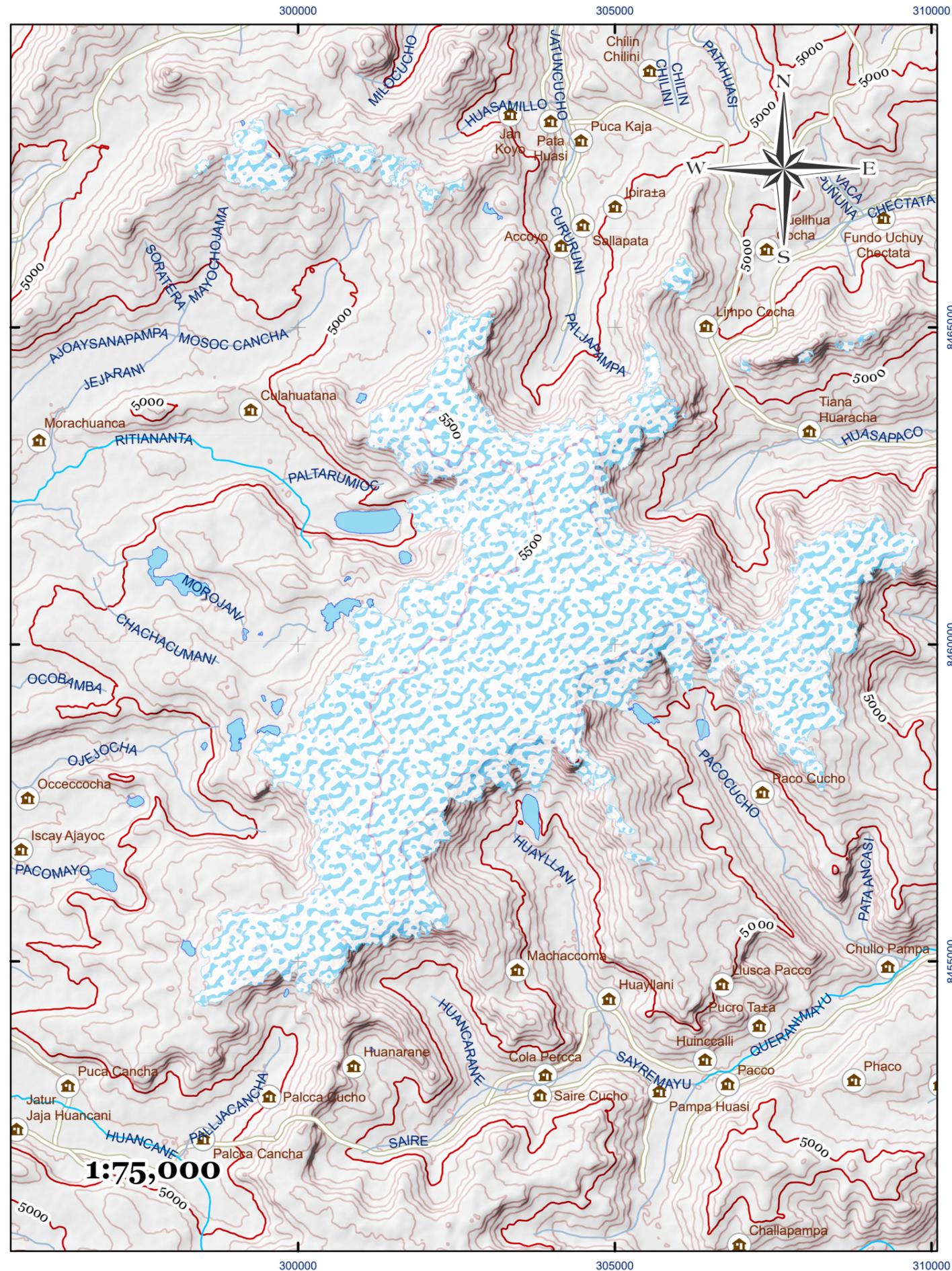
ACCESIBILIDAD

REGIÓN : Cusco - Puno
 PROVINCIA : Canchis - Carabaya
 DISTRITO : Checaupe - Corani
 AMBITO : Glaciar Quelccaya
 ESCALA : 1:1,000,000
 FECHA : Agosto de 2025
 CUADRICULA : 5 000 m
 DATUM : WGS 84
 SISTEMA de PROYECCION : UTM zona 19 S

SIMBOLOGIA

- Pueblos 
- Vias**
- Camino transitable 
- Camino de herradura 
- Hidrografia**
- Quebrada 
- Ríos 
- Laguna 
- Glaciar 
- Curvas**
- Primarias 500m 
- Secundarias 100m 

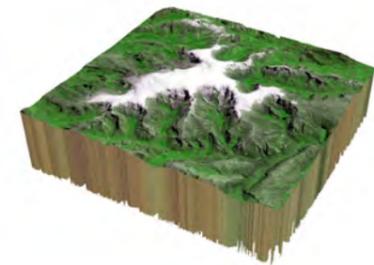
0 1.25 2.5 5 Km.



"Modelo Geológico Estructural en el Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"

TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
Bruss Hamier Huachaca Avalos

ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón



TOPOGRAFÍA

REGIÓN : Cusco - Puno
PROVINCIA : Chanchis - Carabaya
DISTRITO : Checacupe - Corani
ÁMBITO : Glaciar Quelccaya
ESCALA : 1:75,000
FECHA : Agosto de 2025
CUADRICULA : 5 000 m
DATUM : WGS 84
SISTEMA de PROYECCION : UTM zona 19 S

LEYENDA

Yapamayu

Muestra, Este, Norte

- Mo1, 300360, 8461238 
- Mo3, 305749, 8465601 
- Mo8, 300337, 8459146 
- Mo9, 308271, 8457701 
- M15, 305318, 8456026 
- values<all <values 

Sapanuta

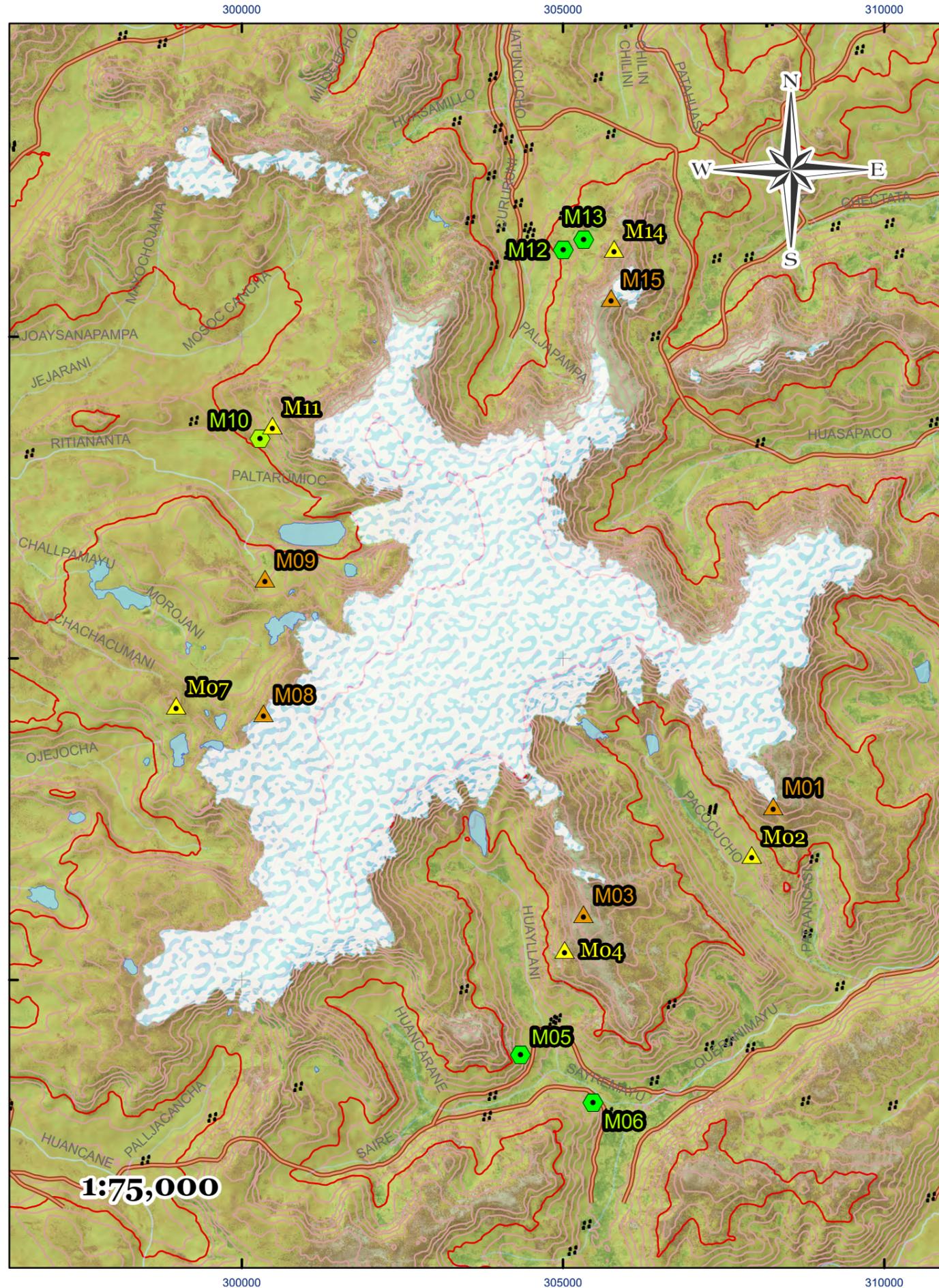
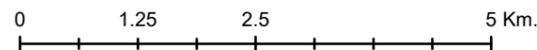
Muestra, Este, Norte

- M14, 307938, 8456943 
- M11, 305025, 8455470 
- Mo7, 298978, 8459272 
- Mo4, 305796, 8465601 
- Mo2, 300478, 8463617 
- values<all <values 

Chacacuniza

Muestra, Este, Norte

- Mo5, 300284, 8463413 
- Mo6, 305004, 8466352 
- M10, 305322, 8466508 
- M12, 305467, 8453090 
- M13, 304340, 8453830 
- values<all <values 



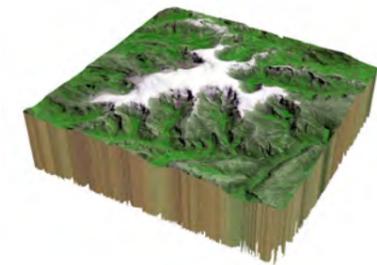
**"Modelo Geológico Estructural en el
Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"**

TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
Bruss Hamier Huachaca Avalos

ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón

SIMBOLOS

- #: Pueblos
- Vías**
 -  Camino de herradura
 -  Camino transitable
- Hidrografía**
 -  Quebrada
 -  Río
 -  Laguna
 -  Glaciar
- Curvas**
 -  Primarias
 -  Secundarias



MUESTRAS

REGIÓN : Cusco - Puno
 PROVINCIA : Chanchis - Carabaya
 DISTRITO : Checacupe - Corani
 AMBITO : Glaciar Quelccaya
 ESCALA : 1:75,000
 FECHA : Agosto de 2025
 CUADRICULA : 5 000 m
 DATUM : WGS 84
 SISTEMA de PROYECCION : UTM zona 19 S

LEYENDA

Unidades Geomorfológicas

etiqueta, sub_uni

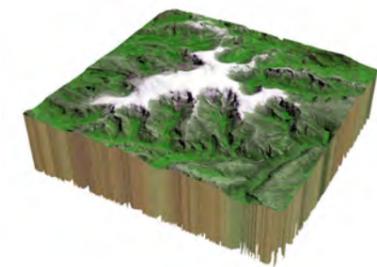
- Mo, Morrenas
- P-at, Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
- RC-ri, Colina en roca intrusiva
- RC-rv, Colina en roca volcánica
- RCL-rv, Colina y lomada en roca volcánica
- RM-cgl, Montaña con cobertura glaciar
- RM-ri, Montaña en roca intrusiva
- RM-rs, Montaña en roca sedimentaria
- RM-rv, Montaña en roca volcánica
- RM-rvs, Montaña en roca volcano-sedimentaria
- Sfp, Superficie de flujo piroclástico
- T-al, Terraza aluvial
- Ti, Terraza indiferenciada
- V-al, Vertiente o piedemonte aluvial
- V-cd, Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial
- V-dd, Vertiente con depósito de deslizamiento
- V-gfl, Vertiente glacio-fluvial
- V-gl, Vertiente glacial o de gelifración
- Vll-gl, Valle glaciar

"Modelo Geológico Estructural en el Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"

TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
Bruss Hamier Huachaca Avalos
ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón

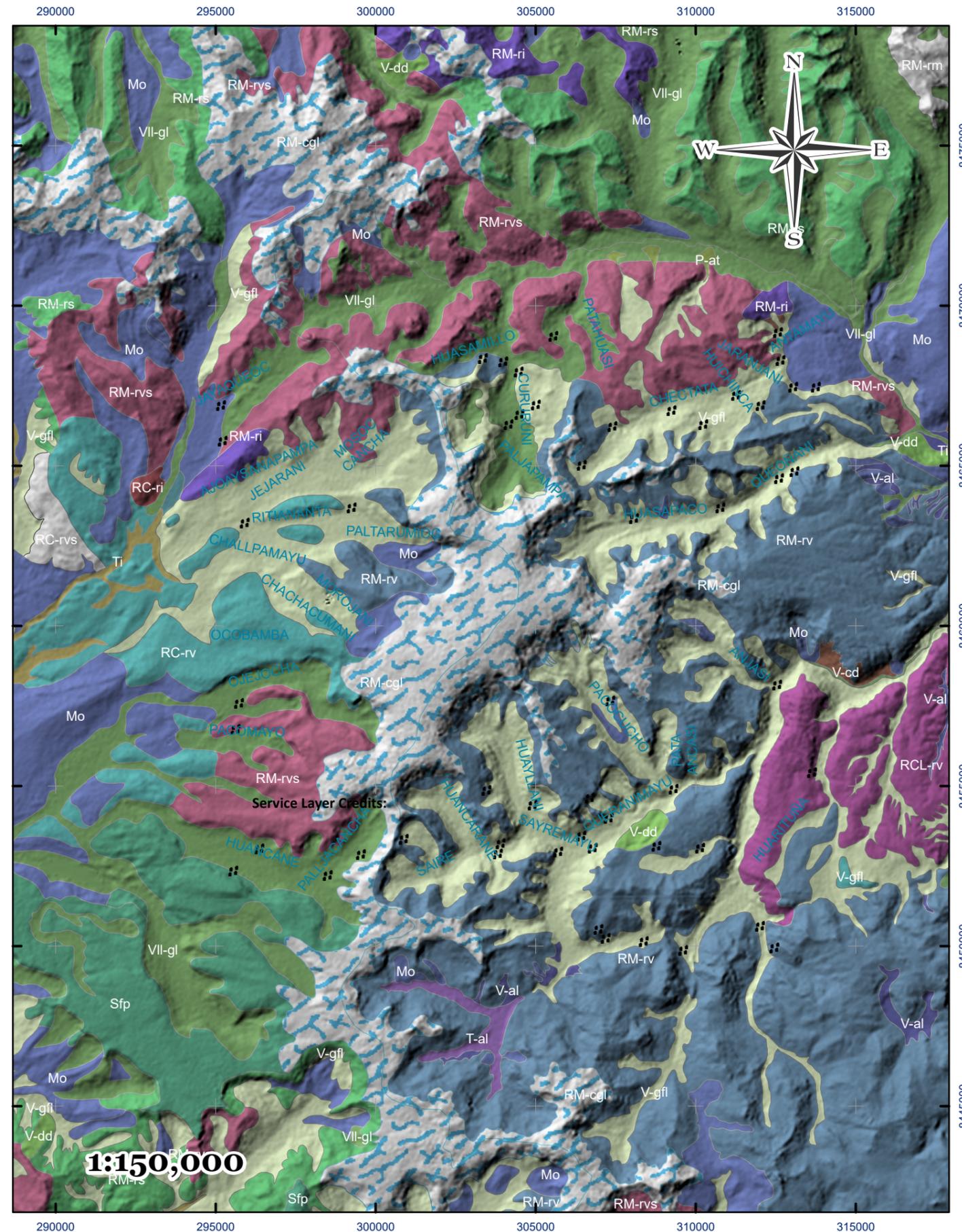
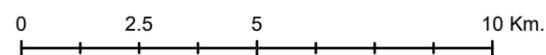
SIMBOLOS

- ⦿ Pueblos
- Vías**
 - Camino de herradura
 - Camino transitable
- Hidrografía**
 - ~ QN Perenne
 - ~ R Intermittente
 - Laguna
- Curvas**
 - ~ Primarias
 - ~ Secundarias



REGIONAL

REGIÓN : Cusco - Puno
PROVINCIA : Chanchis - Carabaya
DISTRITO : Checacupe - Corani
AMBITO : Glaciar Quelccaya
ESCALA : 1:150,000
FECHA : Agosto de 2025
CUADRICULA : 5 000 m
DATUM : WGS 84
SISTEMA de PROYECCION : UTM zona 19 S



1:150,000

LEYENDA

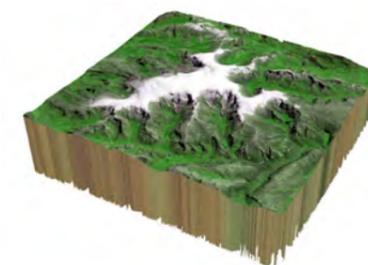
-  Polígono glaciar
-  Abanico aluvial
-  Avalancha de rocas
-  Cauce de río
-  Crestas y paredes Supra Glaciares
-  Huellas de inundación
-  Llanura aluvial
-  Llanura de obturación
-  Morrena
-  Morrena de fondo
-  Polígono laguna
-  Superficie de abrasión glaciar

"Modelo Geológico Estructural en el
Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"

TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
Bruss Hamier Huachaca Avalos
ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón

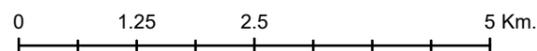
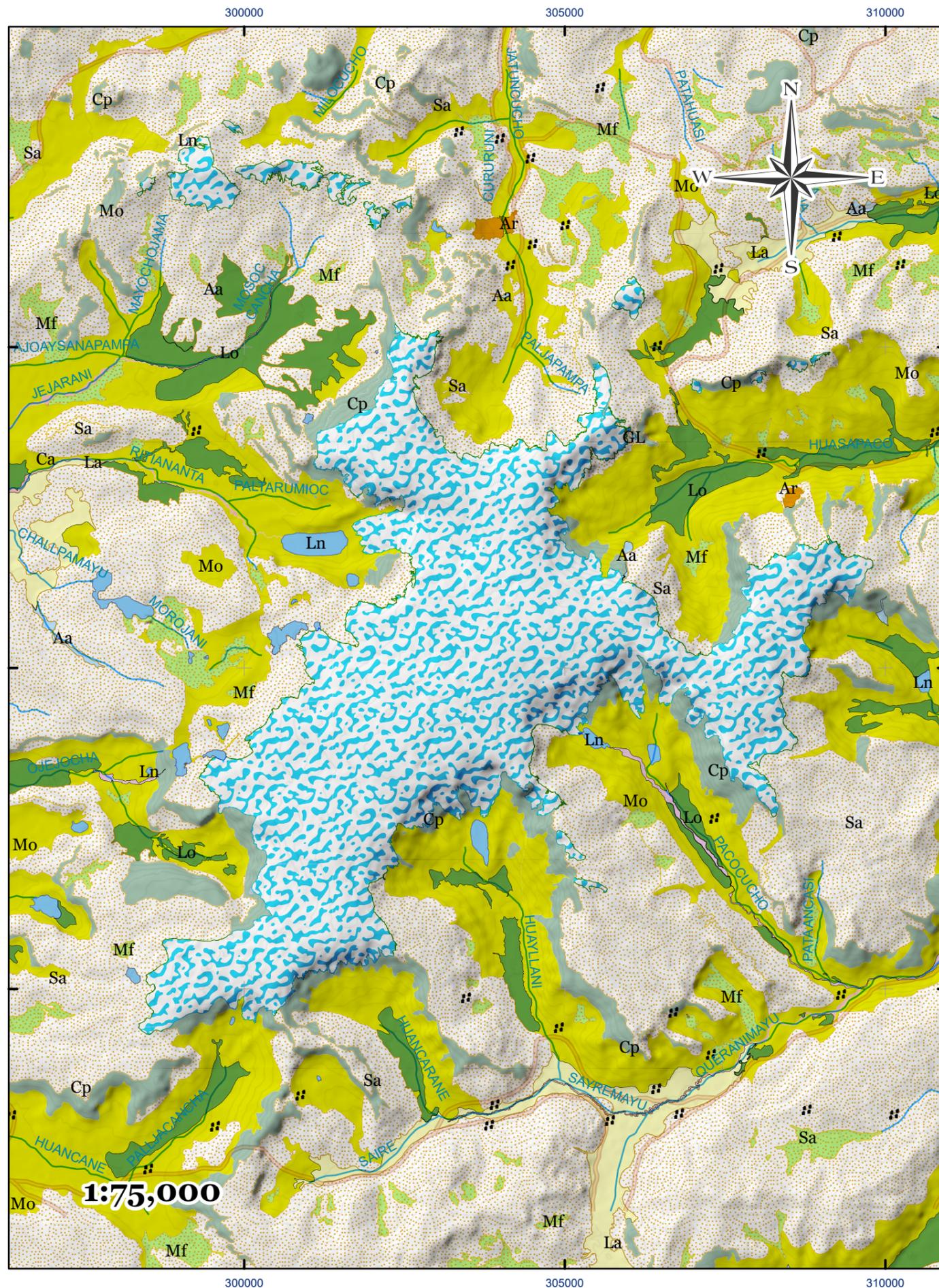
SIMBOLOS

- ## Pueblos
- Vías**
-  Camino de herradura
-  Camino transitable
- Hidrografía**
-  QN Perenne
-  R Intermittente
-  Laguna
-  Glaciar
- Curvas**
-  Primarias
-  Secundarias



LOCAL

REGIÓN : Cusco - Puno
PROVINCIA : Chanchis - Carabaya
DISTRITO : Checaupe - Corani
AMBITO : Glaciar Quelccaya
ESCALA : 1:75,000
FECHA : Agosto de 2025
CUADRICULA : 5 000 m
DATUM : WGS 84
SISTEMA de PROYECCION : UTM zona 19 S



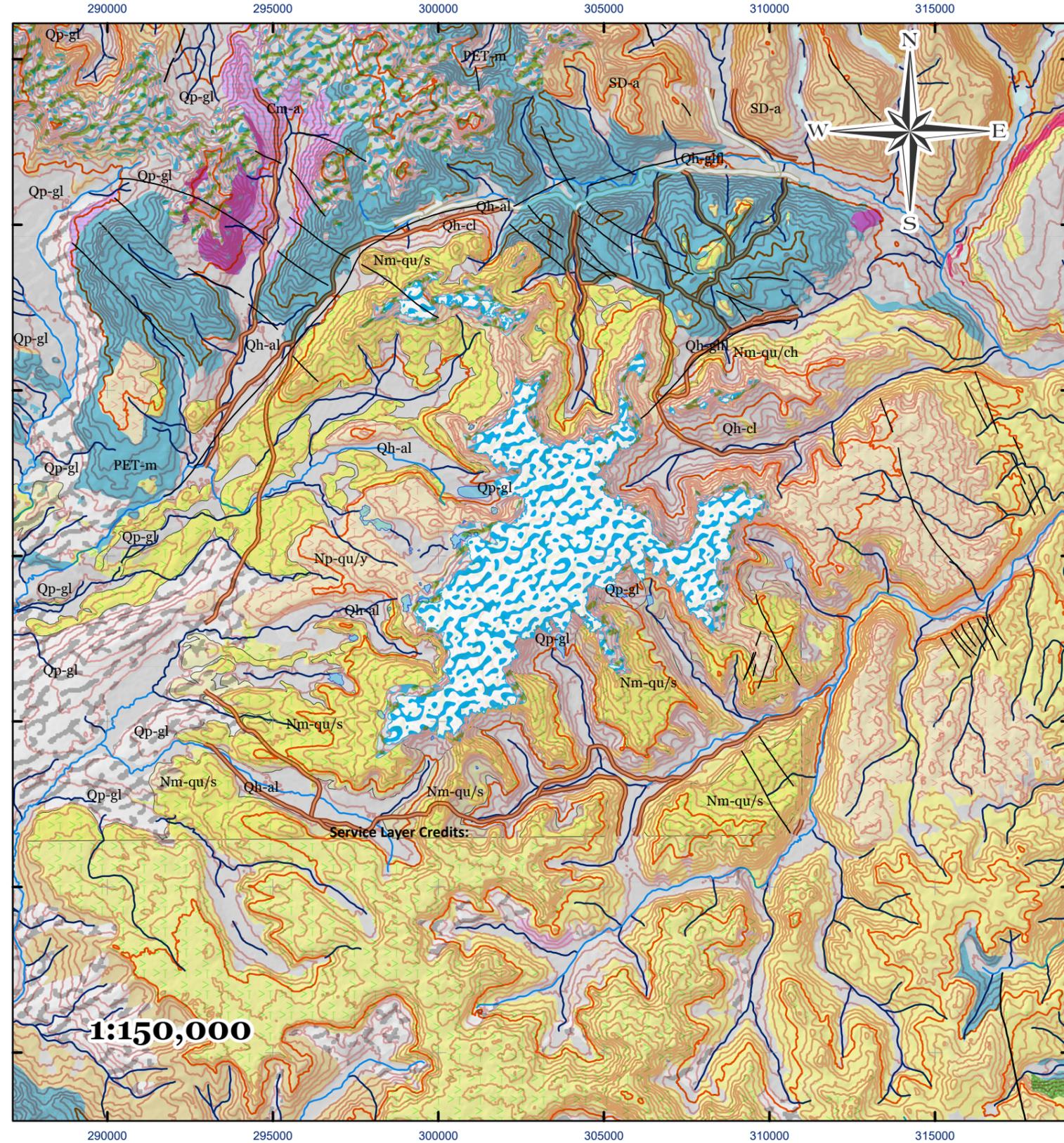
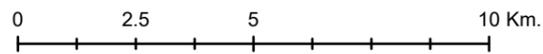
LEYENDA

Unidad Litoestratigráfica

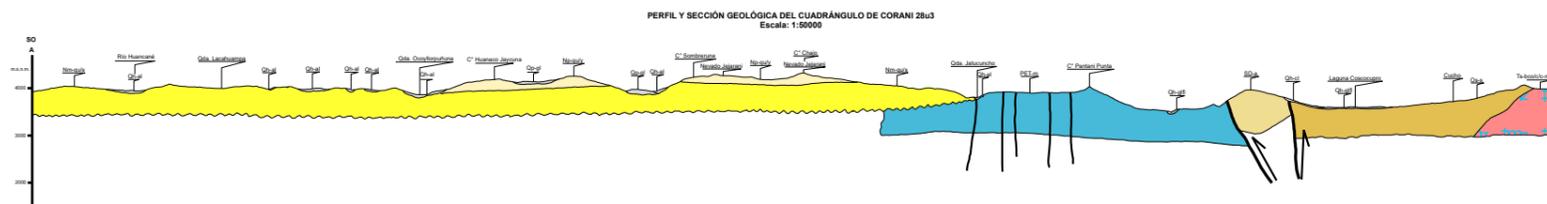
- | | simbolo |
|-------------------------------|---------|
| Nevado | |
| Depósito Glaciar | |
| Depósito Glaciar-Fluvial | |
| Depósito Aluvial | |
| Formación Quenamari -Yapamayo | |
| Formación Quenamari -Sapanuta | |
| Formación Quenamari -Sapanuta | |
| Plutón Coasa | |
| Grupo Mitu | |
| Formación Ananea | |
| Formación Sandia | |

Fallas Regionales

- | | |
|----------|--|
| Inversa | |
| Normal | |
| Inferido | |
| Rumbo | |



1:150,000



1:150,000

"Modelo Geológico Estructural en el Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"

TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
 Bruss Hamier Huachaca Avalos
 ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón

SIMBOLOS

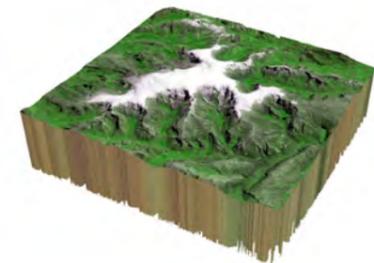
- Camino de herradura
- Camino transitable

Hidrografía

- Quebrada
- Río
- Laguna
- Glaciar

Curvas

- Primarias
- Secundarias



REGIONAL

REGIÓN : Cusco - Puno
 PROVINCIA : Canchis - Carabaya
 DISTRITO : Checacupe - Corani
 AMBITO : Glaciar Quelccaya
 ESCALA : 1:150,000
 FECHA : Agosto de 2025
 CUADRICULA : 5 000 m
 DATUM : WGS 84
 SISTEMA de PROYECCION : UTM zona 19 S

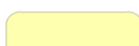
**"Modelo Geológico Estructural en el
Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"**

TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
Bruss Hamier Huachaca Avalos

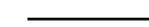
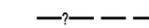
ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón

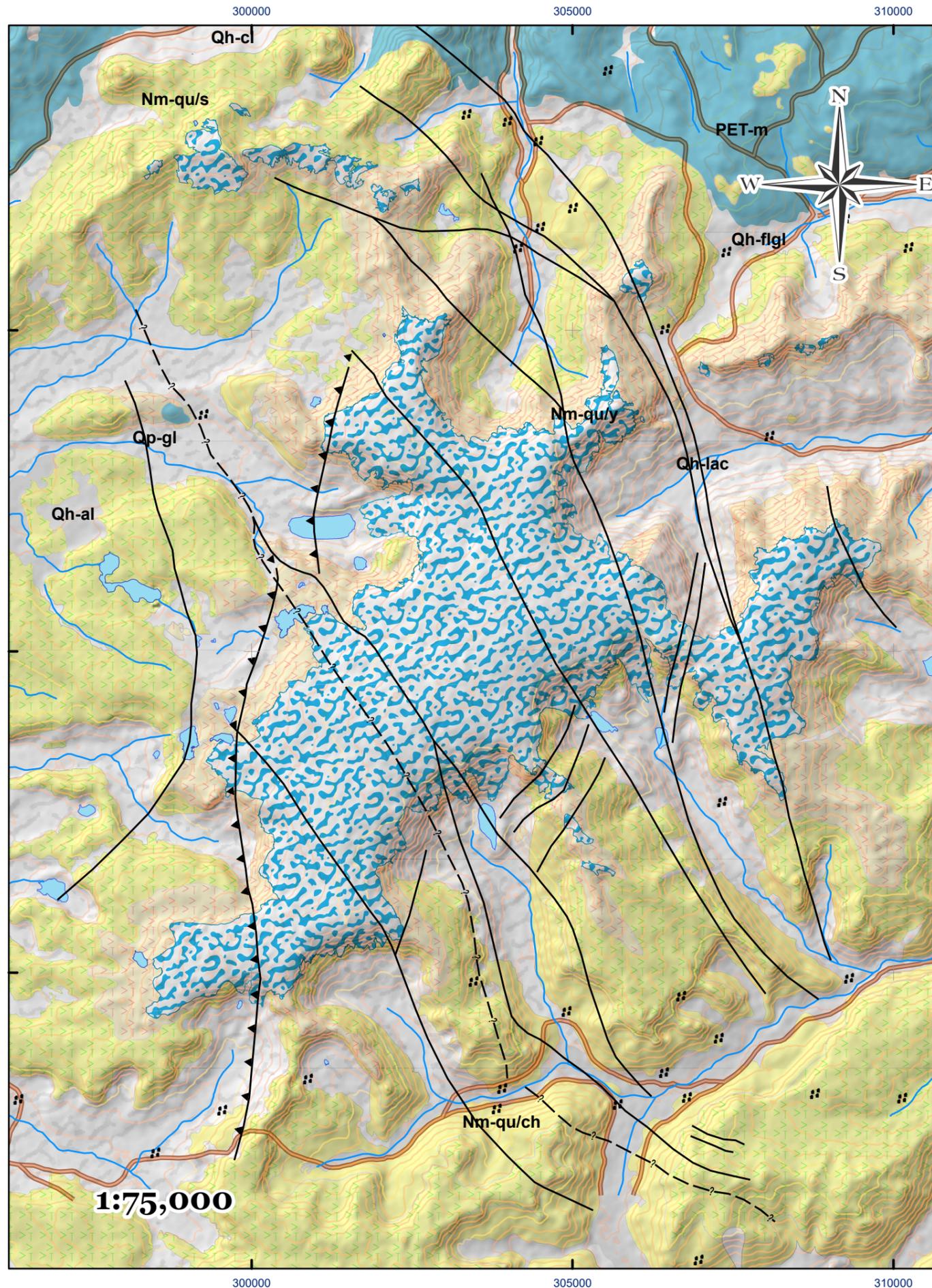
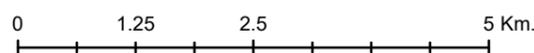
LEYENDA

Unidades Geológicas Locales

Depósito aluvial	Q-al	
Depósito fluvio glaciario	Qh-flgl	
Depósito glaciario	Qp-gl	
Formación Quenamari - Miembro Yapamayo	Nm-qu/y	
Formación Quenamari - Miembro Sapanuta	Nm-qu/s	
Formación Quenamari - Miembro Chacacuniza	Nm-qu/ch	
Grupo Mitu	PET-m	

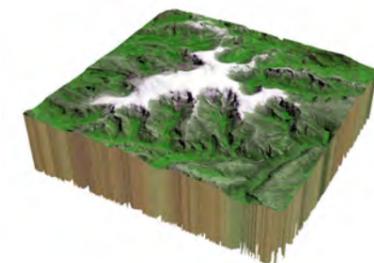
Fallas Locales

	Inversa
	Normal
	Rumbo Dextral



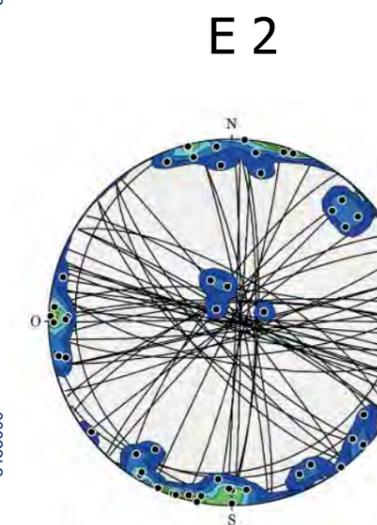
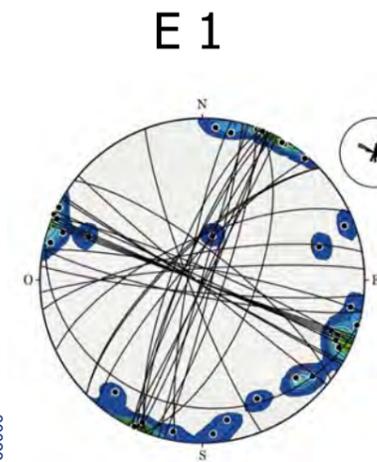
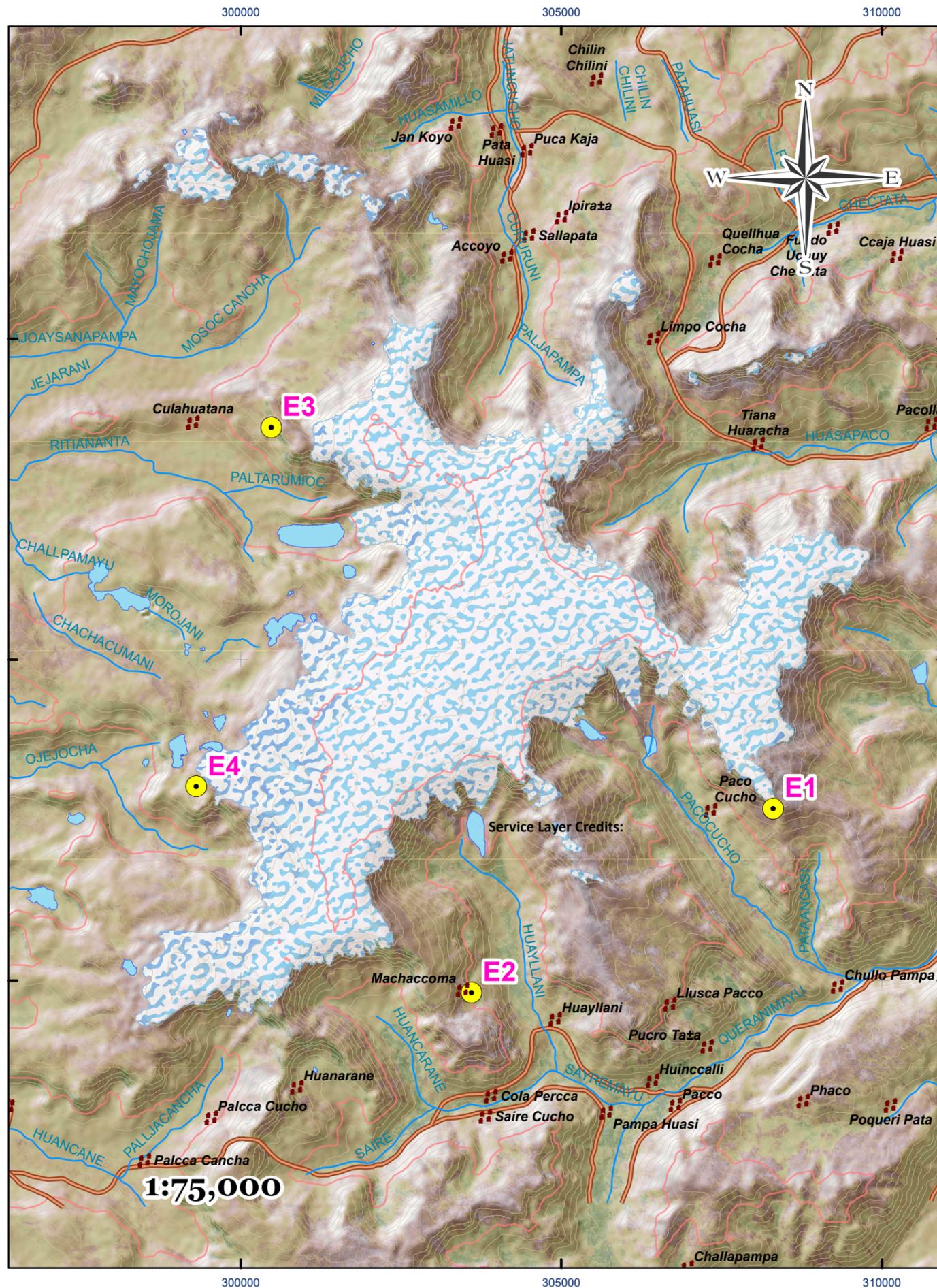
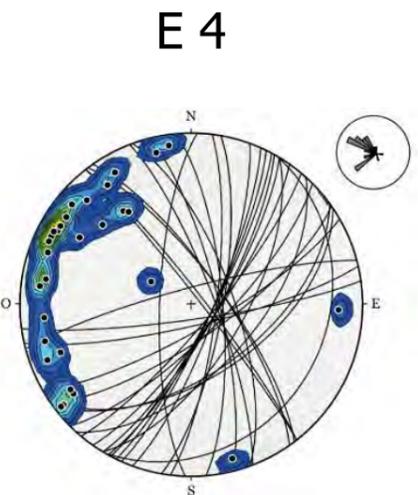
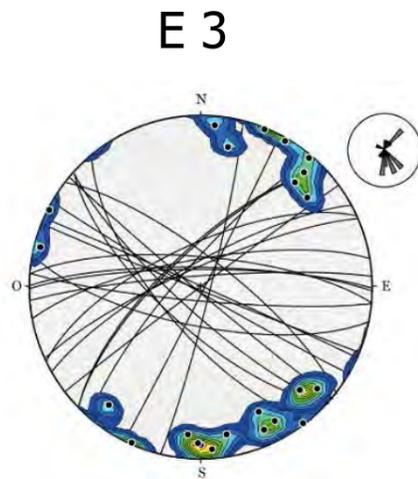
SIMBOLOS

	Pueblos
Vias	
	Camino de herradura
	Camino transitable
Hidrografía	
	QN Perenne
	R Intermittente
	Laguna
	Glaciar
Curvas	
	Primarias
	Secundarias



LOCAL

REGIÓN :	Cusco - Puno
PROVINCIA :	Canchis - Carabaya
DISTRITO :	Checacupe - Corani
AMBITO :	Glaciar Quelccaya
ESCALA :	1:75,000
FECHA :	Agosto de 2025
CUADRICULA:	5 000 m
DATUM:	WGS 84
SISTEMA de PROYECCION:	UTM zona 19 S

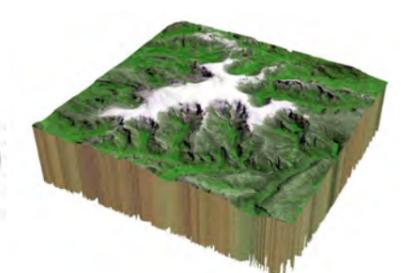


"Modelo Geológico Estructural en el Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"

TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
Bruss Hamier Huachaca Avalos
ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón

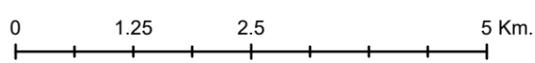
SIMBOLOS

- Pueblos
- Vías**
 - Camino de herradura
 - Camino transitable
- Hidrología**
 - . Perenne
 - . Intermitente
 - Laguna
 - Glaciar
- Curvas**
 - Primarias
 - Secundarias



ACTITUDES

REGIÓN : Cusco - Puno
PROVINCIA : Canchis - Carabaya
DISTRITO : Checacupe - Corani
AMBITO : Glaciar Quelccaya
ESCALA : 1:75,000
FECHA : Agosto de 2025
CUADRICULA : 5 000 m
DATUM : WGS 84
SISTEMA DE PROYECCION : UTM zona 19 S



**"Modelo Geológico Estructural en el
Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024"**

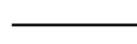
TESISTAS : Anibal Alvarez Perez
Bruss Hamier Huachaca Avalos

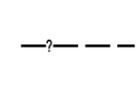
ASESOR : Mauro Alberto Zegarra Carreón

LEYENDA

Fallas Locales

Inversa 

Normal 

Rumbo Dextral 

Falla Neotectonica

Activa normal 

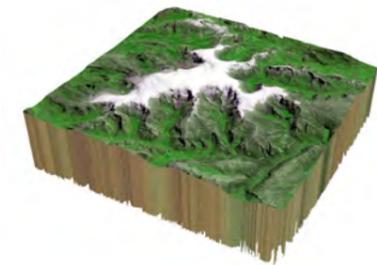
Posible activa sinistral 

Cuaternari inversa 

Cuaternari normal 

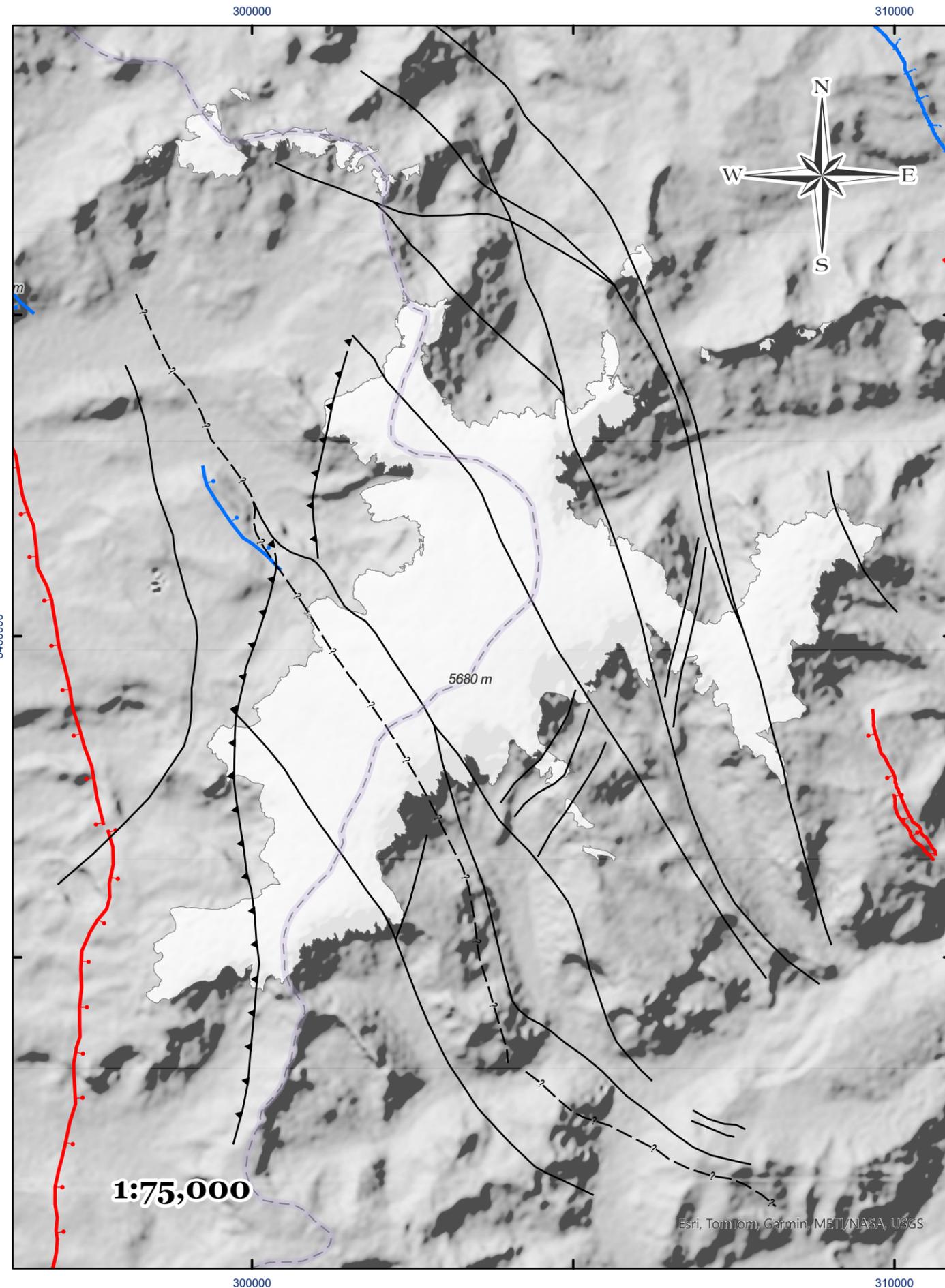
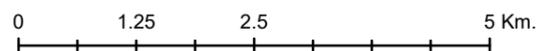
SIMBOLOS

 Glaciar



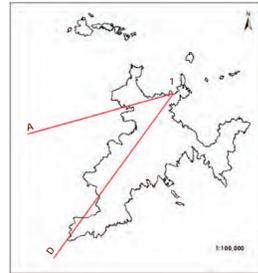
ESTRUCTURAL

REGIÓN : Cusco - Puno
PROVINCIA : Canchis - Carabaya
DISTRITO : Checacupe - Corani
AMBITO : Glaciar Quelccaya
ESCALA : 1:75,000
FECHA : Agosto de 2025
CUADRICULA: 5 000 m
DATUM: WGS 84
SISTEMA DE PROYECCION: UTM zona 19 S

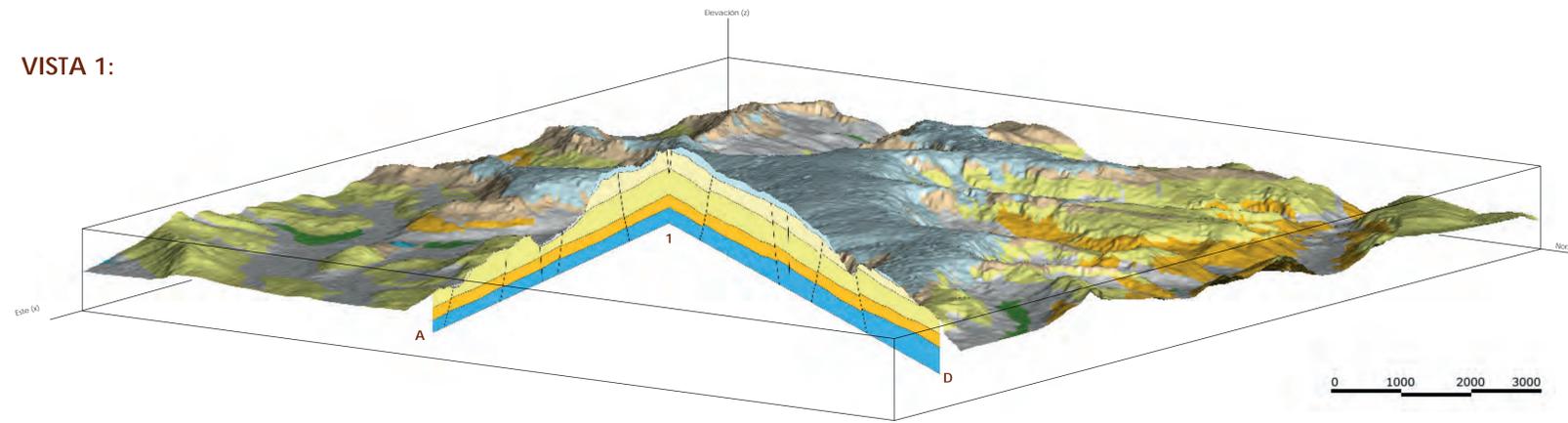


MAPA: MODELO GEOLÓGICO

SECCIONES A - 1 - D



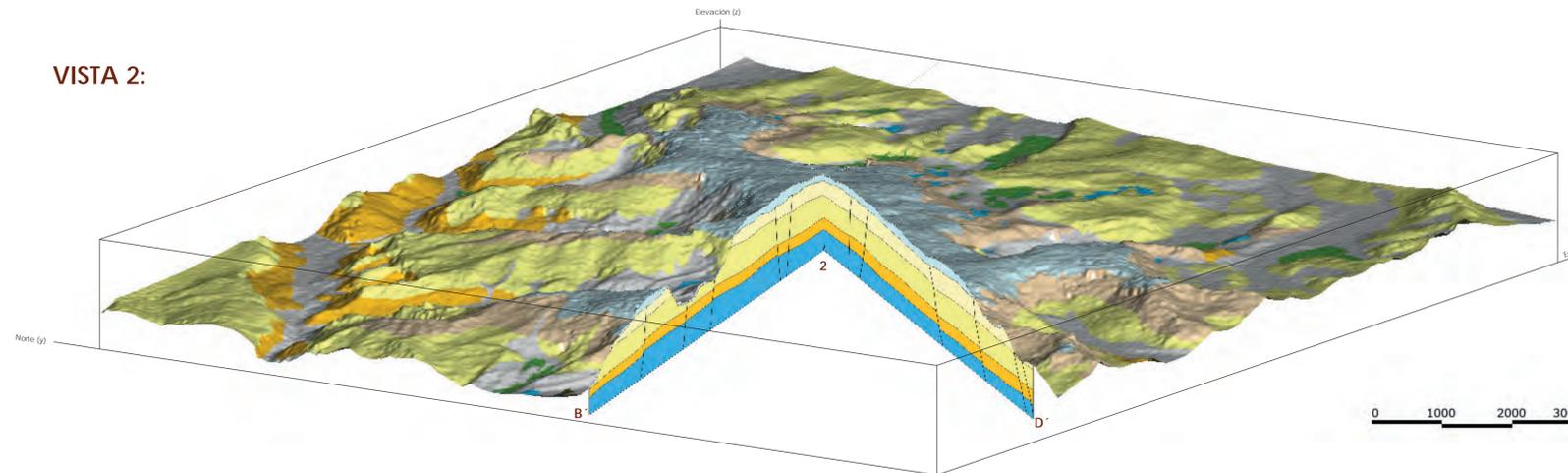
VISTA 1:



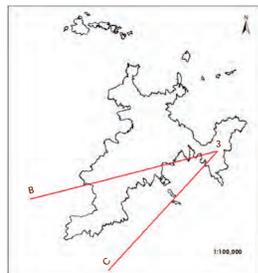
SECCIONES D - 2 - B



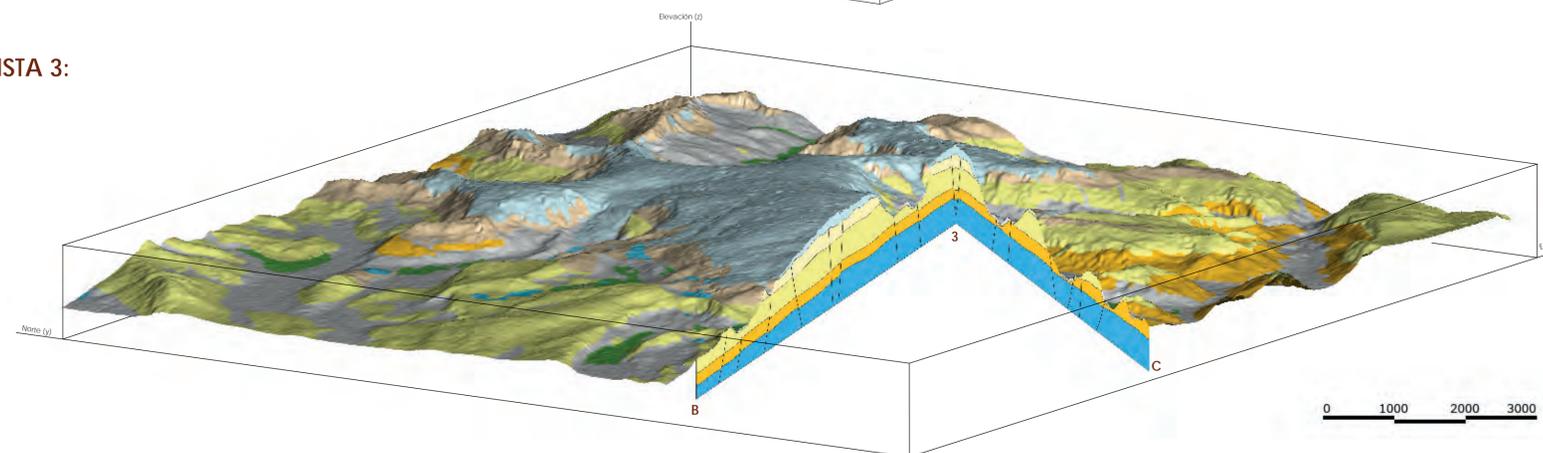
VISTA 2:



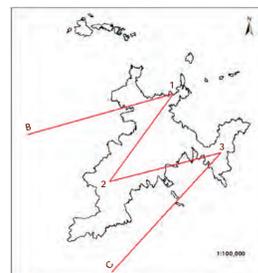
SECCIONES B - 3 - C



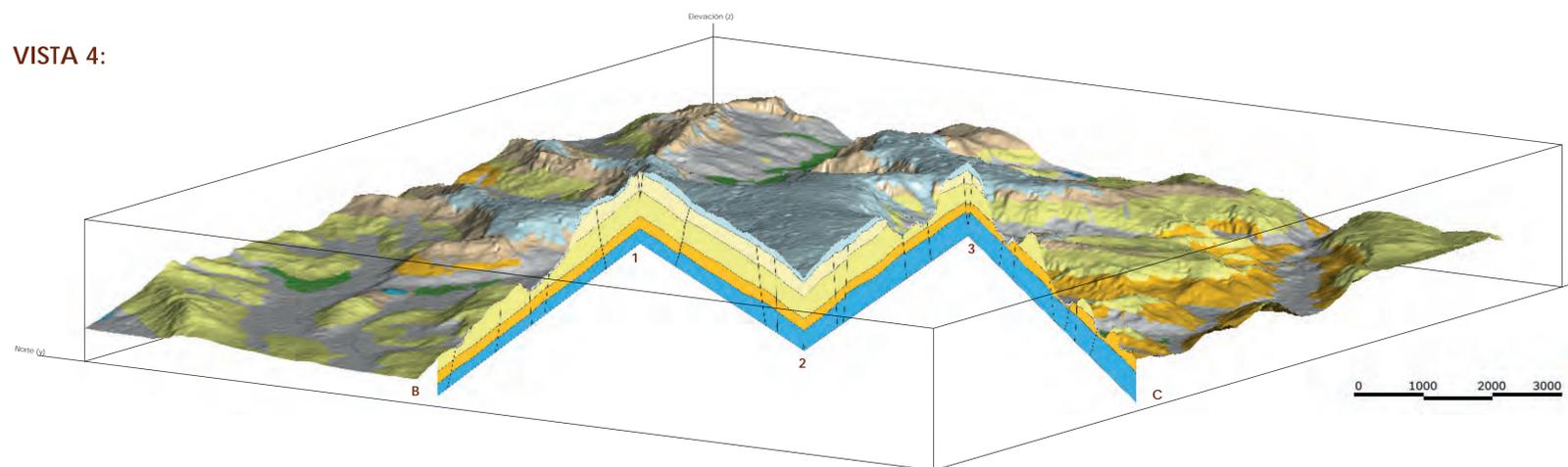
VISTA 3:



SECCIONES A - 1 - 2 - 3 - C



VISTA 4:



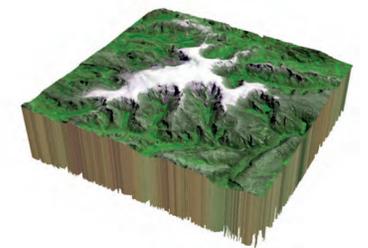
**“Modelo Geológico Estructural en el
Ámbito del Glaciar Quelccaya, 2024”**

UBICACIÓN
REGIÓN: Cusco - Puno
PROVINCIA: Canchis - Carabaya
DISTRITO: Checacupe - Corani
ÁMBITO: Glaciar Quelccaya

TESISTAS: Anibal Alvarez Perez
Bruss Hamier Huachaca Avalos

ASESOR: Mgt. Mauro Zegarra Carreon

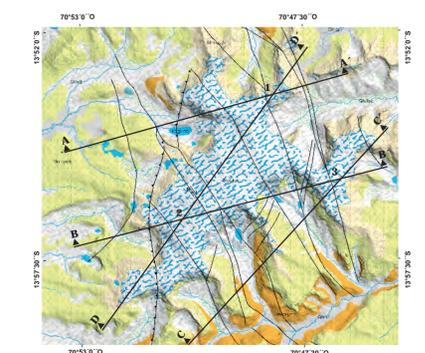
MODELO GEOLÓGICO



ESCALA: 1: 50,000
FECHA: Agosto/2025

SISTEMA DE CUADRICULA: UTM a 5 000 m
ZONA 19 ESFEROIDE INTERNACIONAL
PROYECCION: TRANSVERSA DE MERCATOR
SISTEMA GEOGRAFICO MUNDIAL DE 1984

UBICACIÓN DE SECCIONES



LEYENDA

- Glaciar
- Depósito lacustrino
- Depósito aluvial
- Depósito glaciar
- Miembro Yapamayo
- Miembro Sapanuta
- Miembro Chacacunza
- Grupo mitu