

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS
CARACTERIZACIÓN PETROMINERALOGICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DEL
GRUPO CALIPUY – DISTRITO DE CHILETE, CAJAMARCA – 2022

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO

AUTOR:

Bach. Izquierdo Gonzales Victor Hugo

ASESOR:

M.Cs.Ing. Arapa Vilca, Victor Ausberto

CAJAMARCA - PERÚ

2024



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA

1. Investigador : VICTOR HUGO IZQUIERDO GONZALES
DNI : 48112011
Escuela Profesional : INGENIERÍA GEOLÓGICA
2. Asesor : VICTOR AUSBERTO ARAPA VILCA
Facultad : INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional :
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación :
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación :
"CARACTERIZACIÓN PETROMINERALOGICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DEL GRUPO CALIPUY –
DISTRITO DE CHILETE, CAJAMARCA – 2022"
6. Fecha de evaluación : 14 de noviembre del 2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud : 8 %
9. Código Documento : 3117:405614679
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 18/11/2024

FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: Víctor Ausberto Arapa Vilca

DNI: 29552145



Firmado digitalmente por:

BAZAN DIAZ Laura Sofia

FAU 20148258601 soft

Motivo: En señal de
conformidad

Fecha: 18/11/2024 22:20:06-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "CARACTERIZACIÓN PETROMINERALOGICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DEL GRUPO CALIPUY - DISTRITO DE CHILETE, CAJAMARCA - 2022"

ASESOR : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0745-2024-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 26 de noviembre de 2024, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintisiete días del mes de diciembre de 2024**, siendo las once horas (11:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique
Secretario : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "CARACTERIZACIÓN PETROMINERALOGICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS DEL GRUPO CALIPUY - DISTRITO DE CHILETE, CAJAMARCA - 2022", presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica VÍCTOR HUGO IZQUIERDO GONZALES, asesorado por el M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 04.00 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 10.00 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 14.00 PTS. **CATORCE** (En letras)

En consecuencia, se lo declara **APROBADO** con el calificativo de **CATORCE** acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las **12.00 m.** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130

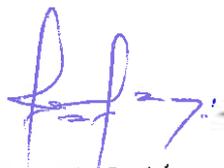


EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: VICTOR HUGO IZQUIERDO GONZALES.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	04.00
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	10.00
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	14.00
EN LETRAS (A + B)	CATORCE
- Excelente 20 - 19	BUENO
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 27 de diciembre de 2024


Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente


Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal


M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario


M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Geológica: VICTOR HUGO IZQUIERDO GONZALES.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	4.0
2.2. Dominio del tema	3.0
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	2.0
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	1.0
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	10.0

Cajamarca, 27 de diciembre de 2024

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Vocal

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Secretario

M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A Dios, que es fuente de esperanza y fuerza para empezar de nuevo. Agradezco también a mi familia por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

Agradezco a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Académico profesional de Ingeniería Geológica, a mis docentes por su apoyo, amistad y enseñanza durante la carrera.

Un agradecimiento especial a mi asesor en M.Cs. Víctor Ausberto Arapa Vilca. por el interés mostrado y la constante supervisión durante el desarrollo de la Tesis.

DEDICATORIA

A Dios por guardarme, brindarme las fuerzas para seguir luchando por mis metas e ideales, en este caminar de la vida.

Con infinita gratitud, a mis padres, por haberme inculcado disciplina y enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se puede; por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
CONTENIDO	iii
ÍNDICES DE TABLAS	v
ÍNDICES DE FIGURAS	vi
ÍNDICES DE FOTOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi

CÁPITULO I INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN	1
---------------------------	----------

CÁPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. Internacionales.....	3
2.1.2. Nacionales	3
2.1.3. Locales.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1. Rocas Ígneas Extrusivas	5
2.2.2. Productos Volcánicos	5
2.2.3. Rocas y Depósitos Piroclásticos.....	10
2.2.4. Propiedades Descriptivas de las Rocas Volcánicas.....	14
2.2.5. Secuencias Volcánicas	16
2.2.6. Microscopía.....	17
2.2.7. Petrografía	18
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	23

CAPÍTULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

	Pág.
3.1. UBICACIÓN.....	24
3.1.1. Geográfica	24
3.1.2. Política.....	24
3.1.3. Accesibilidad	26
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	26
3.2.1. Etapa Preliminar al Trabajo de Campo	26
3.2.2. Etapa de Campo.....	27
3.2.3. Metodología.....	27
3.2.4. Identificación de Variables.....	28
3.3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	28
3.4. GEOLOGÍA.....	30
3.4.1. Geología Regional.....	30
3.4.2. Geología Local	30
3.5. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	34
3.5.1. Petromineralogía de la Zona de Estudio.....	34

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
4.1.1. Petrografía Volcánica	53
4.1.2. Evolución Eruptiva.....	55
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	55
5.1. CONCLUSIONES.....	56
5.2. RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

ÍNDICES DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Características de los depósitos y rocas piroclásticas.....	11
Tabla 2: Características espectrales para óxidos de fierro, hidroxilos y vegetación.	14
Tabla 3: Vértices que delimitan el área de investigación	24
Tabla 4. Metodología de la investigación.....	27
Tabla 5. Cuadro de variables.	28
Tabla 6: Ubicación de muestras para análisis petromineralógico.....	34
Tabla 7: Cuadro de muestras analizadas	54

ÍNDICES DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Origen de flujos piroclásticos	7
Figura 2: Columna pliniana, flujo de densidad piroclástico estratificado con flujo en el base más denso. En el frente de avance del flujo se pueden producir violentas explosiones que originan oleadas piroclásticas	8
Figura 3: Clasificación de los depósitos piroclásticos según su tipo de emplazamiento y relación con la topografía previa.	13
Figura 4: Clasificación de grado de cristalinidad.....	14
Figura 5: Índice de color según el porcentaje de volumen de máficos.	15
Figura 6: Representación esquemática de las facies de un volcán compuesto.....	17
Figura 7: Fotomicrografías de propiedades ópticas en rocas y fósiles con nicoles paralelos y cruzados	18
Figura 8: Textura secuencial o seriada.....	19
Figura 9: Textura vítrea.....	20
Figura 10: Textura clástica.....	20
Figura 11: Textura blástica.....	21
Figura 12: Textura deformada.....	22
Figura 13: Principales estructuras.	22
Figura 14: Vista del área de investigación delimitado por los vértices marcados en color rojo.	25
Figura 15: Ubicación política del área de investigación.	25
Figura 16: Imagen satelital indicando la ruta para llegar a la zona de investigación (color azul), con punto de partida en la Av. Independencia – Ciudad de Cajamarca.	26
Figura 17: Intercalación de flujos de lava andesítica, con intercalación de depósitos volcanoclásticos que corresponden al primer evento eruptivo del Volcánico Chilete.....	32
Figura 18: Macizo rocoso de la segunda secuencia eruptiva del Volcánico Chilete.	32
Figura 19: Mapa geológico con los puntos de toma de muestras.....	34
Figura 20: Fotomicrografía sin analizador mostrando un cristal de Augita xenomorfa mostrando dos familias de exfoliación que cortan formando ángulos rectos, rodeada por una matriz oscura de vidrio volcánico con presencia de ocelos de composición félsica.	36

	Pág.
Figura 21: Misma fotografía anterior, pero con el analizador, donde se muestra el color de interferencia pardo amarillento de primer orden de la augita.....	36
Figura 22: a) Fotomicrografía sin analizador mostrando cristales automorfos y xenomorfos de augita, rodeados por una matriz oscura de vidrio volcánico con presencia de ocelos de composición félsica. b) Misma fotografía anterior, pero con el analizador.....	37
Figura 23: Fotomicrografía con analizador mostrando cristales xenomorfos de augita, rodeados por una matriz oscura de vidrio volcánico.	37
Figura 24: Fotomicrografía con analizador mostrando en el centro un cristal automorfo de augita alterándose a cloritas.....	38
Figura 25: a) Fotomicrografía con analizador mostrando en la parte central cristales subautomorfos de plagioclasa (PL). b) Cristal de plagioclasa (PL) y titanaugita visto con analizador.	38
Figura 26: Fotomicrografía con analizador de plagioclasas, sericita y carbonatos.....	39
Figura 27: Fotomicrografía con analizador de piroxenos, anfíboles, hematita y minerales opacos.	39
Figura 28: a) Fotomicrografía sin analizador mostrando cristales de cuarzo (Qz) anhedrales. b) Misma fotomicrografía anterior, pero con el analizador.	41
Figura 29: Fotomicrografía a 100X, con analizador, donde se muestran cristales anhedrales de cuarzo (Qz).....	42
Figura 30: Microfotografía de cristales anhedrales de cuarzo (Qz) con colores de interferencia grises y amarillos de primer orden	42
Figura 31: Fotomicrografía de los clastos con analizador mostrando plagioclasas (PGL) con alteración hidrotermal.	44
Figura 32: Fotomicrografía de los clastos con analizador mostrando moldes remanentes de plagioclasas (MOLDE-PGL) con colores de interferencia elevados de tercer orden en tonos amarillos.....	45
Figura 33: Fotomicrografía de los clastos con analizador mostrando cristales xenomorfos de ortopiroxenos (OPX), rodeados por cristales de plagioclasa alterados a sericita.....	45
Figura 34: a) Fotomicrografía con analizador b) Fotomicrografía con analizador al 100X.	46
Figura 35: Fotomicrografía de una cristal de epidota al 100X.....	46

	Pág.
Figura 36: Fotomicrografía a 100X, con analizador mostrando en el centro la formación de cristales de epidota (EP).	47
Figura 37: Fotomicrografía con analizador de un clasto de arenisca de grano fino.....	47
Figura 38: Fotomicrografía con analizador mostrando donde se muestra en detalle el aspecto fino e isotrópico de parte de la matriz (MTZ) de la brecha, de un color marrón verdoso, rodeado de un material muy fino alterado.	48
Figura 39: Fotomicrografía sin analizador mostrando un cristal xenomorfo e irregular de hornblenda (HNB) de color marrón con relieve moderado y clivaje perfecto, junto a un cristal de plagioclasa (PL).	50
Figura 40: Fotomicrografía sin analizador mostrando un cristal prismático de hornblenda (HNB) de color marrón verdoso con relieve moderado y clivaje perfecto, rodeado de una matriz vidriosa félsica de color claro.	50
Figura 41: Fotomicrografía con analizador, donde se muestra un cristal xenomorfo de hornblenda.	51
Figura 42: Fotomicrografía con analizador mostrando un cristal prismático de plagioclasa.	51
Figura 43: Fotomicrografía con analizador, donde se muestran cristales mayores de plagioclasa (PGL) rodeados de pequeños cristales de hornblenda (HBN).	52

ÍNDICES DE FOTOS

	Pág.
Foto 1: Muestra de mano de roca lamprófido con textura porfírica.	35
Foto 2: Muestra de mano de roca andesita con tonalidades de color gris oscuro y verde oscuro.	40
Foto 3: Muestra de mano, se encuentra constituida por clastos de origen sedimentario e ígneo.	43
Foto 4: Muestra de mano de toba volcánica de tonalidad blanquecina.	49

INDICE DE FICHAS

Ficha 1.- Cotización para elaboración de secciones pulidas delgadas.	61
Ficha 2.- Descripción de la Muestra 01 mostrando cristales automorfos de augita sin analizador.	62
Ficha 3.- Descripción de la Muestra 01 vista con analizador mostrando cristales automorfos de titanoaugita.	62
Ficha 4.- Descripción de la Muestra 01 mostrando moldes de plagioclasas con analizador.	63
Ficha 5.- Descripción de la Muestra 01 con analizador de un cristal de anfíbol y piroxeno.	63
Ficha 6.- Descripción de la Muestra 02 sin analizador con minerales de hierro.	64
Ficha 7.- Descripción de la Muestra 02 vista al 100X con analizador de cristales de piroxenos y anfíboles.	64
Ficha 8.- Descripción de la Muestra 02 con analizador mostrando venillas de cuarzo. ...	65
Ficha 9.- Descripción de la Muestra 03 con analizador mostrando plagioclasas con matriz vítrea alterada.	65
Ficha 10.- Descripción de la Muestra 03 con analizador de cristales de actinolita.	66
Ficha 11.- Descripción de la Muestra 03 con analizador a 100X de un cristal de epidota.	66
Ficha 12.- Descripción de la Muestra 04 sin analizador de un cristal de horblenda y plagioclasa.	67
Ficha 13.- Descripción de la Muestra 04 con analizador de cristales de plagioclasas rodeadas de pequeños cristales de horblenda.	67

RESUMEN

El estudio bajo la cual se centró esta investigación se encuentra ubicada en el distrito de Chilete, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca. Allí se encuentran afloramientos de rocas volcánicas del Grupo Calipuy perteneciente a la era Cenozoica, los cuales constituyen zonas de gran interés para los estudios petromineralógicos y para la comprensión de los eventos orogénicos de la Cordillera Occidental de los Andes del norte del Perú. El objetivo de esta investigación es determinar la caracterización petromineralógica, para la comprensión de los tipos de eventos volcanogénicos y su centro de emisión; para ello se realizó una etapa preliminar de campo en la cual se recopiló información, luego en la etapa de campo se reconoció la zona, se identificó la geología local y se recolectó muestras representativas. Se realizó una descripción macroscópica y microscópica de las muestras donde se pudo determinar rocas andesíticas, aglomerados, tobas y lamprófidos las cuales nos permitieron interpretar que la génesis de estas rocas son flujos piroclásticos de bloques y cenizas, flujos de lava andesítica y lahares; todo ello producto de un vulcanismo intermitente de actividad explosiva, extrusiva y efusiva. Los resultados determinan una alteración hidrotermal propilítica de alta temperatura en la primera fase de la secuencia Volcánica Chilete, principalmente en la matriz y clastos de los aglomerados. En cuanto a las fuentes de emisión o centros volcánicos no se los pudo determinar por los procesos de meteorización, erosión presentados y por los depósitos cuaternarios; logrando de esta manera incorporar nuevo conocimiento geológico al ya existente.

Palabras Claves: Petrología, mineralogía, Grupo Calipuy, depósitos de flujos piroclásticos.

ABSTRACT

The study under which this research was focused is located in the district of Chilete, province of Contumazá, department of Cajamarca. There are outcrops of volcanic rocks from the Calipuy Group belonging to the Cenozoic era, which constitute areas of great interest for petromineralogical studies and for the understanding of the orogenic events of the Western Cordillera of the Andes in northern Peru. The objective of this research is to determine the petromineralogical characterization, for the understanding of the types of volcanogenic events and their emission center; For this, a preliminary field stage was carried out in which information was collected, then in the field stage the area was recognized, the local geology was identified and representative samples were collected. A macroscopic and microscopic description of the samples was carried out where it was possible to determine andesitic rocks, agglomerates, tuffs and lamprophyres which allowed us to interpret that the genesis of these rocks are pyroclastic flows of blocks and ashes, andesitic lava flows and lahars; all of this is the product of intermittent volcanism of explosive, extrusive and effusive activity. The results determine a high-temperature propylitic hydrothermal alteration in the first phase of the Chilete Volcanic sequence, mainly in the matrix and clasts of the agglomerates. Regarding the emission sources or volcanic centers, they could not be determined due to the weathering and erosion processes presented and the Quaternary deposits; thus achieving the incorporation of new geological knowledge to the existing one.

Keywords: Petrology, mineralogy, Calipuy Group, pyroclastic flow deposits.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las rocas ígneas del Grupo Calipuy consisten en espesas y extensas secuencias volcánicas y volcanoclásticas relacionadas a procesos dinámicos manifestados por la subducción de la placa de Nazca bajo la corteza de la placa Sudamericana, generando varias fases de plegamiento, magmatismo y volcanismo; estas conforman parte de la Cordillera Occidental de los Andes. Navarro (2009), menciona que en el segmento de Cajamarca los depósitos volcánicos corroborados por dataciones radiométricas muestran una ocurrencia desde el Eoceno inferior (54-43 Ma.) hasta el Mioceno superior (12-8 Ma.).

La extensión de afloramientos de rocas volcánicas pertenecientes a la era Cenozoica, las cuales pertenecen al Grupo Calipuy en la presente investigación, constituye gran interés en los estudios petromineralógicos para la comprensión de los eventos orogénicos de la Cordillera Occidental de los Andes del norte del Perú. Este interés por estudiarlas conlleva esta investigación a establecer un análisis petromineralógico en dichas rocas presentes en el Distrito de Chilete, departamento de Cajamarca, cuya finalidad es establecer una relación entre las etapas del proceso depositacional, tratando de explicar los eventos geológicos que dieron origen a las diversas Formaciones caracterizadas por rocas ígneas, así como los minerales económicos presentes en el Grupo Calipuy sobre los cuales se han formado.

Por todo ello se realiza la interrogante ¿A qué tipo de evento corresponde la caracterización petromineralógica de las rocas ígneas presentes en el Grupo Calipuy, distrito de Chilete, departamento de Cajamarca?

El análisis petromineralógico de las rocas ígneas presentes en el Grupo Calipuy, en el distrito de Chilete, ayuda a la interpretación de los eventos volcanogénicos. Las investigaciones realizadas anteriormente en el Grupo Calipuy que convergen en un modelo petromineralógico preestablecido, el cual determina características petrológicas, mineralógicas y texturales, así como las posibles fuentes de procedencia. Dicho modelo establece estos parámetros de manera general, es por ello que el presente estudio se enfoca en conocer a detalle el evento al cual corresponde el Grupo Calipuy en el distrito de Chilete,

departamento de Cajamarca. La investigación se compondrá, de dos partes la cual se iniciará en etapa preliminar al trabajo de campo donde se hará con un análisis, interpretación y evaluación de datos obtenidos bibliográficamente, los cuales serán necesarias para la generación de planos topográficos y geológicos, y en campo, se realizó la delimitación, localización y ubicación del afloramiento del Grupo Calipuy.

La zona de investigación se ubica en los centros poblados de Chilete y Los Laureles, en las de coordenadas del sistema WGS84 zona 15F, ubicados en el distrito de Chilete, en la provincia de Contumazá.

El objetivo de la investigación es determinar el tipo de evento al que corresponden las rocas ígneas del Grupo Calipuy, presente en el Distrito de Chilete, departamento de Cajamarca, como objetivos específicos son determinar la caracterización petromineralógica de las rocas ígneas del Grupo Calipuy, establecer los posibles eventos volcanogénicos y explicar la procedencia de las rocas ígneas del Grupo Calipuy con respecto a su centro volcánico.

El desarrollo de la investigación se ha estructurado en cinco capítulos. En el capítulo I se realiza una introducción a la investigación realizada, el planteamiento del problema, así como el planteo de la pregunta principal y la hipótesis, además de mencionar los alcances y objetivos del proyecto de investigación. En el capítulo II Marco Teórico, en este capítulo se citan a algunos autores con un breve resumen de sus trabajos de investigación que se relacionan con el tratado en el presente; asimismo se consideran bases teóricas de los fundamentos de petrología, petrografía y mineralogía, además de la definición de términos básicos. El capítulo III, se considera la ubicación, accesibilidad a la zona de estudio, además se da a conocer la metodología de la investigación, trabajo de gabinete y campo; y también se hace referencia a la descripción de la geología local, petrología y mineralogía. En el capítulo IV, se presentó los resultados obtenidos, con un respectivo análisis e interpretación de los mismos que conllevó a la contrastación de la hipótesis. En el capítulo V, corresponde a las conclusiones y recomendaciones; y finalmente se presentan las referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Berrezueta et al. (2021), “Caracterización mineralógica y petrográfica de las vetas Vizcaya, Octubrina y Gabi del yacimiento aurífero epitermal Zaruma- Portovelo, Ecuador, el presente artículo tiene por objetivo la caracterización de vetas mediante técnicas microscópicas y de microanálisis y, de esta forma correlacionar la información con características geológicas - mineras, con un método preciso para la caracterización de procesos mineralizados.

Pallares & Élias (2018), “Caracterización petrográfica e identificación de zonas de alteración hidrotermal, en las rocas aflorantes de la Región las Pavas, (El Copey – Cesar)”, en el presente informe se realiza una cartografía geológica en la región de las Pavas, municipio del Copey – Cesar, en función a la delimitación de litologías presentes por medio de descripción de rocas macro y microscópicamente; se recolectó 9 muestras por la técnica de esquirlas de roca en forma aleatoria, con lo que se obtuvo como resultado que la zona de estudio está abarcada principalmente por distintos tipos de litologías, que corresponden a rocas ígneas volcánicas de la Formación Corual.

2.1.2. Nacionales

Cáceres (2021), “Caracterización petromineralógica y geoquímica del Skarn de mármol de Quiquijana (provincia de Quispicanchi – Cusco)”, la presente investigación, se recolectó muestras de rocas que afloran en el cerro Curi, recolectado como muestras de representatividad que fueron descritas macroscópicamente y microscópicamente utilizando el microscopio petrográfico de luz transmitida y luz reflejada. Dos muestras de la roca volcánica La caracterización petromineralógica en las rocas clásticas como areniscas nos muestra una presencia de minerales de hematita, en las rocas calizas, también vemos presencia de mineralización de hierro en las fracturas, la presencia de pirolusita en el

mármol, la presencia de hematita en las rocas intrusivas y bastante calicita en la roca volcánica.

Salcedo (2021), “Contribución a la caracterización petromineralográfica-textural-geoquímica de las unidades litológicas mineralizadas del pórfido de cobre Cuajone (sur del Perú) y su posible influencia en el Work Index y la recuperación metalúrgica”, tiene por objetivo ser un piloto de estudio geometalúrgico y evaluar de qué forma están relacionados la textura y mineralogía de ganga y calcopirita podrían estar influyendo en la recuperación metalúrgica y el Work Index de los pórfidos de Cuajone; se recolectó 9 muestras que fueron extraídas de pórfidos mineralizados y se los caracterizó usando microscopía óptica; buscando una correlación entre textura y mineralogía de las muestras.

2.1.3. Locales

Prado (2018), “Estudio petromineralógico de las areniscas de la formación Farrat en la zona de Baños Del Inca y Llacanora - Cajamarca”, en la presente investigación se menciona que se presenta areniscas cuarzosas de grano medio a fino, presentando estratos laminares, con lo que se genera un análisis de petrográfica de areniscas por más de 90% de cuarzo. Con lo que se obtuvo, a través de los triángulos de Dickinson, de que la posible fuente de sedimentos sería también conocida como Cratón interior.

Chávez (2010), “INGEMMET, Variaciones Geoquímicas y Clasificación por Arcos Magmáticos de las rocas Volcánicas del “Grupo Calipuy”: Cajamarca, La Libertad y Ancash. En el estudio se propone una evolución espacial y temporal más detallada de las rocas volcánicas del Grupo Calipuy en base al cartografiado de los centros volcánicos, a los datos de geocronología y a las interpretaciones geoquímicas de elementos mayores y elementos traza.

Navarro (2009), INGEMMET, Centros Volcánicos Oligo-Miocénicos (Grupo Calipuy) en la Zona Sur de Cajamarca. Se identificaron centros y secuencias volcánicos.

Navarro (2014), INGEMMET, Nuevas dataciones en el segmento sur de Cajamarca. En el estudio se da a conocer nuevos datos geocronológicos confirman que el magmatismo en el

sector sur de Cajamarca tiene un periodo de actividad del Eoceno inferior al Mioceno superior.

Reyes (1980), INGEMMET - Boletín N° 31. “Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba”. Estudio regional, realizando el cartografiado a escala 1: 100,000. Definiendo finalmente la presencia de grandes unidades geológicas como el Mesozoico y Cenozoico.

Rivera (2007), INGEMMET, Características Metalogénicas de los Yacimientos asociados al Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú, Región Cajamarca. En función de las dataciones se interpreta la evolución magmática del vulcanismo, asimismo la evolución estructural de la región de Cajamarca como base para la descripción de la Geología Económica.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Rocas Ígneas Extrusivas

Se forman por enfriamiento magmático y lávico, particularmente las rocas extrusivas se logran desarrollar en la superficie. Aquí, se clasifica las rocas extrusivas según la causa-origen que las formó.

Cuando el origen de una roca es un enfriamiento lávico acelerado, se le conoce como una roca extrusiva lávica. En cambio, si el origen de una roca es el resultado de erupciones explosivas y contienen fragmentos de diverso tamaño y forma en su textura (cenizas y cristales), son conocidas como rocas extrusivas piroclásticas. (Gill, 2010)

2.2.2. Productos Volcánicos

En consecuencia, de la actividad volcánica se identifican productos de acuerdo a los sucesos eruptivos.

- Flujos de lava.
- Flujos de densidad caliente.
- Flujos de densidad fría.

Los productos piroclásticos se clasifican en:

- Depósitos de caída piroclásticas
- Depósitos de flujo piroclásticos
- Depósitos de Oleada Piroclásticas

2.2.2.1. Depósitos de Caídas Piroclásticas

Este tipo de depósitos se forman después de que el material haya sido disparado hacia la atmosfera, se muestran como mantos estratificados, a veces con una estratificación paralela, laminar o no cruzada.

2.2.2.2. Depósitos de Oleada Piroclásticas

El material fragmentado es eyectado lateralmente, producido por explosión freatomagmática o freática. Los depósitos mal clasificados se los divide en secos y húmedos. Son de poco volumen y recorren distancias cortas. Los de depósitos de oleada piroclástica se dividen en:

- ✓ Depósitos de Oleadas Basal: muestran una estratificación cruzada y paralela, se les reconoce en la base de unidades de flujo principal, y se compone por ceniza, fragmentos juveniles, cristales y líticos en proporciones variables. (Echevarría, 2008)
- ✓ Depósitos de Oleada de Nube de Ceniza: Son depósitos estratificados que se encuentran por encima de las unidades de flujo piroclástico, muestran capas unidireccionales y se ven estructuras de ondas. (Echevarría, 2008)

2.2.2.3. Depósitos de Flujos Piroclásticos

A. Origen

Se da por fragmentación explosiva del magma y colapso de la columna eruptiva, al bajar la fuerza de la fragmentación la parte inferior de la columna eruptiva colapsa a masa gaseosa descende por las laderas del volcán, se trata de un flujo de densidad. (Llambías, 2001)

Los flujos se encuentran estratificados internamente con las partes más densas en la base, su temperatura proviene del magma y de su contenido en gases calientes. (Llambías, 2001)

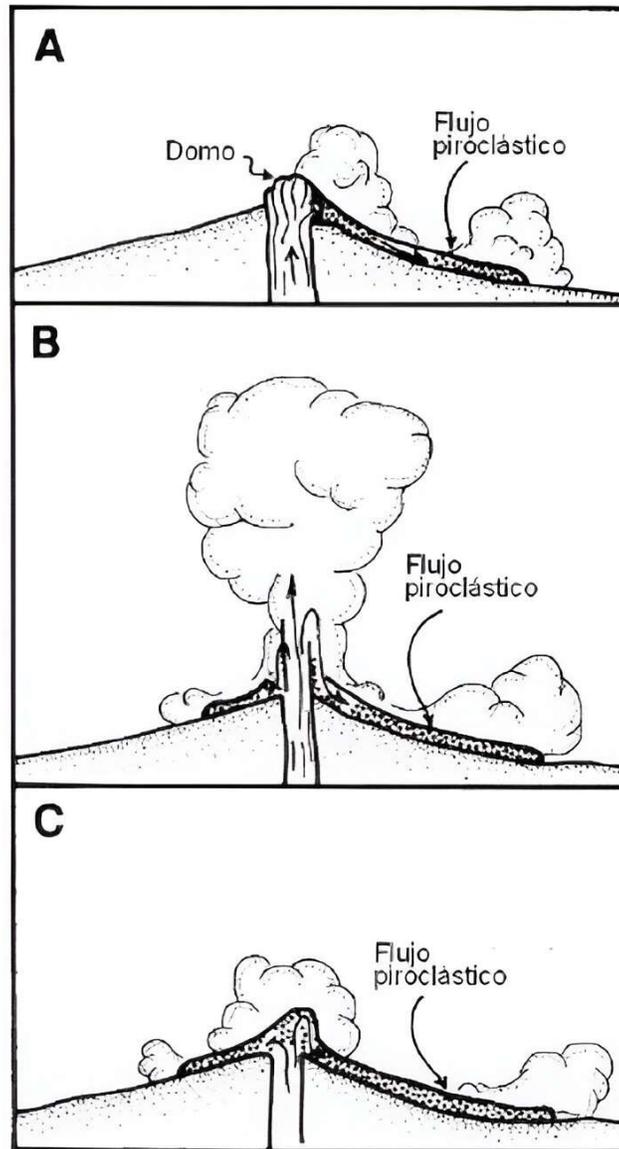


Figura 1: Origen de flujos piroclásticos

Fuente: Tomado de Echevarria, (2008)

1. Se relaciona a flujos de lavas y domos (A) por colapso gravitacional, o con erupciones explosivas que se llevan a cabo en relación con la extrusión de domos.
2. Mediante colapso vertical de columnas eruptivas explosivas (B). En el tipo de vulcanismo vulcaniano los depósitos se denominan depósitos de escoria y cenizas, mientras que en vulcanismo tipo pliniano los depósitos se denominan ignimbritas.
3. Por flujo directamente del cráter del volcán (C).
4. El flujo de densidad piroclástico es más denso en la base porque contiene mayor proporción de partículas a esta parte inferior se la describe como flujo piroclástico y a sus rocas resultantes ignimbritas, en cuanto a la parte superior se expande lateralmente y forma un sombrero, desde este se produce caída de ceniza. (Echevarria, 2008)

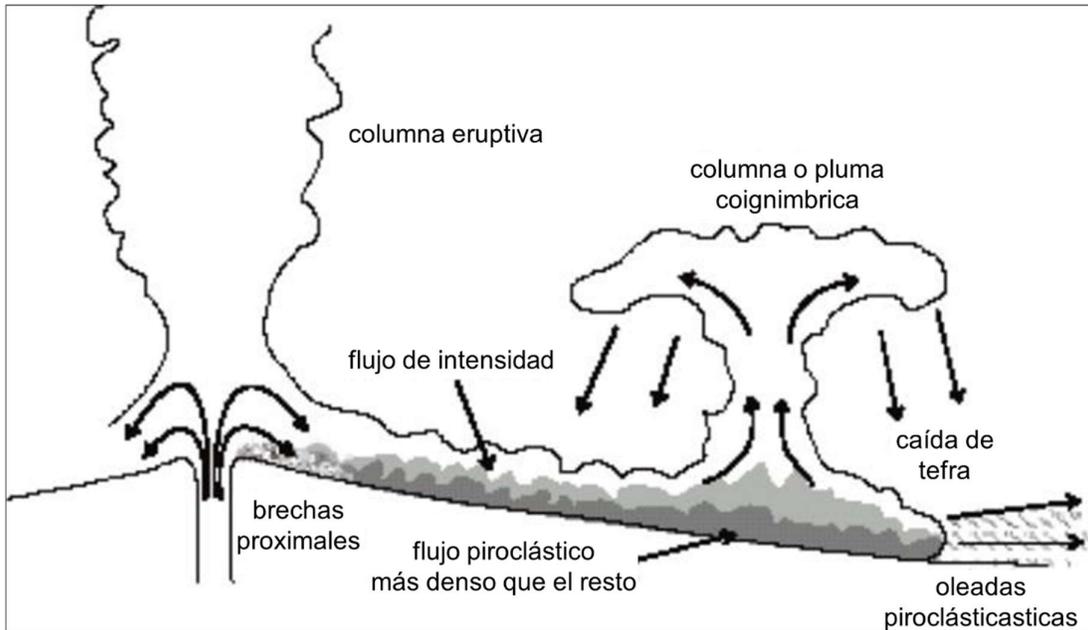


Figura 2: Columna pliniana, flujo de densidad piroclástico estratificado con flujo en el base más denso. En el frente de avance del flujo se pueden producir violentas explosiones que originan oleadas piroclásticas

Fuente: Tomado de Druitt, (1998)

B. Tipo de Depósitos de Flujo Piroclásticos

- Depósitos de Flujo de Bloques y Ceniza: Sus bloques son líticos angulosos, también son poco vesiculares, unos con fracturas radiadas, con una matriz de ceniza, soldamiento raro, clastos con un mismo tipo de magma.
- Depósitos de Flujo de Escoria y Ceniza: Depósitos no seleccionados, controlados por la topografía, se compone de lapilli escoriáceo andesítico o basáltico. Su soldamiento es común, su gradación va a ser inversa a los clastos.
- Ignimbritas O Depósitos de Flujo Pumíceos: Ignimbrita son todas las rocas que se forman por depósitos piroclásticos, su composición varía de intermedias a ácidas, suelen tener una matriz microcristalina con minerales amorfos. (Echevarria, 2008)

C. Génesis

Las ignimbritas se forman por colapsos de columnas eruptivas en erupciones pliniana y de domos. La velocidad del flujo piroclástico va a depender de la altura del colapso de la columna eruptiva la velocidad de extrusión, la proporción sólido/gas, las pendientes topográficas. (Llambías, 2001)

D. Estructura

En las ignimbritas en la parte superior se desarrollan flujos laminares y turbulentos, estos pueden determinar unidades en el depósito, la velocidad de fluidización determina su estructura interna. (Llambías, 2001)

E. Tipos

Por la temperatura al momento de detenerse se distinguen las ignimbritas soldadas de las no soldadas. La potencia del depósito y área ocupada determinan los tipos de ignimbritas. (Centro de Estudios de Castilla-La Mancha, 2022)

✓ **Características de los Depósitos de Flujos Piroclásticos**

- Geometría y Relación de Aspecto: los flujos topográficos se acomodan a la topografía.
- Relación de aspecto: existen 2 tipos, uno de baja relación que son depósitos delgados y extensos que se forman por flujos de velocidad alta, el segundo tipo es de alta relación son potentes y de extensión restringida, se forman por flujos de baja velocidad.
- Dimensiones de los Flujos Piroclásticos: Menores de 1 km³ a 3000 km³. Depósitos pumíceos de grandes volúmenes por lo general son silíceos. La distancia que recorre el flujo de pocos a 100 km.
- Variaciones Texturales: en áreas de poco relieve los depósitos bajan su espesor cuando aumenta la distancia de origen, los piroclastos livianos con la distancia no cambian su espesor.
- Zonación Composicional: La variación composicional nos va a mostrar la zonación composicional del magma. La variación puede ser conspicua, o puede ser suave, también puede ser transicional o de contactos netos.
- Componentes de los Depósitos Piroclásticos: Los piroclastos pueden ser de cualquier tamaño. El término para los depósitos piroclásticos es Tefra, existe 3 tipos de componentes: fragmentos juveniles, cristales o cristaloclastos y fragmentos líticos o litoclastos. (Echevarria, 2008)

2.2.3. Rocas y Depósitos Piroclásticos

Cuando se trata de depósitos actuales que no han sido litificados la clasificación de rocas y depósitos piroclásticos no es estrictamente petrográfica, en cambio los depósitos litificados y consolidados necesitan de un estudio petrográfico. Las rocas volcanoclásticas se justifican como rocas no coherentes.

Los piroclastos, son clastos de tamaño variable de rocas volcánica resultantes de la fragmentación del magma o de las rocas de la pared del conducto en erupciones volcánicas explosivas. Los clastos cuyo origen es fragmentos de roca antiguas que han sido atravesadas por conductos de ascenso del magma o del flujo piroclástico se llaman litoclastos. Los depósitos o rocas que han sufrido transporte en un medio sedimentario no se consideran

piroclastos, asimismo a los fragmentos y depósitos se denominan epiclastos y a los agregados rocas epiclásticas.

Tabla 1: Características de los depósitos y rocas piroclásticas

Diámetro promedio de clastos (mm)	Nombre del piroclasto	Depósitos y rocas piroclásticas (>75% material piroclástico)		Rocas mixtas piroclástico-epiclásticas (25% a 75% de piroclastos)
		No consolidado TEFRA	Consolidado ROCA PIROCLÁSTICA	
>64	Bombas y bloques	Aglomerado, tefra de bombas o bloques	Aglomerado Brecha piroclástica	Aglomerado tobáceo Brecha tobácea
64-2	Lapilli	Capa de lapilli Tefra de lapilli	Toba de lapilli Lapillita	
2-1/16	Ceniza gruesa	Ceniza gruesa	Toba de ceniza gruesa	Arenisca tobácea
<1/16	Ceniza fina (polvo)	Ceniza fina, polvo	Toba de ceniza fina Toba de polvo	1/16 – 1/256 Limolita tobácea

Fuente: Adaptado de Castro-Dorado, (2015).

2.2.3.1. Componentes de los Depósitos Piroclásticos

Su composición consta de piroclastos de diferentes tamaños, incluyendo materiales juveniles, cristales y fragmentos líticos (Pérez y Fernández, 2015).

a) Los Componentes Juveniles

Fragmentos fundidos del magma en erupción, vesiculados y vítreos. Echavarría (2008) los describe como fragmentos del magma expulsados por el cono volcánico, siendo: escoria, pómez y trizas vítreas.

b) Los Cristales

Son fragmentos individuales de roca con bordes rotos. Se clasifican en fenocristales, procedentes del magma en erupción, y xenocristales, provenientes de la roca de caja.

c) Los Líticos

Son fragmentos de roca sólida presentes en la erupción. Se clasifican en líticos comagmáticos (con la misma composición que los juveniles), accesorios (provenientes de las rocas de caja) y accidentales (clastos sueltos incorporados por los flujos piroclásticos)

2.2.3.2. Características de los Depósitos Piroclásticos

A. Soldamiento, Desvitrificación y Cristalización

Proceso de fundición plástica de piroclastos calientes como resultado de una roca con gran densidad. La foliación paralela a la seudoestratificación está conformada por pómez o escoria plana en matriz de vidrio y clastos por la compactación, temperatura, constitución y grosor del depósito. (Echevarria, 2008)

B. Grado de Soldamiento

En Echevarria (2008) se describe el estado de soldamiento. Los depósitos piroclásticos con un grado extremadamente alto pueden ser indiferenciables de flujos lávicos, se describen:

- Capas de flujos piroclásticos altamente compactados o reconfigurados.
- Estratos de flujos piroclásticos de grado moderado.
- Depósitos de flujos piroclásticos poco consolidados.

C. Geometría y relación de Aspecto

Suelen acomodarse al relieve o topografía, teniendo mayor espesor en zonas bajas y se adelgazan en zonas altas según el volumen, forma, propiedades físicas y agente de transporte y depositación del material volcánico. (Echevarria, 2008)

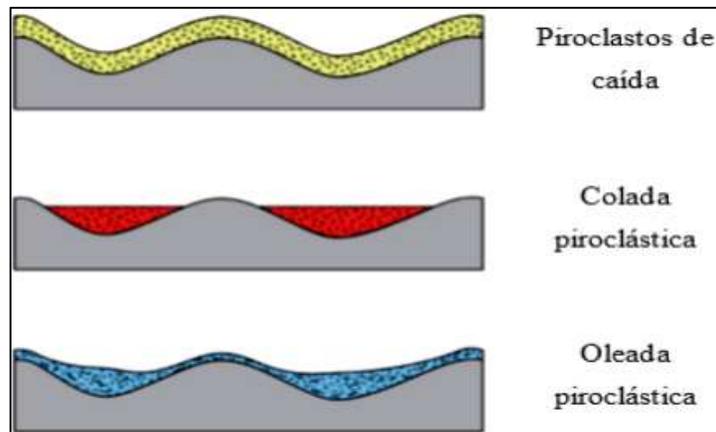


Figura 3: Clasificación de los depósitos piroclásticos según su tipo de emplazamiento y relación con la topografía previa.

Fuente: Adaptado de Cas & Wright, (1987)

D. Dimensiones de los Flujos Piroclásticos

Pueden variar en tamaño, desde volúmenes pequeños hasta varios miles de kilómetros cúbicos. Pueden cubrir distancias de unos pocos kilómetros hasta más de 100 km, y los grosores varían desde unos escasos metros hasta centenas. (Echevarria, 2008)

E. Variaciones Textuales

El espesor de los depósitos piroclásticos varía con la topografía. Los materiales piroclásticos ligeros no cambian de tamaño con la distancia, pero los litoclastos disminuyen en tamaño y cantidad a medida que se alejan del origen. (Echevarria, 2008)

- ✓ Texturas de Flujos de Ignimbritas y de Tobas:
- ✓ Texturas Transicionales entre Rocas Plutónicas y Volcánicas

F. Zonación Composicional

La zonación composicional es el reflejo del cambio o variación transitoria o de contactos netos de la naturaleza composicional magmática. Esta diferenciación puede ser visible (riolita - basalto) o además puede ser transitoria o de contactos netos. (Echevarria, 2008)

2.2.4. Propiedades Descriptivas de las Rocas Volcánicas

2.2.4.1. Características Físicas

- **Grado de Cristalinidad**

Las rocas ígneas pueden ser vítreas o cristalinas según su enfriamiento. El vidrio volcánico se forma con enfriamiento rápido, sin cristalización. El grado de cristalinidad se fundamenta en la proporción cristalina y vidrio (Castro-Dorado, 1989). Las rocas se clasifican en grupos según esta proporción:

Tabla 2: Características espectrales para óxidos de hierro, hidroxilos y vegetación.

Grado de Cristalinidad	Contenido
Holohialina	Más del 90 % en volumen de vidrio
Hipocristalina o Hialocristalinas	Proporción variable entre cristales y vidrio (menor al 90% en volumen).
Holocristalina	Más del 90 % en volumen de cristales

Fuente: Adaptado de Castro-Dorado, (1989)

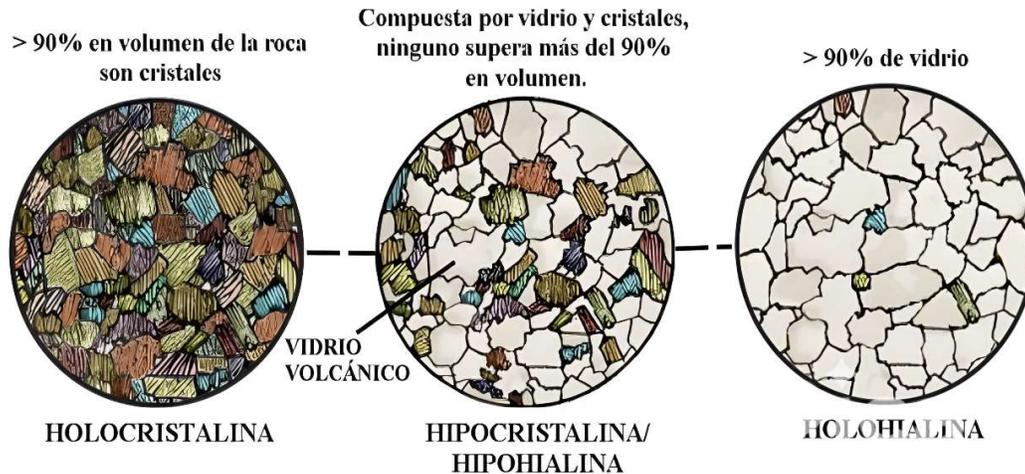


Figura 4: Clasificación de grado de cristalinidad

Fuente: Adaptado de Williams et al., (1954).

- **Color**

El índice cromático se basa en la proporción de minerales máficos presentes

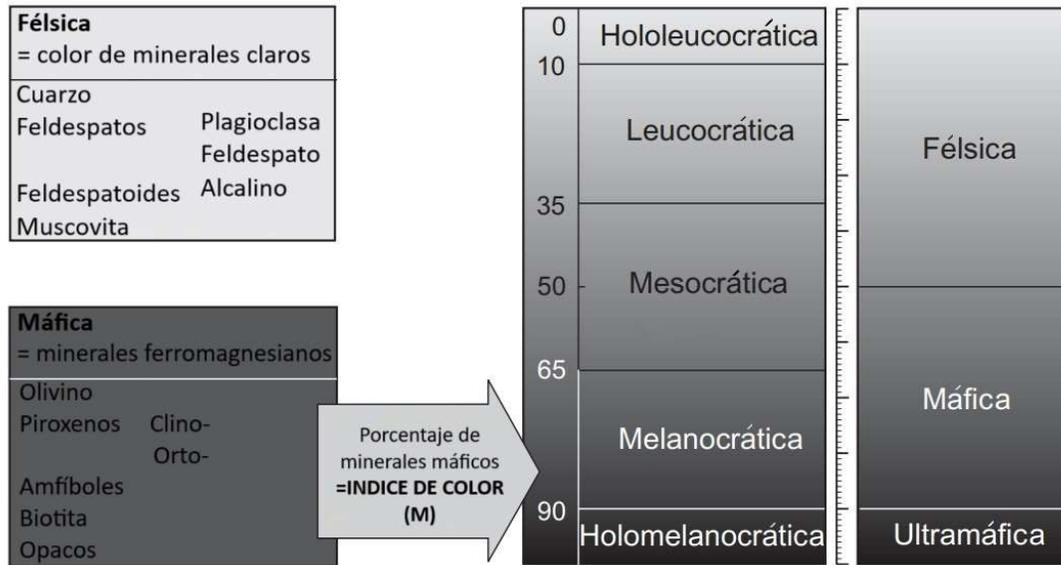


Figura 5: Índice de color según el porcentaje de volumen de máficos.

Fuente: Adaptado de Gill, (2010).

- **Tamaño de Grano**

Faneríticas: Cristales grandes (1-10 mm) que se forman cuando el magma se enfría lentamente a profundidad.

Afanítica: Minerales microscópicos, producto de un enfriamiento rápido del magma. En casos de enfriamiento lento se forman rocas faneríticas en profundidad.

- **Granularidad**

Se emplea para mostrar rocas homogéneas o heterogéneas, en lo que volumen se describe.

Se clasifica en: equigranular, inequigranulares.

- **Hábito y formas cristalinas**

Se clasifica en:

- ✓ Euhedrales: Estos minerales muestran múltiples facetas que permiten su identificación en el sistema cristalográfico. Caras cristalinas bien definidas.
- ✓ Subhedrales: Caras cristalinas formadas de manera parcial.
- ✓ Anhedrales: Caras poco definidas y granularidad visible.

2.2.4.2. Características Mineralógicas

Desde una perspectiva genética, los minerales pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- ✓ Minerales primarios - singenéticos: Originados por evoluciones magmáticas.
- ✓ Minerales pirogenéticos: Formados directamente a partir del magma fundido.
- ✓ Minerales de reacción: Resultantes de la interacción entre minerales pirogenéticos y el fundido residual.
- ✓ Minerales xenógenos: Por asimilar segmentos de rocas encajantes en el magma.
- ✓ Minerales secundarios o postmagmáticos: Creados por procesos hidrotermales, metasomáticos o metamórficos que impactan sobre la composición de la roca.

2.2.5. Secuencias Volcánicas

Formaciones rocosas depositadas durante intervalos geológicos, definiéndose por cambios tanto laterales como verticales en su morfología física. Estas unidades son nombradas según su proximidad a la fuente (central, proximal, distal), el entorno de deposición (subaérea, poco profunda subacuática, subglacial) y el ejemplar de depósito (secuencias de flujo piroclástico y lávicos, ignimbríticas o laháricas) (McPhie et al., 1993).

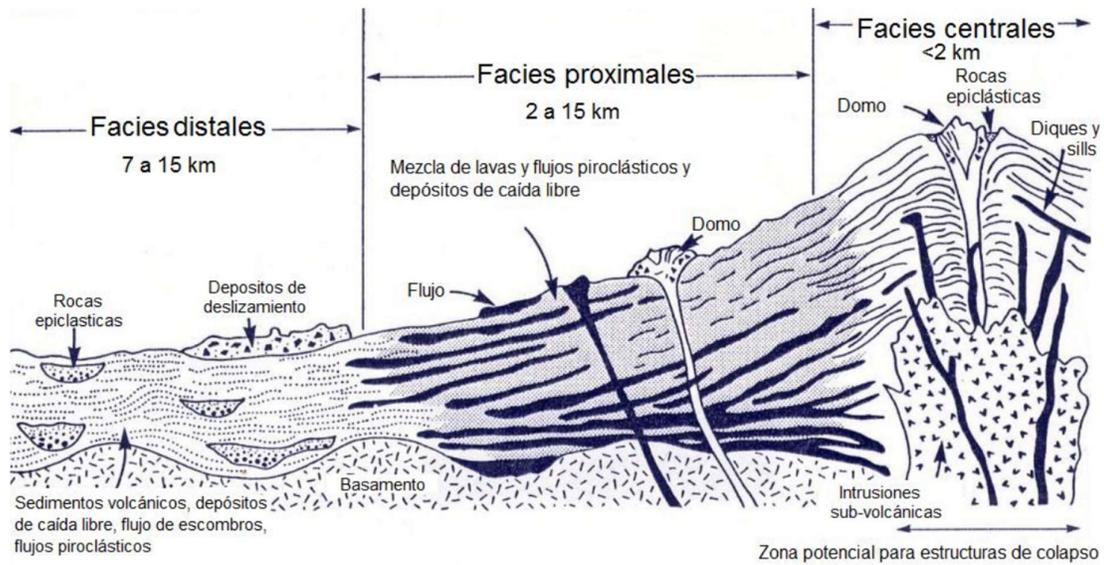


Figura 6: Representación esquemática de las facies de un volcán compuesto.

Fuente: Adaptado de Williams & McBirney, (1979)

2.2.6. Microscopía

La microscopía óptica, utilizando luz polarizada, es una técnica valiosa para identificar componentes en rocas y sedimentos. Permite analizar la composición mineral y las características texturales de las muestras, lo que ayuda a inferir su origen. Los fundamentos esenciales del análisis petrográfico incluyen la composición mineral, textura y estructuras microscópicas.

Esta técnica se realiza utilizando un microscopio de luz polarizada y se requiere que las partículas minerales sean lo adecuadamente finas para permitir el paso de la luz a través de secciones delgadas de las rocas u otros materiales. Estas secciones, comúnmente llamadas "láminas delgadas", pueden tener un grosor de aproximadamente 0,03 mm y dimensiones de alrededor de 5 cm x 3 cm (Ques y Tritlla, 1997)

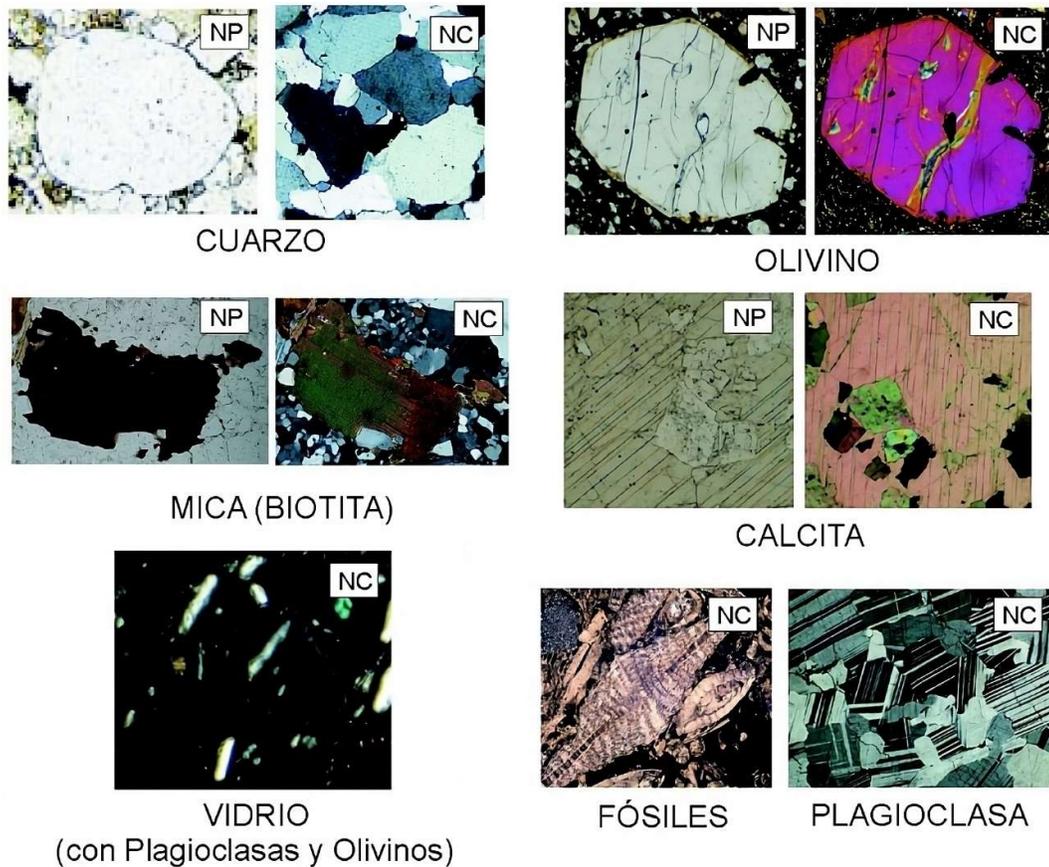


Figura 7: Fotomicrografías de propiedades ópticas en rocas y fósiles con nículos paralelos y cruzados
Fuente: Tomado de Acero et al., (2013).

2.2.7. Petrografía

La petrografía (del griego Πέτρος, petros, piedra; y γραφος, grafos, descripción) es una rama de las ciencias geológicas que se responsabiliza del estudio e investigación de las rocas, en especial en cuanto corresponde a aspectos descriptivos, su composición mineralógica y su estructura, especialmente a escala microscópica. Puede considerarse complementaria o parte de la petrología, disciplina más amplia que extiende su interés al origen (Castro, 2015).

2.2.7.1. Descripciones Petrográficas

Los análisis petrográficos abarcan la explicación óptica de las características físicas de la roca mediante la microscopía de luz polarizada. Estos estudios brindan valiosos datos de la naturaleza mineral de las rocas, sus formas, sus excesos minerales y relaciones espaciales; la

clasificación de las rocas a través de la petrografía permite esclarecer condiciones cualitativas y semicuantitativas de su formación y su evolución.

A. Textura

Es la relación espacial entre granos, tamaño granular y forma granular de los componentes de las rocas. Los apelativos texturales y los criterios van variando según el tipo de roca.

- **Textura Seriada (o Secuencial)**

Compuesta por cristales que se han desarrollado a partir de una disolución líquida o gaseosa. Los cristales de variedad de minerales se han desarrollado en distintos periodos de tiempo, por ello comprenderán distintas características morfológicas. Esto se aplica a todos los tipos de rocas, aunque es peculiar de rocas ígneas plutónicas y volcánicas.



Figura 8: Textura secuencial o seriada.

Fuente: Tomado de Universidad de Granada, (2017).

- **Textura Vítreo**

Pueden ser total o parcialmente constituidas por vidrio por cristalización y enfriamiento rápido de material magmático. Textura muy común en rocas volcánicas. El vidrio se observa como materia amorfa que envuelve a los posibles granocristales existentes.

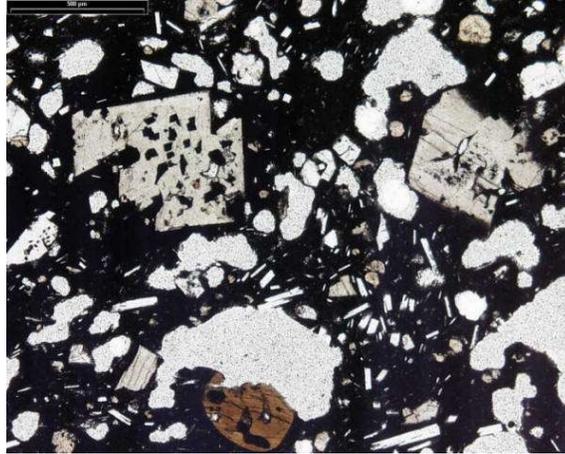


Figura 9: Textura vítrea

Fuente: Tomado de Universidad de Granada, (2017).

- **Textura Clástica**

Formadas por fragmentos de rocas o minerales, que han sido englobados o no en un material fragmentado más fino, y/o precipitado, y/o recrystalizado. Una textura particular de rocas sedimentarias detríticas, ciertas rocas volcánicas pueden presentarla. Los fragmentos de cualquier tipo (rocas y minerales) son los clastos; el material englobante es denominado matriz o cemento según constituya por material detrítico.

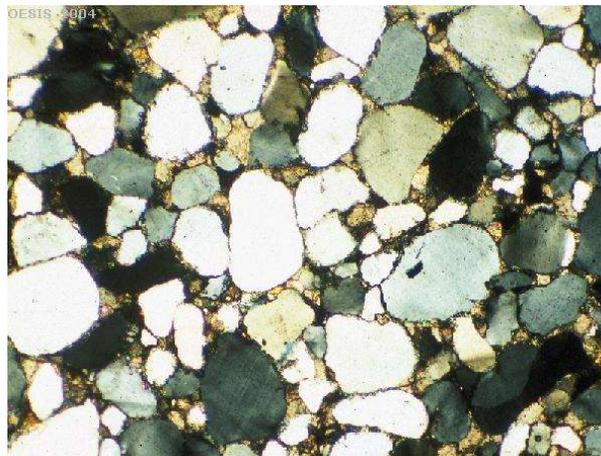


Figura 10: Textura clástica

Fuente: Tomado de Oxford Earth Sciences Image Store, (2006)

- **Textura Blástica**

Se constituye por material cristalizado que se ha formado en un medio sólido por cambios de minerales preexistentes. Este tipo de textura es perteneciente específicamente a las rocas metamórficas. Los cambios efectuados son transformaciones en las formas y los tamaños de los cristales constituyentes primarios y la formación de nuevos minerales que antes no existían. Los granos minerales recrystalizados o neoformados se llaman Blastos.

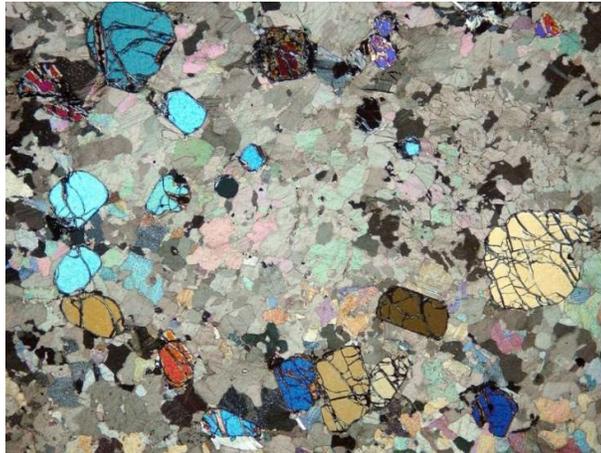


Figura 11: Textura blástica.

Fuente: Oxford Earth Sciences Image Store, (2024).

- **Textura Deformada**

Los materiales de la roca (cristales, clastos, blastos, etc.) están deformados. Se puede aplicar a cualquier roca, aunque suele ser típica de la mayoría de las rocas metamórficas ya que las transformaciones que sufren (cambios texturales y mineralógicos) suelen estar acompañadas de deformaciones que afectan los componentes de la roca.

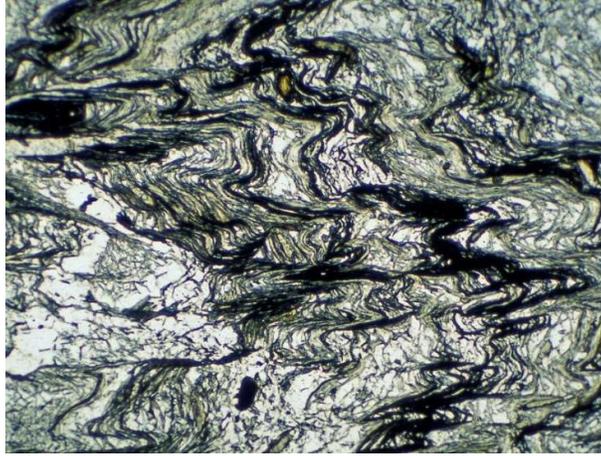


Figura 12: Textura deformada.

Fuente: Oxford Earth Sciences Image Store, (2024).

B. Estructuras

Se refiere a las relaciones mutuas de grupos o agregados de granos o cristales, tales como bandeo, foliaciones, esquistosidad, lineaciones, que se observan a escala mesoscópica, es decir, en los afloramientos en el campo (Franco y Gonzalo, 2000).

Para Castro-Dorado (1989), la estructura viene a ser la distribución y orden de los cristales o clastos dentro de un cuerpo rocoso, las estructuras principales vienen a ser a) homogénea o masiva, b) bandeada, c) bandeada curva, d) nodulosa, e) brechoide

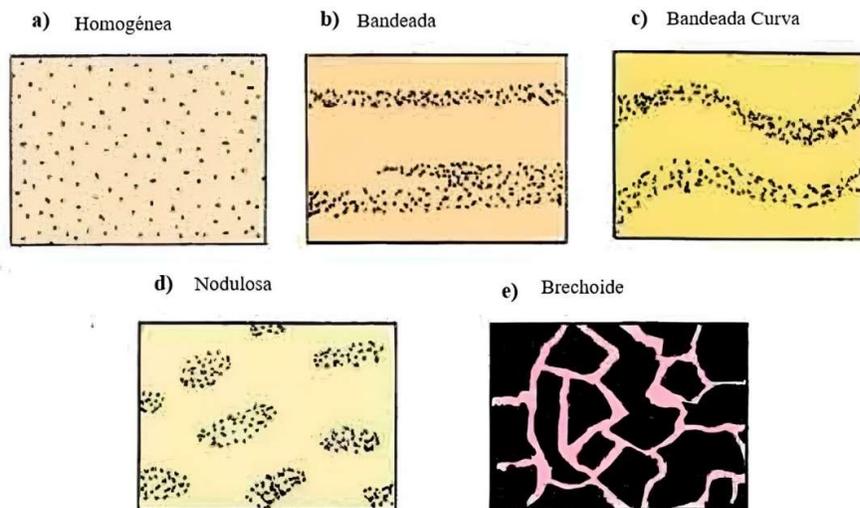


Figura 13: Principales estructuras.

Fuente: Tomado de Castro-Dorado, (1989).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Aglomerado: Variante piroclástica en la que más del 75% del volumen está compuesto por bombas subangulares o redondeadas (Fisher, 1966).

Cristales y Fragmentos de Cristales: Provenientes de magmas porfíricos, estos se encuentran en depósitos volcanogénicos. Pueden estar presentes tanto en depósitos volcánicos primarios (piroclásticos) como secundarios, debido a procesos de retrabajo sedimentario (Dávila, 2011).

Fragmentos Líticos: Provenientes de formaciones rocosas previas, rara vez encontrados en xenolitos. Pueden originarse a través de erupciones explosivas (litoclastos en depósitos piroclásticos) o por erosión de rocas preexistentes (piroclastos secundarios) (Dávila, 2011).

Secciones Delgadas: También conocidas como secciones delgadas, estas muestras consisten en rebanadas de roca con un espesor aproximado de 30 μm adheridas a una lámina de vidrio (portas) mediante resina epoxi. Luego, son cubiertas con otra lámina de vidrio para su estudio bajo un microscopio petrográfico (Hirsch, 2012).

Geoquímica: Análisis de la composición química de la roca con el fin de identificar pautas en la distribución de elementos que están espacialmente relacionados con la mineralización (Sinclair, 1991).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

3.1.1. Geográfica

El área de investigación se encuentra ubicada al SO de la ciudad de Cajamarca, perteneciente al cuadrángulo de Cajamarca carta 15f, delimitada por el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), Datum WGS-84, y está contenida dentro de los siguientes vértices, presentados en la Tabla 3.

Tabla 3: Vértices que delimitan el área de investigación

Vértices	Longitud	Latitud
1	9201100	735900
2	9201100	738600
3	9198600	738600
4	9198600	735900

3.1.2. Política

El área de investigación se encuentra ubicada en los centros poblados de Chilete y Los Laureles, que pertenecen al Distrito de Chilete, y están dentro del Departamento de Cajamarca, Provincia de Contumazá.

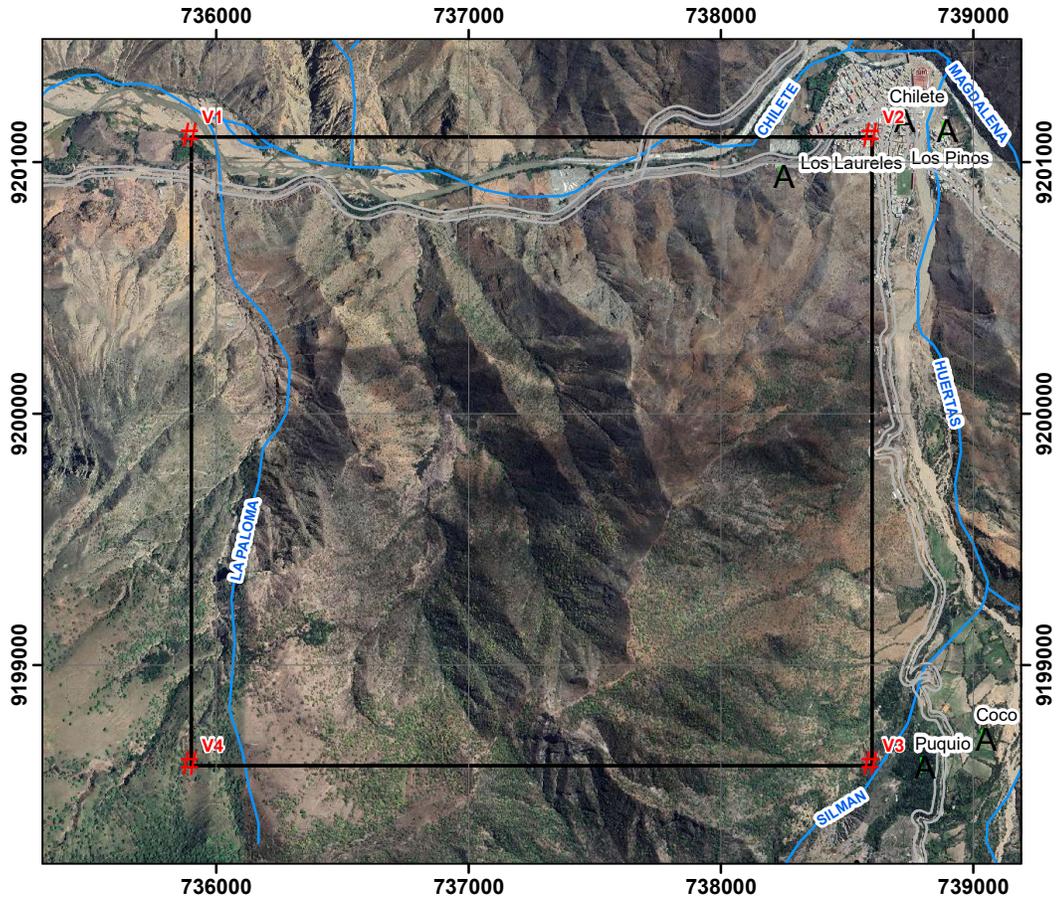


Figura 14: Vista del área de investigación delimitado por los vértices marcados en color rojo.

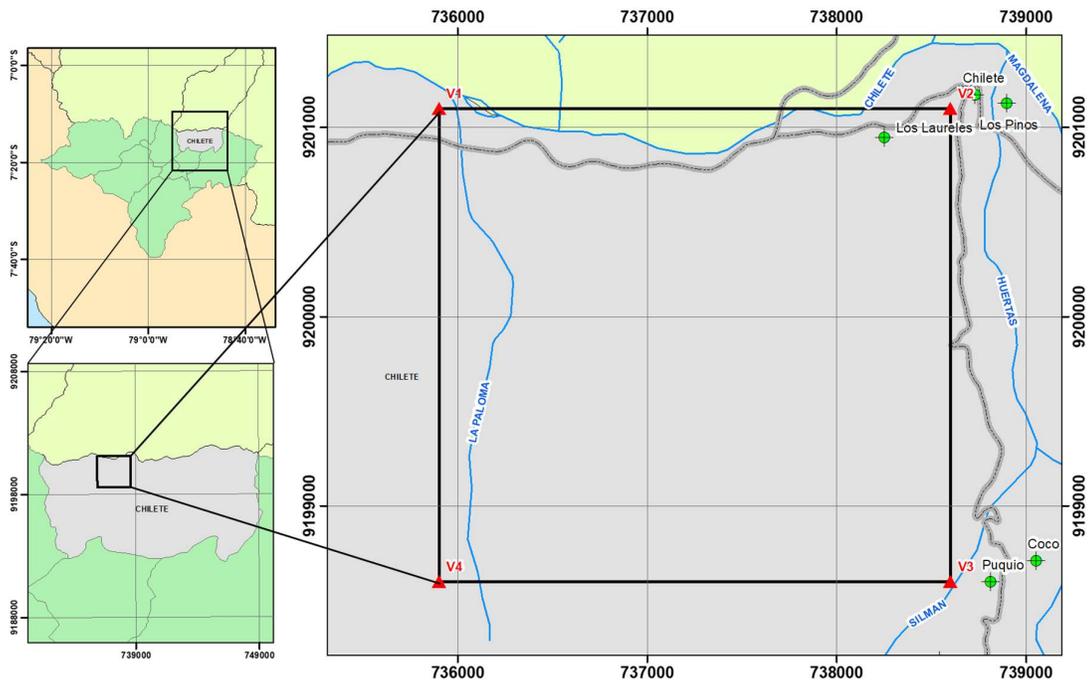


Figura 15: Ubicación política del área de investigación.

3.1.3. Accesibilidad

Para poder acceder al área de estudio se toma la carretera afirmada Cajamarca–Chilite; tomando como punto de partida la Av. Independencia de la ciudad de Cajamarca, considerando lo anterior se recorre hacia el SO una distancia de 85.3Km. con un tiempo aproximado de 2 hora con 04 minutos.

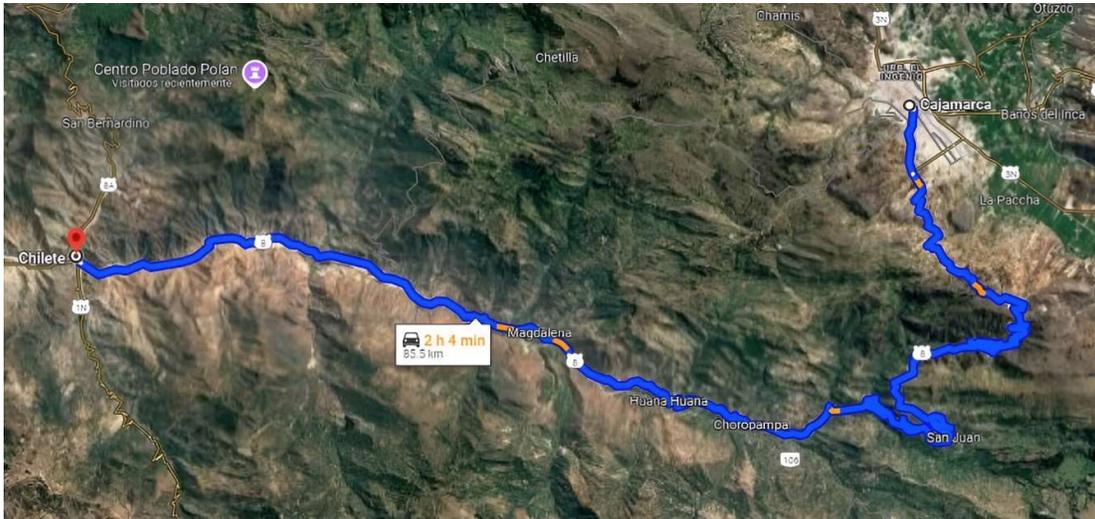


Figura 16: Imagen satelital indicando la ruta para llegar a la zona de investigación (color azul), con punto de partida en la Av. Independencia – Ciudad de Cajamarca.

Fuente: Adaptado de Google Earth, (2024).

3.2. PROCEDIMIENTOS

3.2.1. Etapa Preliminar al Trabajo de Campo

En esta etapa se lleva a cabo la recopilación de información necesaria y previa para el trabajo de campo; las fuentes a utilizar son libros, boletines informativos, revistas informativas, artículos de investigación relacionados al tema.

Posteriormente, se generó los planos topográfico y geológico a escala 1/20000; para la geología se tomó como fuente de información cartográfica el cuadrángulo que alberga la zona de estudio (Cajamarca – 15f), esto extraído de la plataforma virtual GEOCATMIN; asimismo, para generar el plano topográfico se descargó un DEM de resolución 12.5m del satélite ALOS PALSAR del portal web Alaska Satellite Facility (ASF) y para la obtención de imágenes satelitales de alta resolución se usó la plataforma SAS.Planet.

3.2.2. Etapa de Campo

Comprendió la delimitación, ubicación y reconocimiento del afloramiento del Grupo Calipuy, con ayuda del plano topográfico e imagen satelital, luego se realizó algunas observaciones y anotaciones puntuales tales como ubicación, elevación, azimut, buzamiento, tipo de roca; conjuntamente con la toma de muestras con su respectiva codificación.

3.2.3. Metodología

Aplicada: La metodología de investigación tiene una finalidad aplicada que se enfoca en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación, además del uso de nuevas tecnologías que permitan el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico.

Descriptiva: La investigación describe los parámetros que influyen en la caracterización petromineralógica de las rocas ígneas del Grupo Calipuy.

Cualitativa: La investigación induce principios explicativos a partir de los eventos observados.

Transversal en el tiempo: Ya que el desarrollo de la investigación considera periodos de tiempo adecuados para su análisis en conjunto de las variables que se consideran en la presente investigación, se sintetiza en la Tabla 4.

Tabla 4. Metodología de la investigación.

Clasificación	Tipo de investigación
Según su objetivo	Aplicada.
Según el nivel de profundización del objetivo	Descriptiva
Según su naturaleza	Cualitativa.
Según el periodo	Transversal en el tiempo

Fuente: Adaptado de Supo, (2015).

3.1.3.1. Población de estudio

La población de estudio se considera a las rocas ígneas del Grupo Calipuy, ubicadas en los centros poblados de Los Laureles y Chilete.

3.1.3.2. Muestra

Puntos de muestreo de las rocas ígneas del Grupo Calipuy, ubicadas en los centros poblados de Los Laureles y Chilete.

3.1.3.3. Unidad de Análisis

Composición litológica, composición química, textura, cristalinidad, color e índice de reflectancia y absorción.

3.2.4. Identificación de Variables

Para la investigación se ha determinado las siguientes variables, como variable independiente: rocas ígneas y grupo Calipuy y como dependiente: petromineralogía. (Ver Tabla 5, cuadro de variables):

Tabla 5. Cuadro de variables.

Variable Independiente (Causa)	Variables Dependientes (Efecto)
Rocas ígneas del Grupo Calipuy	Petromineralogía

3.3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

Para la elaboración de la presente tesis se ha considerado los siguientes instrumentos y equipos:

- ✓ GPS Navegatorio: para georreferenciación
- ✓ Rayador de dureza: prueba de dureza en los minerales

- ✓ Brújula tipo Brunton: medición de rumbo y buzamientos.
- ✓ Lupas (10x, 20x) para la vista a detalle de los minerales
- ✓ Libreta de Campo: anotación de las estaciones.
- ✓ Lápices y Colores para anotación y ubicación de estaciones
- ✓ Picota de Geólogo
- ✓ Bolsa para Muestras.
- ✓ Planos Temáticos 1/20000.
- ✓ Comba y cincel: extracción de muestras
- ✓ Protactor Multiescala.
- ✓ Etiquetas de identificación de muestras.
- ✓ Ácido Clorhídrico (HCl).
- ✓ Cámara Fotográfica Digital 12mp.
- ✓ Microscopio óptico con analizador x30 x50 x100
- ✓ Reporte de corte de muestras y estudio microscópico.

3.4. GEOLOGÍA

3.4.1. Geología Regional

3.4.1.1. Grupo Calipuy

- **Volcánico Chilete**

Litológicamente consiste de intercalaciones tobáceas, areniscas tobáceas, conglomerados lenticulares y materiales volcánicos, mayormente andesíticos, bien estratificados. La proporción volcánica es mayor y presenta matices que van desde el verde- violáceo hasta el gris claro. Las areniscas son generalmente rojizas y muchas veces incluyen granos casi enteros de feldespatos. En la base los conglomerados son de cuarcita. El espesor del volcánico Chilete es aproximadamente de 800 m. (Cruzado, 2009)

- **Volcánico San Pablo**

Esta unidad consiste en gruesos estratos de rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior de una espesa secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados. Alcanza un espesor de 900 m. El volcánico san pablo yace con suave discordancia erosional al volcánico Chilete e infrayace al volcánico Huambos en igual relación. (Cruzado, 2009)

3.4.2. Geología Local

3.4.2.1. Grupo Calipuy

- **Volcánico Chilete**

El volcánico Chilete se presenta en el área de estudio como una secuencia con predominancia de piroclastos que aflora en el distrito del mismo nombre y que se extiende por Contumazá, Guzmango, y también entre Otuzco y Charat, donde no ha sido diferenciada en el cartografiado del Grupo Calipuy.

Litológicamente en el área de investigación se observa intercalaciones tobáceas, aglomerados mayormente andesíticos con buzamientos que varían de 25° a 30°. El afloramiento volcánico presenta matices que van desde el verde-violáceo.

Las rocas de la secuencia Volcánica Chilete–Ayambra (54.8 +/- 1.8 Ma), están conformados por depósitos de flujos de lava andesítica intercalada con depósitos volcanoclásticos lahares y flujos de cenizas gris violáceos, con espesor aproximado de 800 m. (Navarro y Flores, 2007). Mientras (Reyes, 1985), manifiesta que son intercalaciones de tobas, areniscas tobáceas, aglomerados lenticulares y materiales volcánicos andesíticos que han sido retrabajados y bien estratificados lo que representa un magmatismo efusivo que siguió al emplazamiento del batolito de la costa.

El cartografiado en campo evidencia que la litología que conforma el Volcanico Chilete en esta zona de investigación está conformado por basamento rocoso volcánico, esto sugiere que existieron eventos eruptivos que se agrupan en dos secuencias volcánicas, el primero consiste en flujos de lava andesítica, intercalados con depósitos volcanoclásticos y flujos de cenizas gris violáceos y el segundo por secuencias de flujos de cenizas, intercalados con piroclastos de pómez, lahares y algunos flujos de lava andesítica, estas dos secuencias corresponden a los eventos explosivos y efusivos que tuvieron lugar en la zona de investigación.

El Volcánico Chilete en la zona de investigación está conformada por rocas andesitas de grano medio de textura afanítica, estas presentan un color gris verduzco con pseudoestratificación con Rb = 51°SW y Bz = 38°NW e intercaladas con depósitos volcanoclásticos. Estas rocas se relacionan al evento efusivo del Volcanico Chilete en la zona de investigación.

Se cartografió rocas con textura porfírica, presencia de cristales de augita (clinopiroxeno) y plagioclasas alteradas a carbonatos. La roca de textura porfírica tiene una matriz vítrea de composición intermedia lo que se identifica a la roca como un lamprófido rico en clinopiroxeno. Estas rocas están relacionadas con el segundo evento explosivo del Volcánico Chilete.

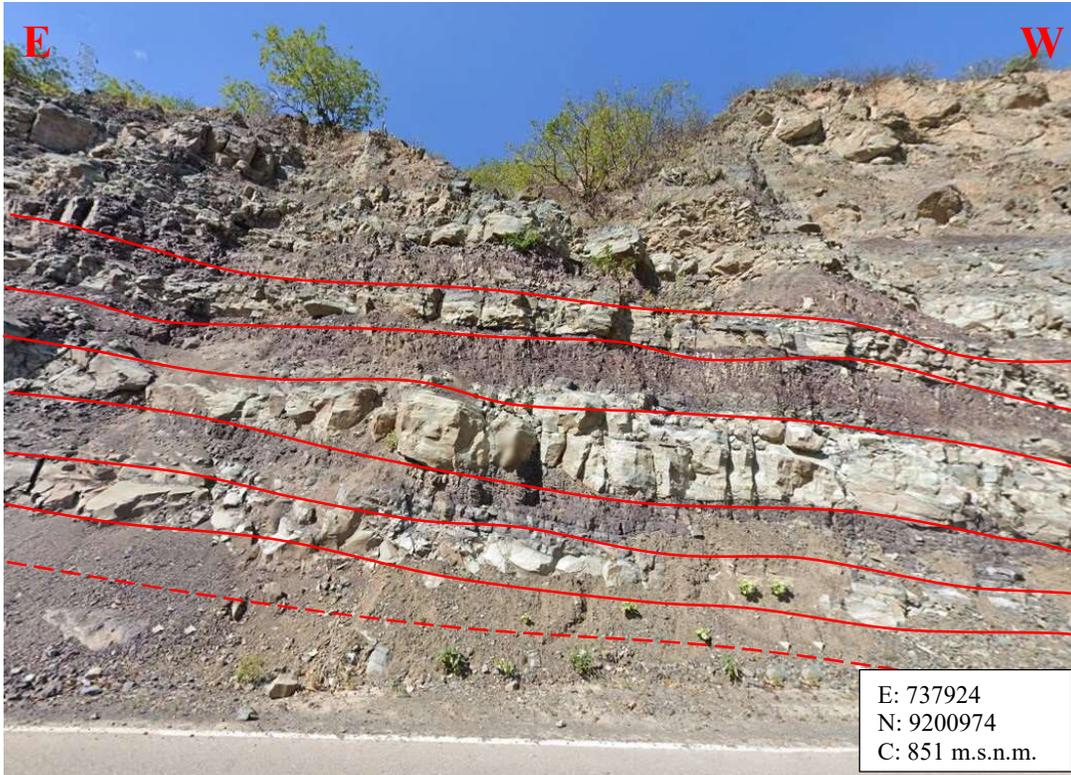


Figura 17: Intercalación de flujos de lava andesítica, con intercalación de depósitos volcanoclásticos que corresponden al primer evento eruptivo del Volcánico Chilete.



Figura 18: Macizo rocoso de la segunda secuencia eruptiva del Volcánico Chilete.

- **Secuencia Volcánica Chuquimango**

En la zona de investigación, identifiqué una secuencia de aproximadamente 75 metros de depósitos volcanoclásticos que reflejan una pausa en la actividad eruptiva local. Por encima, de forma concordante, se encuentra un flujo de lava andesítica con una estructura tabular, intensamente alterado y aclarado, que marca el inicio de una fase efusiva en el centro volcánico. Esta transición es seguida por depósitos de flujos piroclásticos compuestos de pómez y cenizas andesíticas, en los que observo cristales de plagioclasa y anfíbol; la pómez presenta una tonalidad blanca y una densidad notable, alcanzando un tamaño promedio de 3 cm.

La secuencia culmina con flujos piroclásticos de bloques y cenizas, también de composición andesítica, que contienen fragmentos líticos de textura porfírica y de naturaleza monomítica, acompañados por otro flujo de lava andesítica. Esta secuencia yace en una leve discordancia angular respecto a los depósitos subyacentes de Chilete-Ayambla y alcanza un espesor total de unos 450 metros, proporcionando una visión detallada de la evolución volcánica en el área.

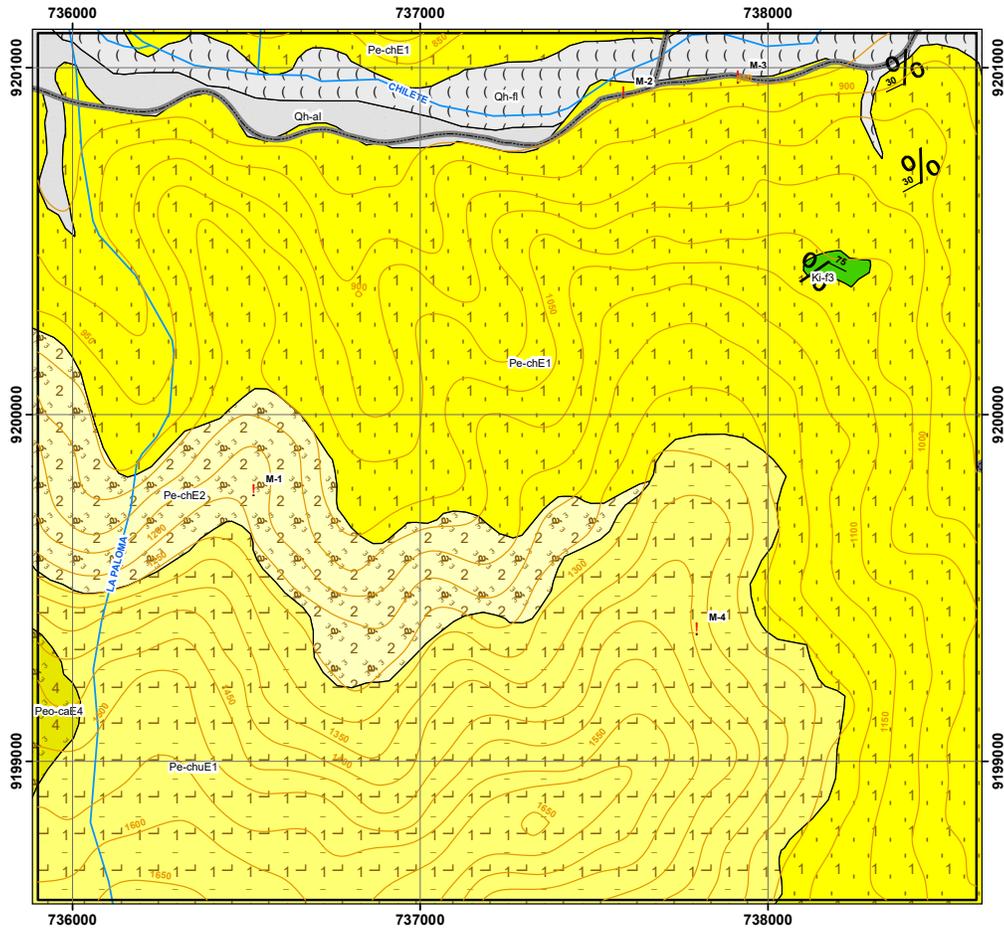


Figura 19: Mapa geológico con los puntos de toma de muestras.

3.5. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.5.1. Petromineralogía de la Zona de Estudio

Las muestras que se describirán a continuación son representativas de toda la zona de investigación y su ubicación se presenta en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6: Ubicación de muestras para análisis petromineralógico

Código de Muestra	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Elevación
M-1	736531	9199781	1179 m.s.n.m.
M-2	737596	9200928	846 m.s.n.m.
M-3	737924	9200974	851 m.s.n.m.
M-4	737806	9199382	1384 m.s.n.m.

A. Muestra 01

✓ Descripción Macroscópica

La muestra 01 pertenece a la segunda secuencia eruptiva del Volcánico Chilete y es una roca con textura porfírica con reacción débil al HCl, con presencia de plagioclasas.

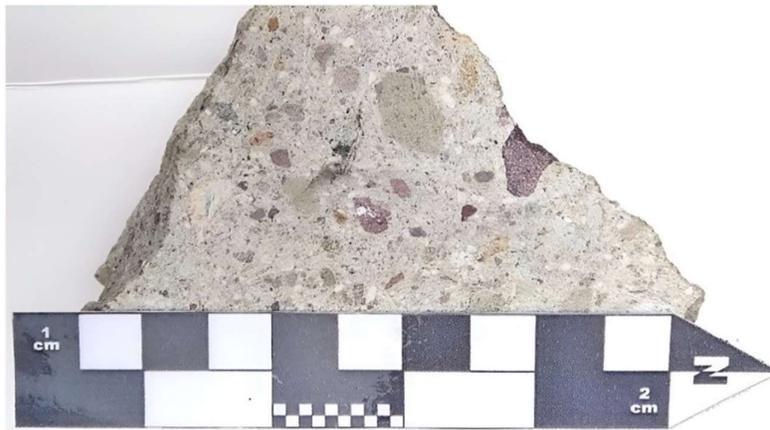


Foto 1: Muestra de mano de roca lampróvido con textura porfírica.

✓ Descripción Microscópica

- Clasificación: Lampróvido rico en clinopiroxeno (augita) y plagioclasas alteradas a carbonatos y sericita, con presencia de ocelos félsicos.
- Textura: Porfírica, con matriz vítrea de composición intermedia.
- Minerales:
 - Clinopiroxeno (augita)
 - Cloritas (alteración de la augita)
 - Plagioclasa
 - Sericita (alteración de la plagioclasa)
 - Carbonatos (alteración de la plagioclasa)

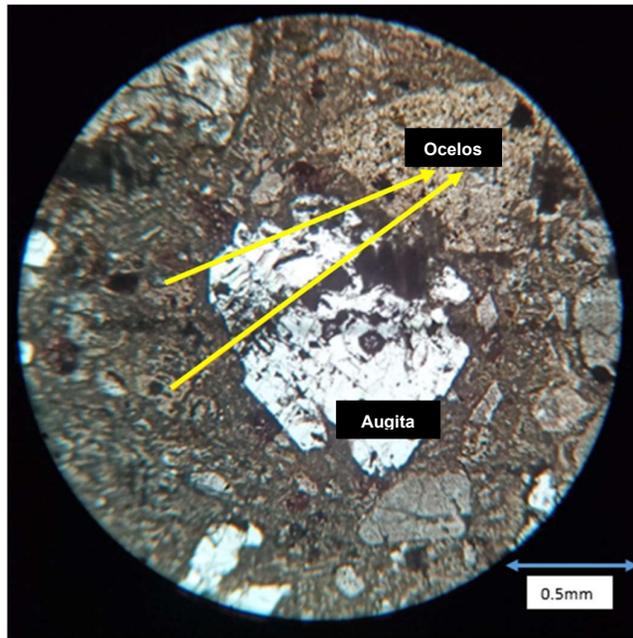


Figura 20: Fotomicrografía sin analizador mostrando un cristal de Augita xenomorfa mostrando dos familias de exfoliación que cortan formando ángulos rectos, rodeada por una matriz oscura de vidrio volcánico con presencia de ocelos de composición félsica.

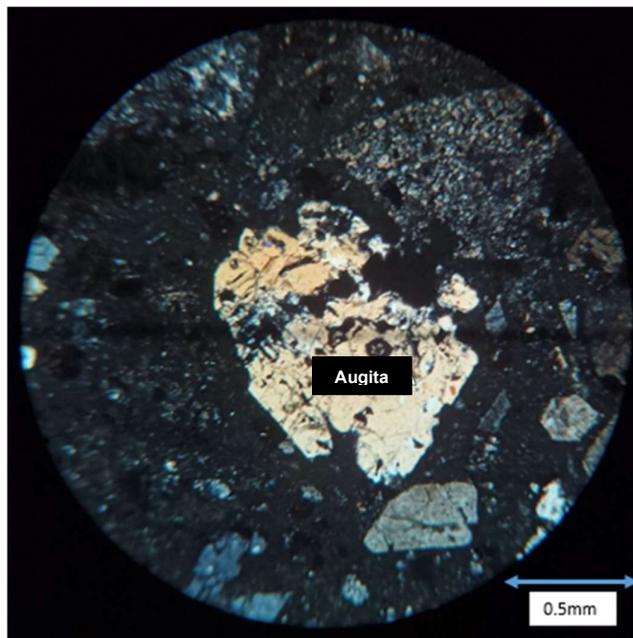


Figura 21: Misma fotografía anterior, pero con el analizador, donde se muestra el color de interferencia pardo amarillento de primer orden de la augita.

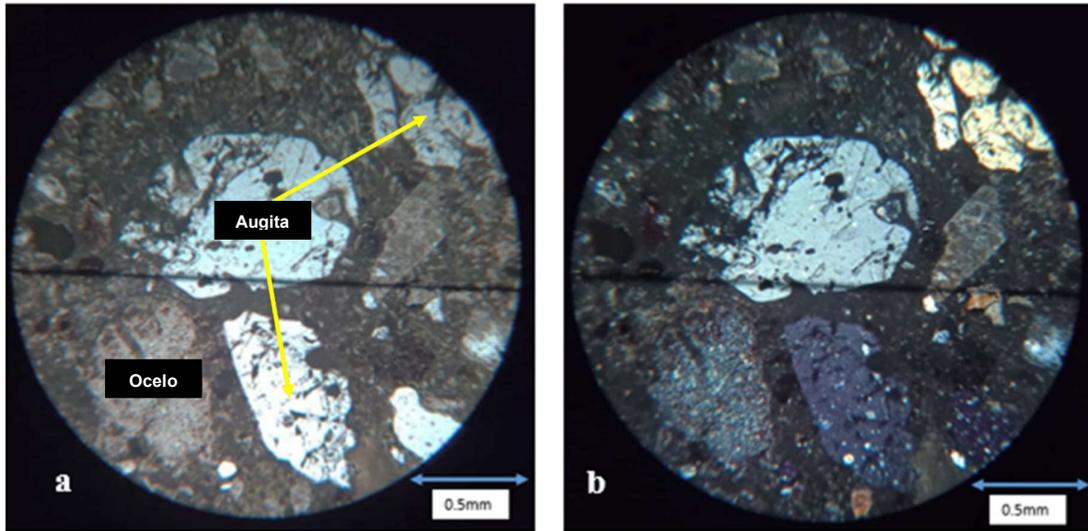


Figura 22: a) Fotomicrografía sin analizador mostrando cristales automorfos y xenomorfos de augita, rodeados por una matriz oscura de vidrio volcánico con presencia de ocelos de composición félsica. b) Misma fotografía anterior, pero con el analizador.

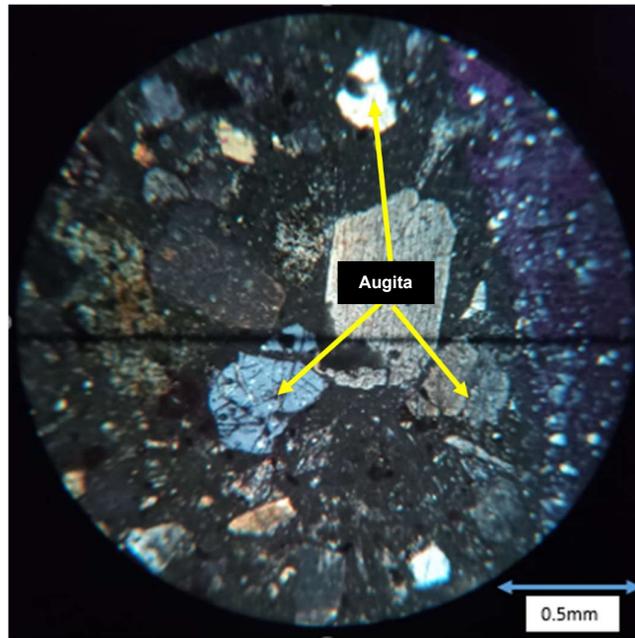


Figura 23: Fotomicrografía con analizador mostrando cristales xenomorfos de augita, rodeados por una matriz oscura de vidrio volcánico.

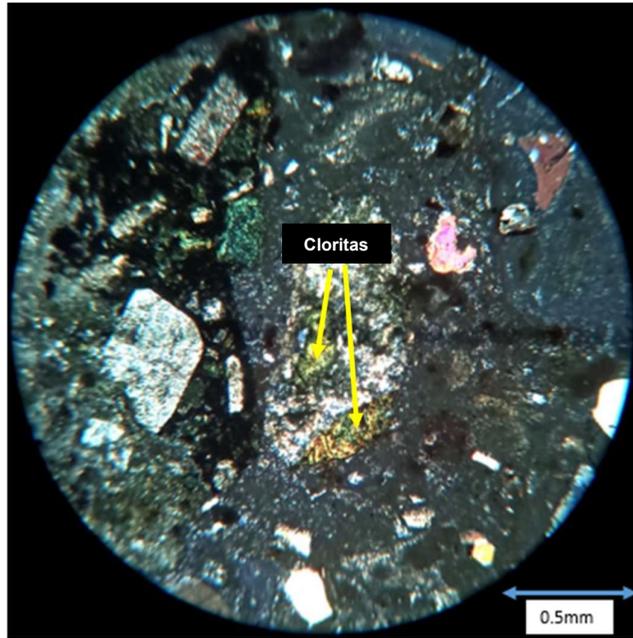


Figura 24: Fotomicrografía con analizador mostrando en el centro un cristal automorfo de augita alterándose a cloritas.

Se muestran colores de interferencia grises de primer orden. En el cristal central se muestra claramente el maclado polisintético (Fig. 25.a), en el centro un cristal de plagioclasa alterándose a sericita que muestra colores de interferencia elevados en tonos amarillos. Encima de la plagioclasa se muestra un cristal xenomorfo de titanogaugita que muestra colores de interferencia elevados con tonos violáceos (Fig. 25.b)

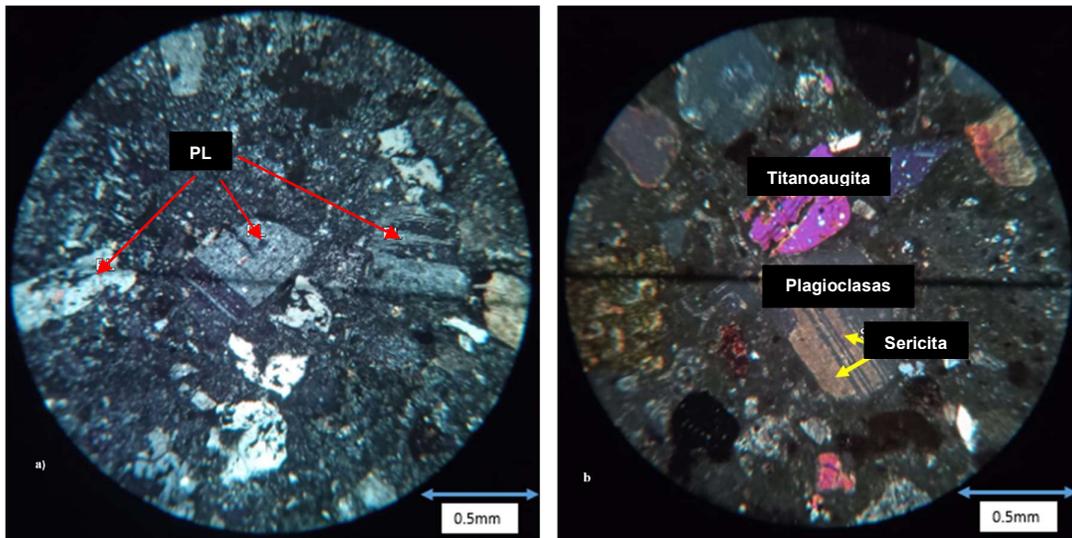


Figura 25: a) Fotomicrografía con analizador mostrando en la parte central cristales subautomorfos de plagioclasa (PL). b) Cristal de plagioclasa (PL) y titanogaugita visto con analizador.

En las muestras se identificaron moldes remanentes de plagioclasas (MOLDE-PL) alteradas a sericita (SER) y carbonatos (CB) con colores de interferencia elevados de tercer orden en tonos amarillos (Fig.26.a). En Fig. 26.b el detalle un oculo félsico con pequeños cristales prismáticos de plagioclasas con colores de interferencias grises claros de primer orden, muchos de estos cristales se están alterando a sericita (SER).

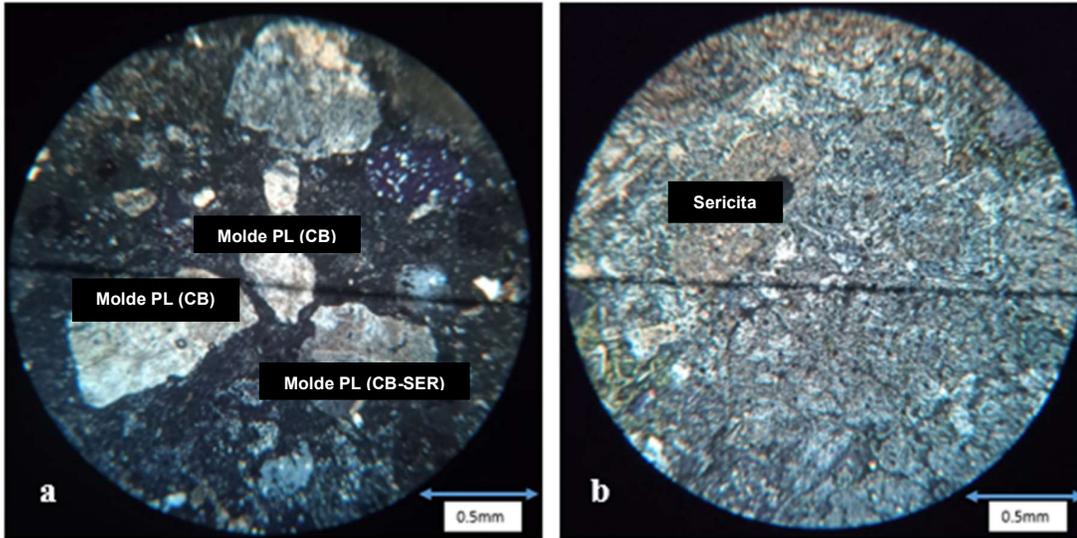


Figura 26: Fotomicrografía con analizador de plagioclasas, sericita y carbonatos.

Se muestra en Fig. 27.a en el centro un oculo de matriz félsica, con pequeños cristales prismáticos alargados de anfíboles (ANF) y piroxenos (PX), en comparación a la muestra anterior en la Fig.27.b se muestra sin analizador, identificándose minerales opacos relacionado con zonas de oxidación, probables cristales de magnetita.

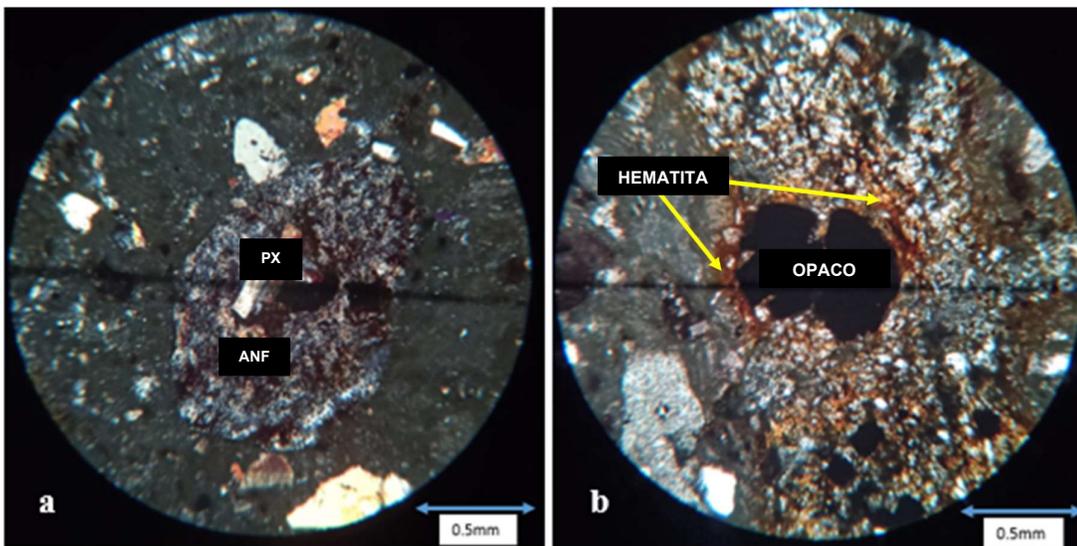


Figura 27: Fotomicrografía con analizador de piroxenos, anfíboles, hematita y minerales opacos.

B. Muestra 02

✓ Descripción Macroscópica

La muestra 2 pertenece a la primera secuencia eruptiva del Volcánico Chilete y se describe como una roca volcánica de textura afanítica con tonalidades de color gris oscuro y verde oscuro.



Foto 2: Muestra de mano de roca andesita con tonalidades de color gris oscuro y verde oscuro.

✓ Descripción Microscópica

- Clasificación: Andesita con presencia de fenocristales de cuarzo anhedral aislados y microfracturas irregulares rellenas de cuarzo
- Textura: Microporfírica, con matriz vítrea verdosa de composición intermedia (microcristales de piroxenos, anfíboles y plagioclasas), con presencia de ocelos rellenos de un mineral opaco.
- Minerales:
 - Cuarzo.
 - Feldespatos, piroxenos y anfíboles en la matriz.

Sin el analizador en la Fig. 28.a se observan cristales de cuarzo (Qz) anhedrales, con distribución unimodal no pleocroicos de color blanco, rodeados por una matriz verdosa de microcristales de anfíboles y piroxenos, también se observan vacuolas vacías (VV), generadas por la salida de gases del magma, en la misma vista con el analizador (Fig. 28.b) se muestra colores de interferencia amarillos verdosos de la matriz (MTZ) típicos de los piroxenos y anfíboles respectivamente.

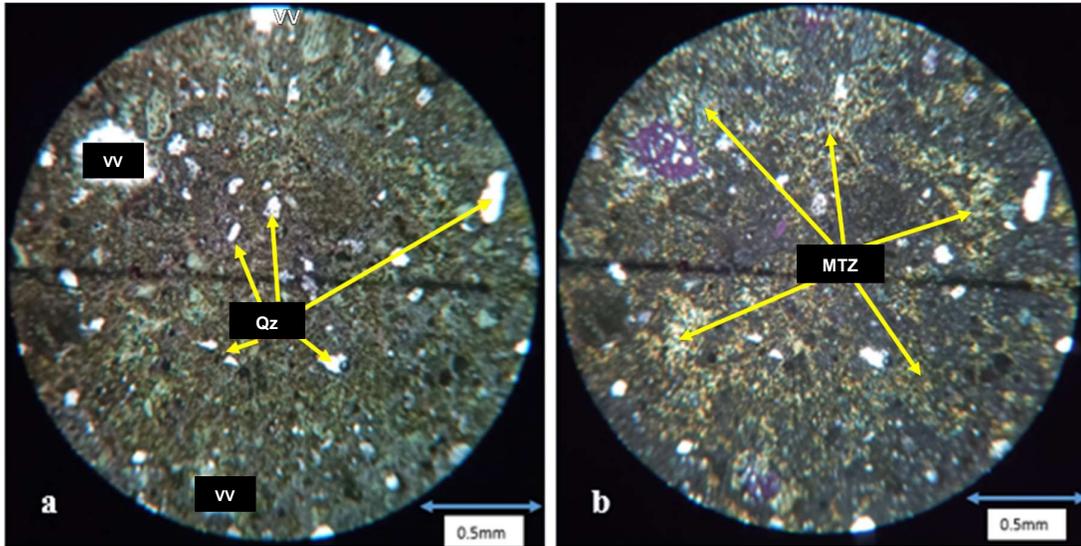


Figura 28: a) Fotomicrografía sin analizador mostrando cristales de cuarzo (Qz) anhedrales. b) Misma fomicrotografía anterior, pero con el analizador.

Se identificaron (Fig. 29) cristales anhedrales de cuarzo (Qz) con colores de interferencia grises de primer orden. Además, se puede observar a mayor detalle la matriz (MTZ) compuesta por pequeños cristales prismáticos alargados de piroxenos y anfíboles mostrando colores de interferencia amarillo – verdosos del segundo orden.

En la Fig.30 se muestra abundantes cristales anhedrales de cuarzo (Qz) con colores de interferencia grises y amarillos de primer orden. Además, se puede observar la presencia de una venilla irregular rellena de cuarzo (Qz) en la cual se observan cristales anhedrales de cuarzo (Qz) con colores de interferencia grises y amarillos de primer orden. Por último, se puede observar presencia de ocelos (OC) rellenas de un mineral aparentemente opaco.

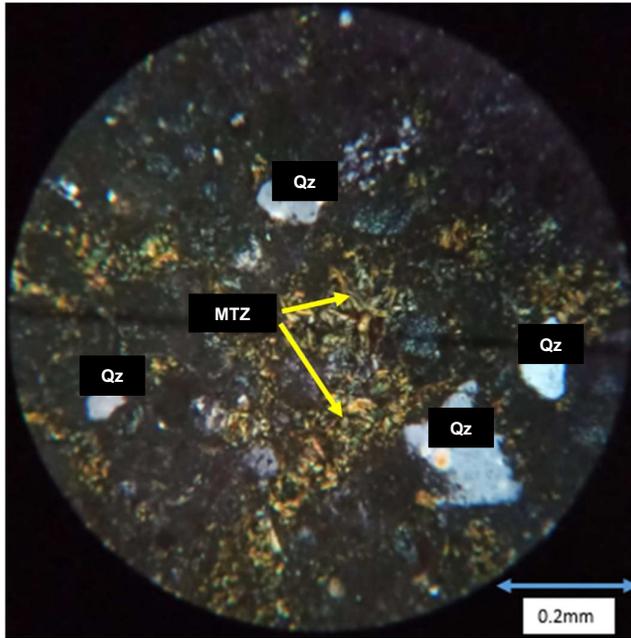


Figura 29: Fotomicrografía a 100X, con analizador, donde se muestran cristales anhedrales de cuarzo (Qz).

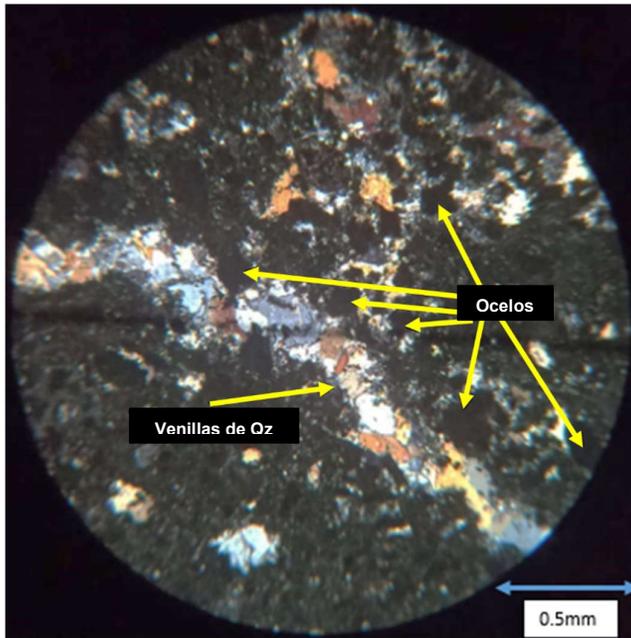


Figura 30: Microfotografía de cristales anhedrales de cuarzo (Qz) con colores de interferencia grises y amarillos de primer orden

C. Muestra 03

✓ Descripción Macroscópica

La muestra 03 corresponde al primer evento de la secuencia eruptiva del Volcánico Chilete y se lo describe como un aglomerado constituido por clastos con tamaños promedios mayores a un centímetro, de origen sedimentarios e ígneos, unidos por un cemento de tonalidad verduzca.



Foto 3: Muestra de mano, se encuentra constituida por clastos de origen sedimentario e ígneo.

✓ Descripción Microscópica

- Clasificación: Aglomerado con fragmentos redondeados de rocas de textura porfírica alteradas de origen andesítico y areniscas sedimentarias de grano fino.
- Textura: Porfírica de los clastos y matriz de un material fino isotrópico con sectores con presencia de minerales de alteración propilítica.
- Alteración hidrotermal: Propilítica de alta temperatura en parte de la matriz y en algunos clastos.
- Minerales en los clastos y en la matriz:
 - Ortopiroxeno.
 - Epidota (alteración de piroxenos).
 - Actinolita en parte de la matriz.

- Plagioclasas.
- Sericita (alteración de la plagioclasa).
- Carbonatos (alteración de la plagioclasa).
- Cuarzo (en las areniscas y finas venillas en las areniscas).

Se observan en la Fig. 31 plagioclasas (PGL) con alteración hidrotermal con colores de interferencia amarillos y violetas del segundo y tercer orden por presencia de sericita (SER) rodeados de una fina matriz vítrea también alterada, también hay presencia de minerales opacos (OP).

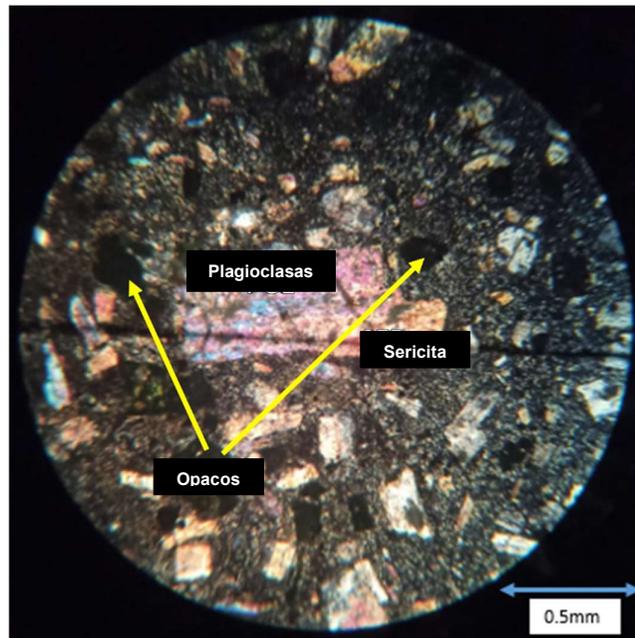


Figura 31: Fotomicrografía de los clastos con analizador mostrando plagioclasas (PGL) con alteración hidrotermal.

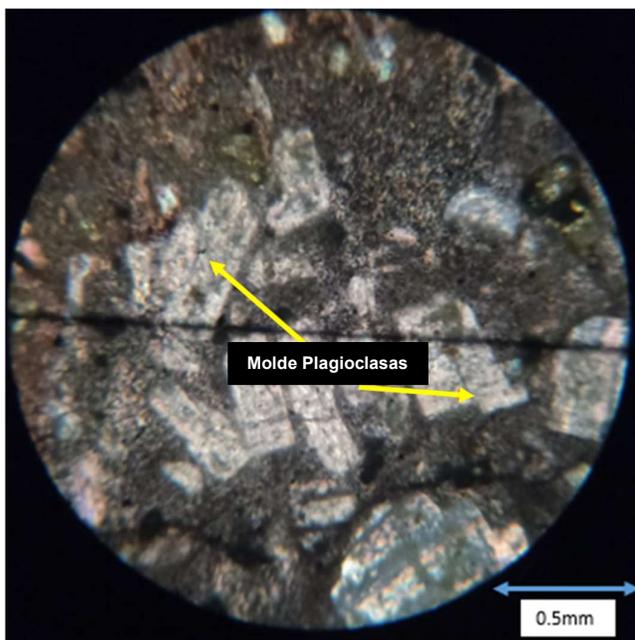


Figura 32: Fotomicrografía de los clastos con analizador mostrando moldes remanentes de plagioclasas (MOLDE-PGL) con colores de interferencia elevados de tercer orden en tonos amarillos.

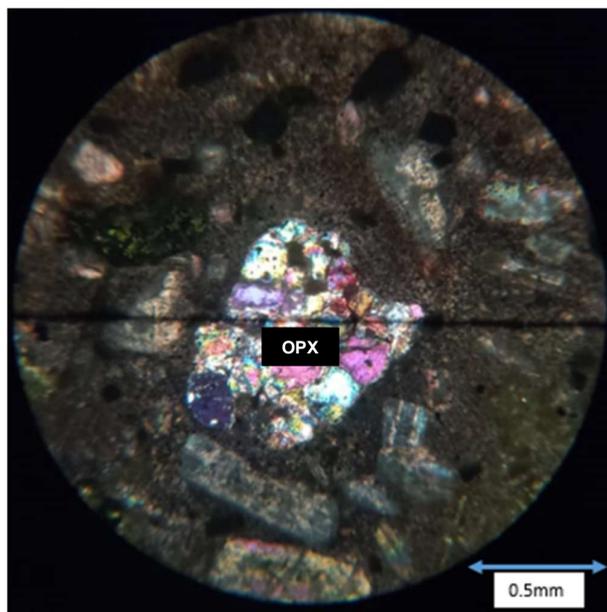


Figura 33: Fotomicrografía de los clastos con analizador mostrando cristales xenomorfos de ortopiroxenos (OPX), rodeados por cristales de plagioclasa alterados a sericita.

En la Fig. 34.a en el centro un cristal de actinolita (ACT) mostrando colores de interferencia bajos verdosos amarillentos de segundo orden, se puede observar el hábito fibroso acicular de la actinolita, vista la misma muestra al 100X en la Fig. 34.b en el centro el mismo cristal de actinolita (ACT) mostrando colores de interferencia bajos verdosos amarillentos de segundo orden, se puede observar el hábito fibroso acicular.

En una muestra sin analizador se identificó en el centro la formación de cristales de epidota (EP) aparentemente por la alteración de un cristal de piroxeno (por el molde prismático hexagonal), se muestra el color típico amarillento verdoso de la misma. (Ver Fig. 35)

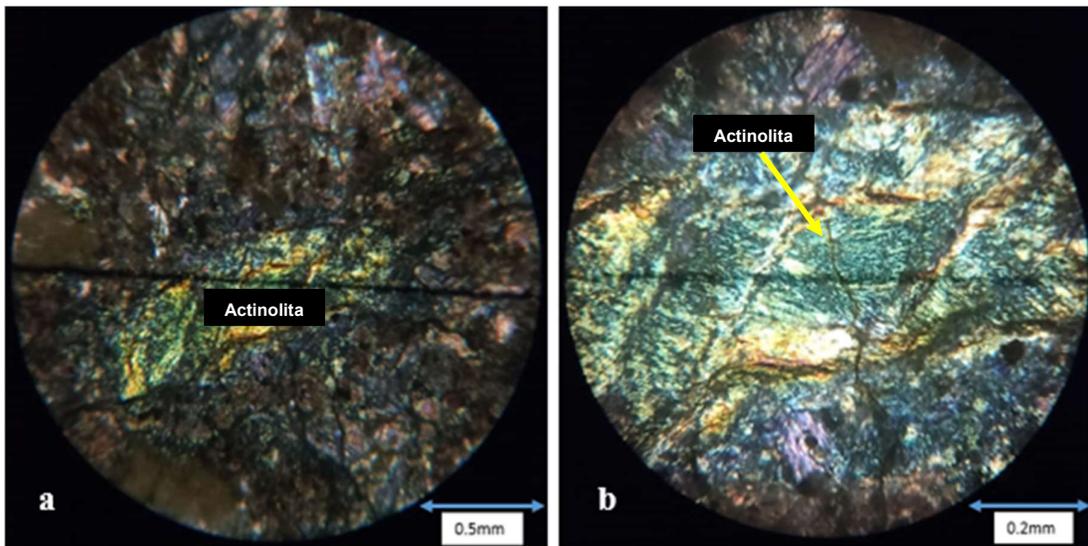


Figura 34: a) Fotomicrografía con analizador b) Fotomicrografía con analizador al 100X.

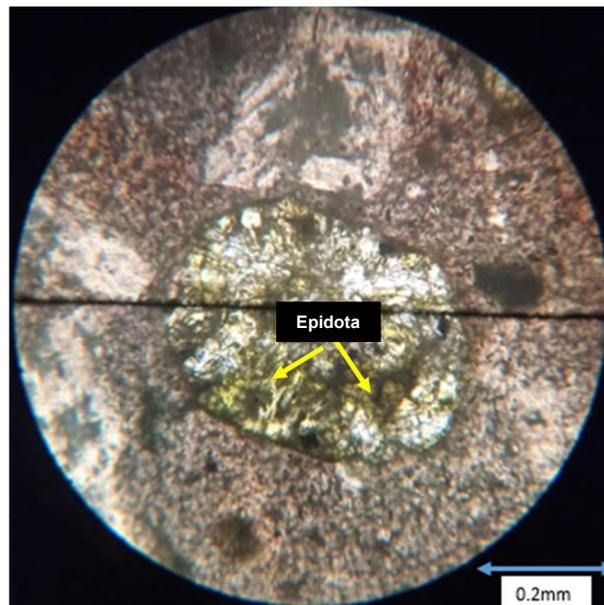


Figura 35: Fotomicrografía de una cristal de epidota al 100X.

Fotomicrografía a 100X (Fig. 36), con analizador mostrando en el centro la formación de cristales de epidota (EP) aparentemente por la alteración de un cristal de piroxeno (por el molde prismático hexagonal), se muestra fuertes colores de interferencia variados del tercer orden (amarillentos verdosos – celestes violáceos), característicos de la epidota. Un clasto de arenisca de grano fino, mostrando pequeños granos de cuarzo con colores grises amarillentos de primer orden, se pueden observar microvenillas rellenas de cuarzo (QZ) dentro de la arenisca. (Fig. 37)

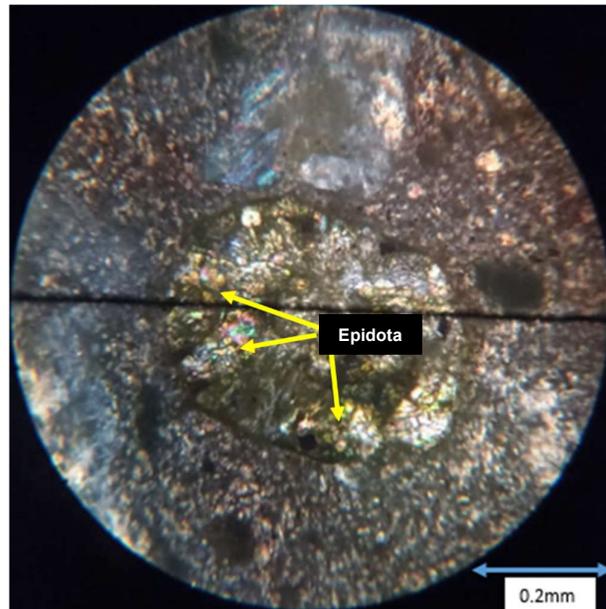


Figura 36: Fotomicrografía a 100X, con analizador mostrando en el centro la formación de cristales de epidota (EP).

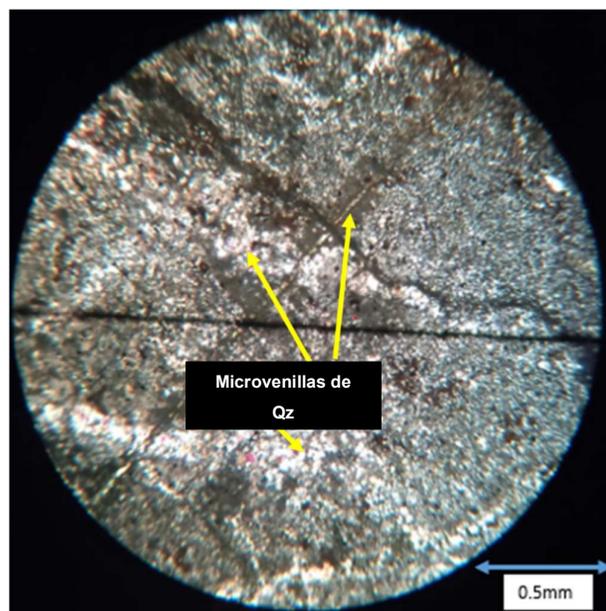


Figura 37: Fotomicrografía con analizador de un clasto de arenisca de grano fino.

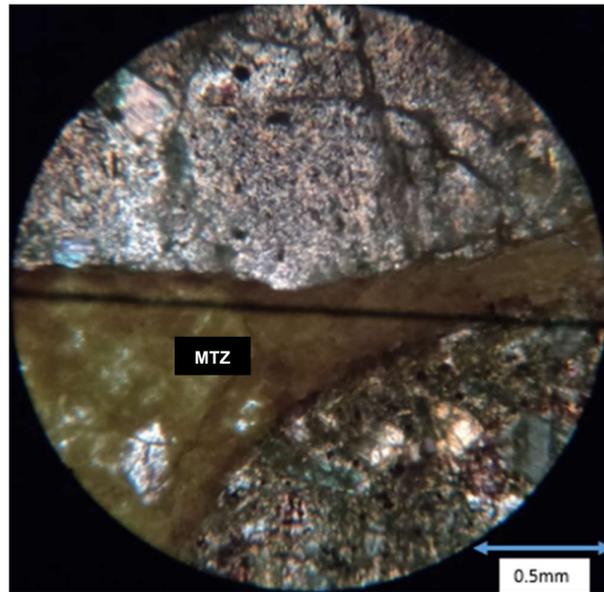


Figura 38: Fotomicrografía con analizador mostrando donde se muestra en detalle el aspecto fino e isotrópico de parte de la matriz (MTZ) de la brecha, de un color marrón verdoso, rodeado de un material muy fino alterado.

D. Muestra 04

✓ **Descripción Macroscópica**

La muestra 4 es una toba volcánica conformada por la acumulación de cenizas con presencia de plagioclasa, hornblenda y piroxenos.

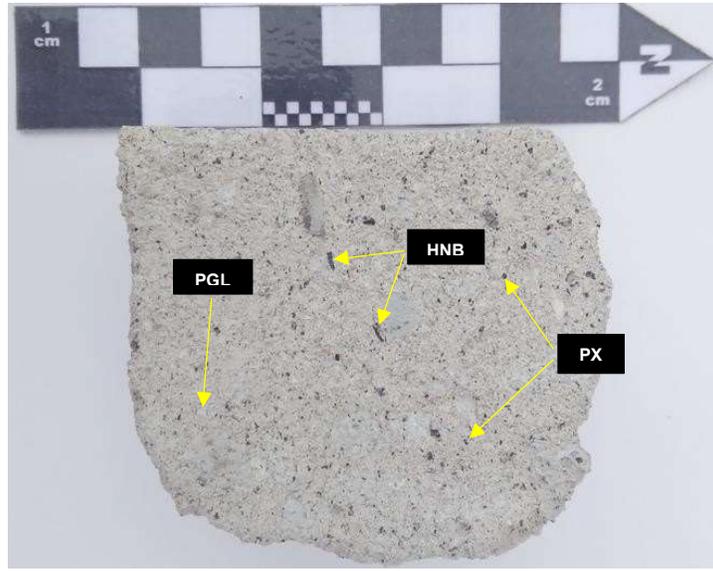


Foto 4: Muestra de mano de toba volcánica de tonalidad blanquecina.

✓ **Descripción Microscópica**

- Clasificación: Toba volcánica de composición intermedia.
- Textura: Hialocristalina vitrofidica, con presencia de cristales grandes de plagioclasa, hornblenda y piroxenos, rodeados por una matriz fina vidriosa de composición félsica.
- Minerales en los clastos y en la matriz:
 - Plagioclasa
 - Hornblenda
 - Piroxeno

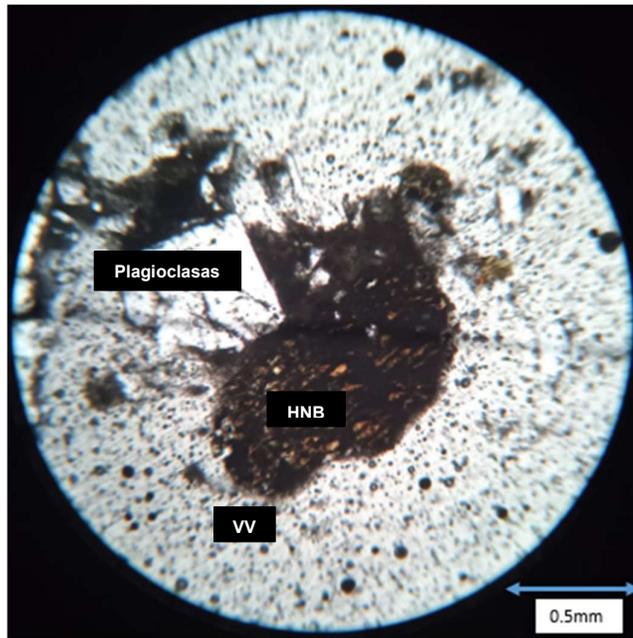


Figura 39: Fotomicrografía sin analizador mostrando un cristal xenomorfo e irregular de hornblenda (HNB) de color marrón con relieve moderado y clivaje perfecto, junto a un cristal de plagioclasa (PL).

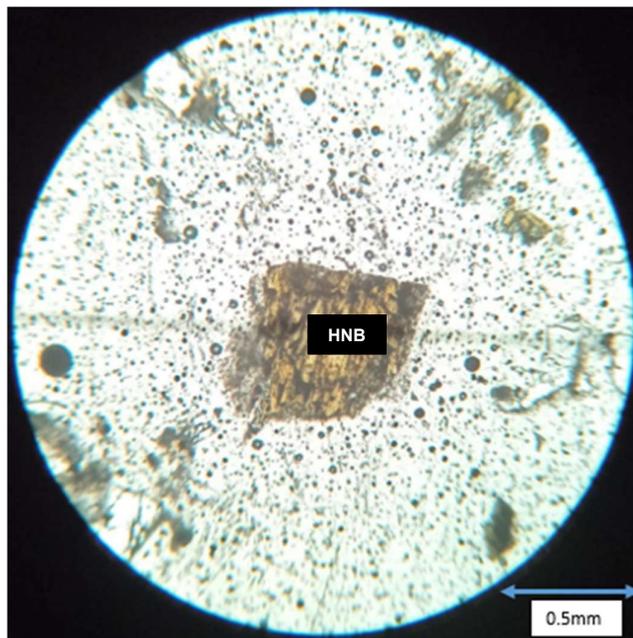


Figura 40: Fotomicrografía sin analizador mostrando un cristal prismático de hornblenda (HNB) de color marrón verdoso con relieve moderado y clivaje perfecto, rodeado de una matriz vidriosa félsica de color claro.

Fotomicrografía con analizador (Fig. 41), donde se muestra un cristal xenomorfo de HNB (HNB) con colores marrones amarillentos de segundo orden, se muestran cristales aislados de plagioclasa dentro de una matriz vidriosa con microcristales de minerales félsicos; el color oscuro de fondo representa los espacios vacíos en la matriz.

Fotomicrografía con analizador (Fig. 42) mostrando un cristal prismático de plagioclasa (PL) con colores de interferencia grises de primer orden, donde se muestra el maclado polisintético típico que presenta este mineral.

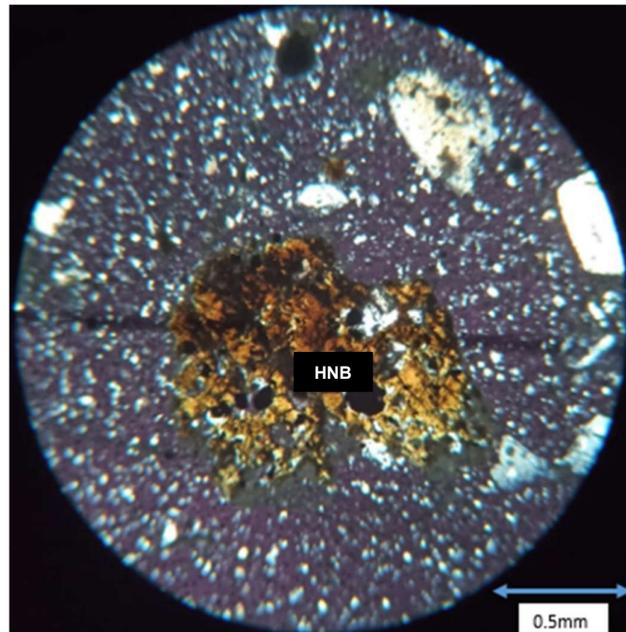


Figura 41: Fotomicrografía con analizador, donde se muestra un cristal xenomorfo de horblenda.

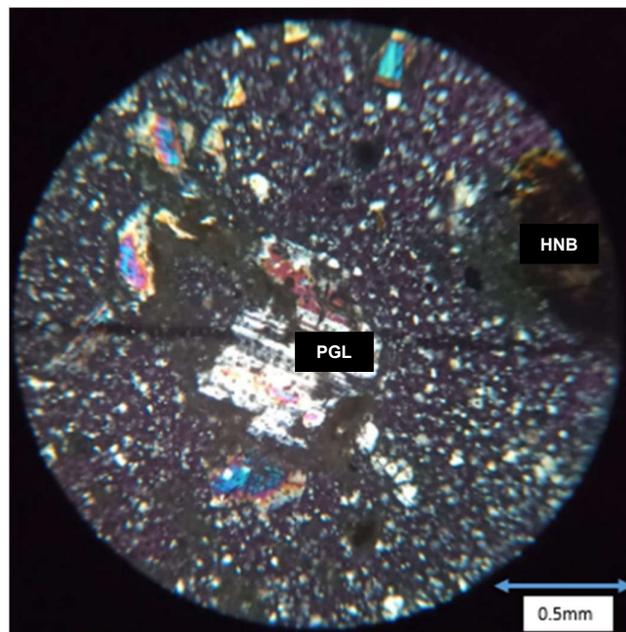


Figura 42: Fotomicrografía con analizador mostrando un cristal prismático de plagioclasa.

Fotomicrografía con analizador (Fig. 43), donde se muestran cristales mayores de plagioclasa (PGL) rodeados de pequeños cristales de hornblenda (HBN); en la parte centro izquierda de la imagen se muestra un ocelo (OC) de composición intermedia con colores de interferencia grises, amarillentos y marrones (contenidos de microcristales de plagioclasa, anfíboles y piroxenos).

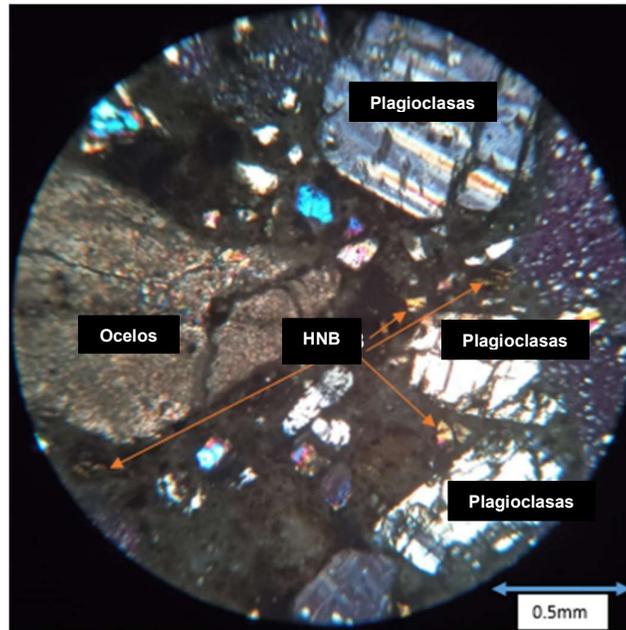


Figura 43: Fotomicrografía con analizador, donde se muestran cristales mayores de plagioclasa (PGL) rodeados de pequeños cristales de hornblenda (HBN).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Luego de haber realizado la caracterización petromineralógica de las rocas ígneas del Grupo Calipuy, en la zona de Chilete y haber obtenido los resultados permite analizar los siguiente.

4.1.1. Petrografía Volcánica

Las rocas volcánicas del Grupo Calipuy que se encuentran en la zona de investigación están emplazadas sobre las rocas sedimentarias Cretácicas fuertemente deformadas por el dinamismo entre las placas tectónicas placa Sudamericana y placa de Nazca. Las rocas volcánicas del Grupo Calipuy fueron emitidas desde centros volcánicos (calderas). (Rivera, 2007)

La caracterización petromineralógica se realizó mediante la descripción macroscópica y microscópica de muestras de mano de rocas representativas del Grupo Calipuy. Para la visualización de minerales se utilizó una lupa 30x y también microscopio petrográfico de luz transmitida y luz reflejada. A continuación, en la Tabla 7, se presenta un cuadro de las muestras analizadas.

Como resultado de preprocesamiento, el procesamiento y postprocesamiento, además de los ensayos y la comparativa de la Formaciones se obtuvieron resultados tanto de la reflectancia como de la vegetación, como parte de la presentación de estos solo se enfocará en las zonas de interés.

Tabla 7: Cuadro de muestras analizadas

Código de Muestra	Fotografía	Descripción
M-01		<p>La roca se clasifica como lamprófido con textura porfirítica, con matriz vítrea, con presencia de minerales como augita, cloritas (alteración de la augita), plagioclasa, sericita (alteración de la plagioclasa), carbonatos, con inclusiones de ocelos de composición félsica.</p>
M-02		<p>La roca es una andesita con presencia de fenocristales de cuarzo, con textura microporfirítica con matriz vítrea verdosa (microcristales de piroxenos, anfíboles y plagioclasas), con presencia de vacuolas vacías.</p>
M-03		<p>La muestra de roca corresponde a un aglomerado constituido por fragmentos redondeados de rocas de textura porfirítica alteradas de origen andesítico y areniscas sedimentarias de grano fino. Los minerales identificados son ortopiroxenos, epidota (alteración de piroxenos), actinolita, plagioclasas.</p>
M-04		<p>Esta roca es una toba volcánica de composición intermedia; la textura es Hialocristalina vitrofidica, con presencia de cristales grandes de plagioclasa, hornblenda y piroxenos, con matriz fina vidriosa de composición félsica.</p>

4.1.2. Evolución Eruptiva

La caracterización petromineralógica describe las texturas y mineralogía de las rocas con el objeto de determinar su ambiente de formación, secuencia de cristalización, el tipo y nombre de la roca. Las muestras extraídas del área de estudio que se caracterizaron y que son representativas de cada una de las formaciones del Grupo Calipuy, se interpretan a continuación:

✓ **Volcánico Chilete**

Las rocas pertenecientes a esta formación en su mayor proporción son de secuencia piroclástica y se han agrupado en dos eventos eruptivos, la parte inferior o primer evento presenta flujos de lava andesítica, intercalados con depósitos volcanoclásticos, flujos de ceniza y lahares (flujos de detritos de origen volcánico); la parte superior o segundo evento está constituida primordialmente por flujos piroclásticos de pómez, cenizas de composición dacítica rico en fragmentos líticos. En esta secuencia volcánica también se presenta ligera alteración hidrotermal propilítica.

Esto nos muestra que la actividad del volcanismo fue intensa e intermitentemente explosiva, extrusiva y efusiva, dando origen a los depósitos de flujos piroclásticos formados por colapso y violenta fragmentación de la columna eruptiva, flujos de lavas y lahares.

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los resultados obtenidos del estudio petromineralógico muestran que el Grupo Calipuy en la zona de estudio se caracteriza por intercalación de depósitos de flujos piroclásticos de bloques, cenizas de composición andesítica o dacítica con intercalación de flujos de lava andesítica, lahares; con lo cual nos permite concluir que la hipótesis inicialmente planteada es corroborada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ La petrología macroscópica y las secciones delgadas realizadas, nos muestran que el volcánico Calipuy está constituido de una serie de procesos volcánicos efusivos y explosivos, con preponderancia de rocas volcánicas de naturaleza andesítica. Así mismo, las rocas volcánicas del Grupo Calipuy están conformadas por andesitas, aglomerados, tobas y lamprófidos.

- ✓ En la secuencia Volcánica Chilete estudiada y correspondiente a la primera emisión volcánica, se logró identificar minerales de alteración hidrotermal propilítica de alta temperatura en matriz y clastos de aglomerados.

- ✓ Las rocas aflorantes en la zona de estudio, evidencian que el Grupo Calipuy está constituido por una intercalación de depósitos de flujo de lava andesítica, flujos piroclásticos de bloques y cenizas con tonalidades blanquecinas y/o gris violáceos.

- ✓ Finalmente podemos concluir que los centros de emisión del Volcánico Chilete y Secuencia Volcánica Chuquimango están cubiertos por depósitos cuaternarios, por lo cuál no fue posible determinar dichos centros volcánicos.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Al INGEMMET se sugiere realizar muestreos geoquímicos y toma de muestras de roca para determinar la relación con las demás secuencias volcánicas descritas por Navarro.
- ✓ A los concesionarios mineros ubicados en el área de estudio se sugiere realizar estudios petrominerográficos y muestreos geoquímicos por ICP a fin de ubicar blancos de exploración.
- ✓ Se sugiere a los futuros tesisistas e investigadores realizar láminas transparentes doblemente pulidas con la finalidad de realizar estudios de inclusiones fluidas dentro de los minerales adicional al petromineralógico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, P., González, E., & Lucha, P. 2013. Rocas bajo el microscopio: acercamiento al estudio en lámina delgada de minerales y rocas. Zaragoza: Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias.
- Berrezueta, E., Ordoñez, B., Catherine, E., Johnny, L., Paul, C., Fernando, M., & Wilson, B. 2021. Caracterización mineralógica y petrográfica de las vetas Vizcaya, Octubrina y Gabi del yacimiento aurífero epitermal ZarumaPortovelo, Ecuador. Boletín geológico y minero, 421-437.
- Cáceres, I. 2021. Caracterización petromineralógica y geoquímica del skarn de marmol de Quiquijana (provincia de Quispicanchi – Cusco). Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Cas, R., & Wright, J. 1987. Volcanic successions: Modern and ancient. Chapman & Hall.
- Castro-Dorado, A. 1989. Petrografía Básica Textura Clasificación y Nomenclatura de Rocas. Editorial Rueda.
- Centro de Estudios de Castilla-La Mancha. 2022. Ignimbritas. Obtenido de Campo de Calatrava: <https://volcanescalatrava.web.uclm.es/ig.htm>
- Chávez, L. 2010. ariaciones Geoquímicas y Clasificación por Arcos Magmáticos de las rocas Volcánicas del “Grupo Calipuy”: Cajamarca, La Libertad y Ancash. Lima: INGEMMET.
- Cruzado, G. 2009. Estudio de Geología. Cajamarca: Gobierno Regional de Cajamarca.
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico.
- Druitt, H. 1998. Pyroclastic density currents (Vol. 145). London: Geological Society, London, Special Publications.
- Echevarria, L. 2008. Mapeo en Terrenos Volcánicos. Colorado: Colorado School Mines.
- Fisher, R. 1966. Rocks composed of volcanic fragments and their classification. Earth-Science Reviews.

- Gill, R. 2010. *Igneous rocks and processes a practical guide*. Londres: Wiley-Blackwell.
- Le Maitre, R., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M., B. B., Bellieni, G., . . . Woolley, A. 2002. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Llambías, E. 2001. *Geología de los cuerpos ígneos*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata - CONICET.
- McPhie, J., Doyle, M., & Allen, R. 1993. *Volcanic Textures - A Guide To The Interpretation of Textures in Volcanic Rocks*. Hobart - Tasmania: Tasmanian Government.
- Navarro, P. 2009. *Periodos Eruptivos del Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en la Cordillera Occidental Del Norte Del Perú*. Lima: INGEMMET.
- Navarro, P. 2014. *Nuevas dataciones en el segmento sur de Cajamarca*. Lima: INGEMMET.
- Navarro, P., & Flores, C. 2007. *Mapa Geológico del Cuadrángulo de Cajamarca (15-f) Hoja 15-f-IV*. Lima: INGEMMET.
- Navarro, P., Monge, R., & Flores, C. 2006. *Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) y su asociación con los yacimientos epitermales norte del Perú*. Lima: INGEMMET.
- Oxford Earth Sciences Image Store. 2006. *Oxford Earth Sciences Image Store*. Obtenido de *Rocks under the Microscope*: <https://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/micro/index.html>
- Pallares, Y., & Élias, R. 2018. *Caracterización petrográfica e identificación de zonas de alteración hidrotermal, en las rocas aflorantes de la Región las Pavas, (El Copey – Cesar)*. Colombia: Fundación Universitaria del Área Andina.
- Prado, J. 2018. *Estudio pretromineralógico de las areniscas de la formación Farrat en la zona de Baños de Inca y Llacanora - Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Reyes, L. 1980. *Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba*. Lima: INGEMMET - Sector Energía y Minas.
- Rivera, R. 2007. *Características metalogénicas de los yacimientos asociados al volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú, región Cajamarca*. Lima: INGEMMET.

- Salcedo, C. 2021. Contribución a la Caracterización Petromineraográfica-Textural Geoquímica de las Unidades Litológicas Mineralizadas del Pórfido de Cobre Cuajone (Sur del Perú) y su posible influencia en el Work Index y la Recuperación Metalúrgica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Streckeisen, A. 1979. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks: recommendations and suggestions of the IUGS subcommission on the systematic of igneous rocks.
- Supo, J. 2015. Cómo empezar. Arequipa: BIOESTADISTICO EIRL.
- Universidad de Granada. 2017. RN-1: Basalto alcalino. Obtenido de Petrología Ígnea: <https://www.ugr.es/~petgquim/PRocaRN-1p.html>
- Williams, H., & McBirney, A. 1979. Volcanology. Freeman: Cooper & Co.
- Williams, H., Turner, F., & Gilbert, C. 1954. Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections. W. H. Freeman & Co Ltd.



Jr. Clodomiro Cerna 360
Cajamarca - Perú

Cel: +51 950207171
Correo: informes@geotekhperu.com

COTIZACIÓN

Jr. Clodomiro Cerna 360
Cel: 997677061
<https://geotekhperu.com/>

N° 1175
Fecha 12/06/2022
Validez 27/06/2022

GEO TEKH

Cliente: Víctor Izquierdo

Producto	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Secciones delgadas pulidas	S/ 380.5	4	S/1522
Subtotal			S/ 1248.04
IGV(18%)			S/ 273.96
TOTAL			S/ 1522.00

Nota: La prestación del servicio contempla los siguientes ítems:

1. Elaboración de Secciones Delgadas Pulidas
 - Servicio de Corte de cada muestra.
 - Servicio de Desbaste y pegado en lámina.
 - Servicio de análisis y medición de cada muestra.

GEO TEKH

Sintaxis Mineral

- Augita
- Ocelos

Descripción:

Fotomicrografía sin analizador mostrando cristales automorfos y xenomorfos de augita, rodeados por una matriz oscura de vidrio volcánico con presencia de ocelos de composición félsica.

Ficha 2.- Descripción de la Muestra 01 mostrando cristales automorfos de augita sin analizador.

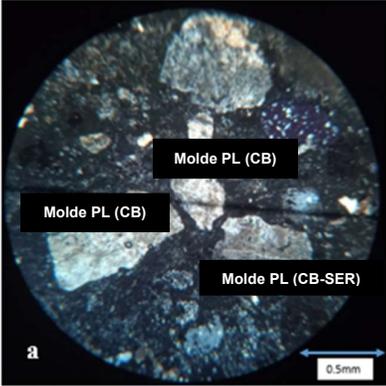
Sintaxis Mineral

- Titanoaugita
- Plagioclasas
- Sericita

Descripción:

En el centro un cristal de plagioclasa alterándose a sericita que muestra colores de interferencia elevados en tonos amarillos. Encima de la plagioclasa se muestra un cristal xenomorfo de titanoaugita que muestra colores de interferencia elevados con tonos violáceos.

Ficha 3.- Descripción de la Muestra 01 vista con analizador mostrando cristales automorfos de titanoaugita.

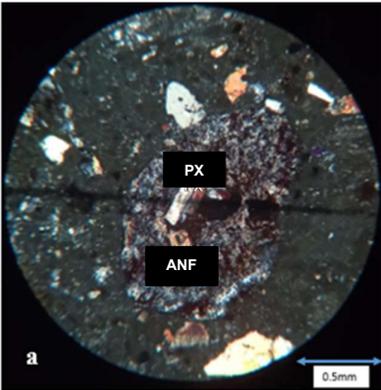


Sintaxis Mineral

- Carbonatos
- Sericita

Descripción:
 Fotomicrografía con analizador mostrando moldes remanentes de plagioclasas (MOLDE-PL) alteradas a sericita (SER) y carbonatos (CB) con colores de interferencia elevados de tercer orden en tonos amarillos.

Ficha 4.- Descripción de la Muestra 01 mostrando moldes de plagioclasas con analizador.

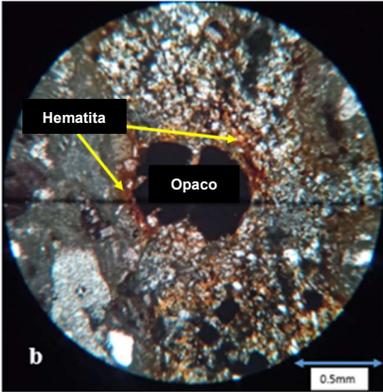


Sintaxis Mineral

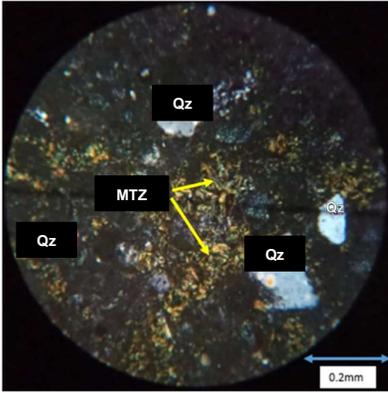
- Piroxenos
- Anfiboles

Descripción:
 Fotomicrografía con analizador mostrando en el centro un ocelo de matriz félsica, con pequeños cristales prismáticos alargados de anfiboles (ANF) y piroxenos (PX).

Ficha 5.- Descripción de la Muestra 01 con analizador de un cristal de anfíbol y piroxeno.

	<p><u>Sintaxis Mineral</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Hematita - Minerales opacos
<p><u>Descripción:</u> Fotomicrografía sin analizador mostrando minerales opacos relacionado con zonas de oxidación, probables cristales de magnetita.</p>	

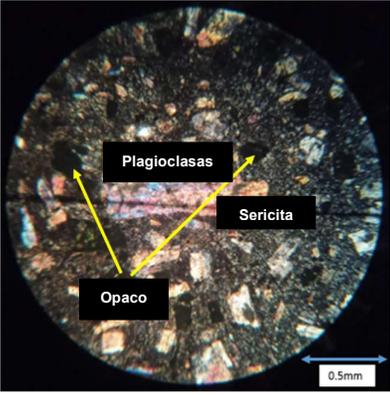
Ficha 6.- Descripción de la Muestra 02 sin analizador con minerales de hierro.

	<p><u>Sintaxis Mineral</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Matriz (MTZ) - Cuarzo (Qz)
<p><u>Descripción:</u> Fotomicrografía a 100X, con analizador, donde se muestran cristales anhedrales de cuarzo (Qz) con colores de interferencia grises de primer orden. Además, se puede observar a mayor detalle la matriz (MTZ) compuesta por pequeños cristales prismáticos alargados de piroxenos y anfíboles mostrando colores de interferencia amarillo – verdosos del segundo orden.</p>	

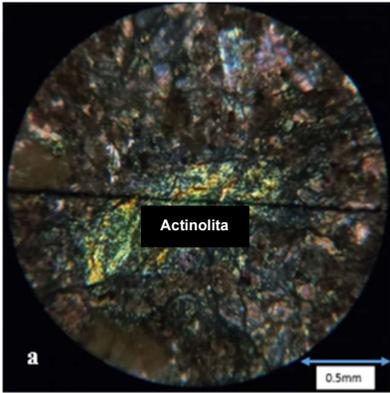
Ficha 7.- Descripción de la Muestra 02 vista al 100X con analizador de cristales de piroxenos y anfíboles.

	<p><u>Sintaxis Mineral</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ocelos - Venillas de Cuarzo
<p><u>Descripción:</u> Fotografía con analizador, donde se muestra abundantes cristales anhedrales de cuarzo (Qz) con colores de interferencia grises y amarillos de primer orden. Además, se puede observar la presencia de una venilla irregular rellena de cuarzo (Qz) en la cual se observan cristales anhedrales de cuarzo (Qz) con colores de interferencia grises y amarillos de primer orden. Por último, se puede observar presencia de ocelos (OC) rellenas de un mineral aparentemente opaco.</p>	

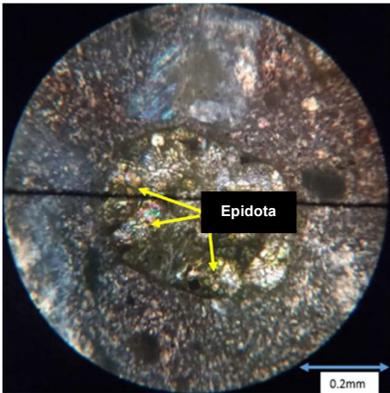
Ficha 8.- Descripción de la Muestra 02 con analizador mostrando venillas de cuarzo.

	<p><u>Sintaxis Mineral</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Opacos - Plagioclasas - Sericita
<p><u>Descripción:</u> Fotomicrografía de los clastos con analizador mostrando plagioclasas (PGL) con alteración hidrotermal con colores de interferencia amarillos y violetas del segundo y tercer orden por presencia de sericita (SER) rodeados de una fina matriz vítrea también alterada, también hay presencia de minerales opacos (OP).</p>	

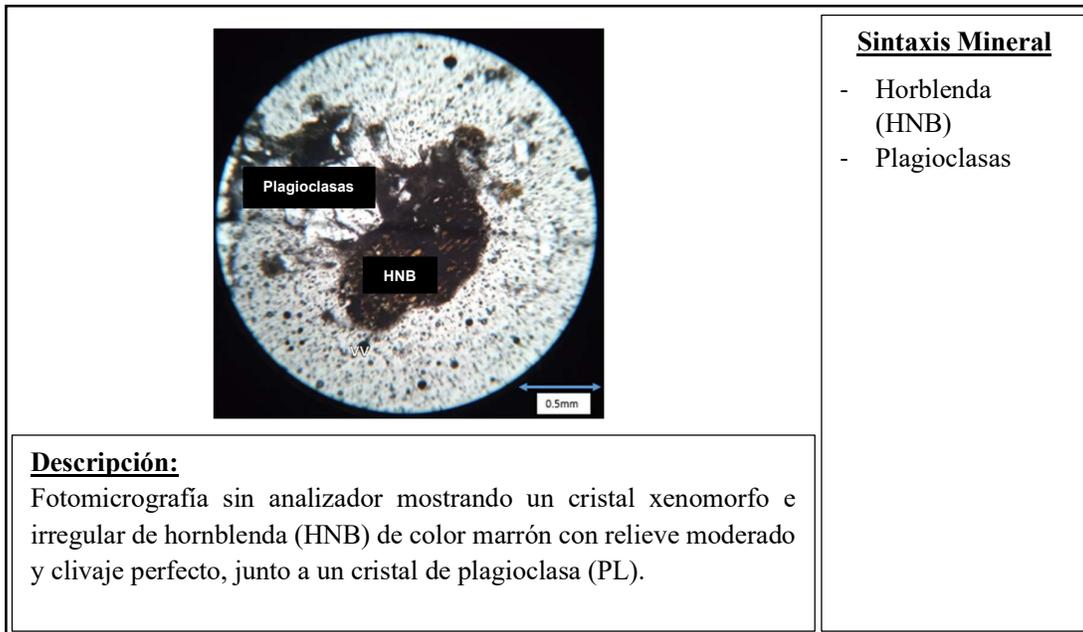
Ficha 9.- Descripción de la Muestra 03 con analizador mostrando plagioclasas con matriz vítrea alterada.

	<p>Sintaxis Mineral</p> <ul style="list-style-type: none"> - Actinolita
<p>Descripción: Fotomicrografía con analizador de parte de la matriz, mostrando en el centro un cristal de actinolita (ACT) mostrando colores de interferencia bajos verdosos amarillentos de segundo orden, se puede observar el hábito fibroso acicular de la actinolita. b) Fotomicrografía a 100X, con analizador mostrando en el centro el mismo cristal de actinolita (ACT) mostrando colores de interferencia bajos verdosos amarillentos de segundo orden, se puede observar el hábito fibroso acicular.</p>	

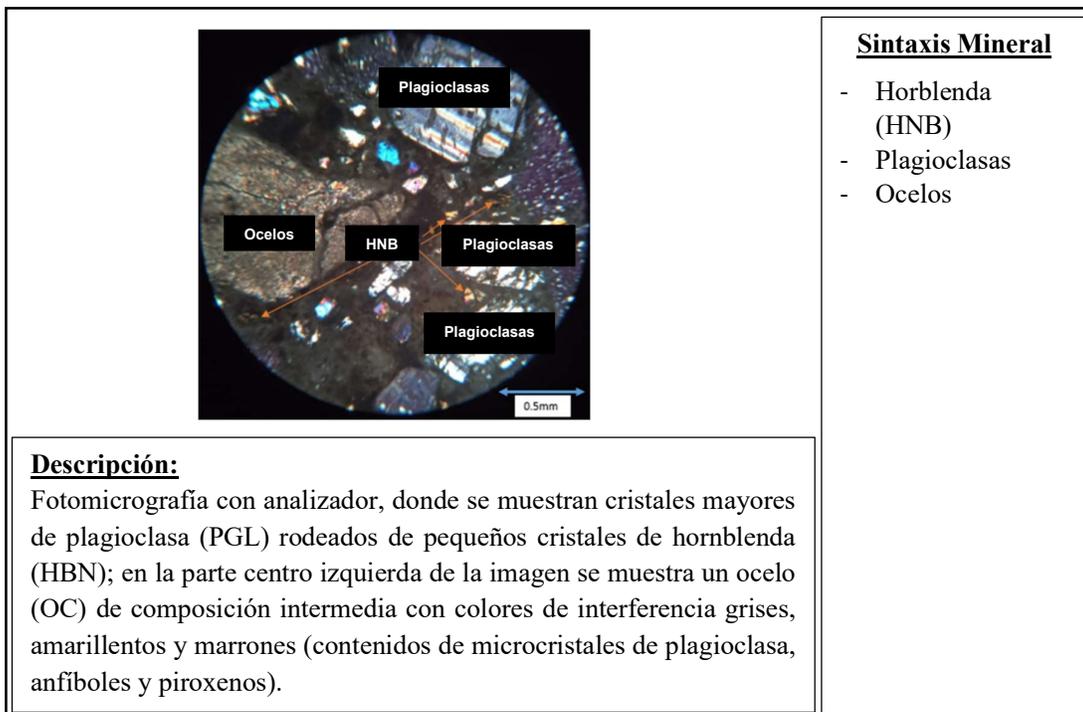
Ficha 10.- Descripción de la Muestra 03 con analizador de cristales de actinolita.

	<p>Sintaxis Mineral</p> <ul style="list-style-type: none"> - Epidota
<p>Descripción: Fotomicrografía a 100X, con analizador mostrando en el centro la formación de cristales de epidota (EP) aparentemente por la alteración de un cristal de piroxeno (por el molde prismático hexagonal), se muestra fuertes colores de interferencia variados del tercer orden (amarillentos verdosos – celestes violáceos), característicos de la epidota.</p>	

Ficha 11.- Descripción de la Muestra 03 con analizador a 100X de un cristal de epidota.



Ficha 12.- Descripción de la Muestra 04 sin analizador de un cristal de hornblenda y plagioclasa.



Ficha 13.- Descripción de la Muestra 04 con analizador de cristales de plagioclasas rodeadas de pequeños cristales de hornblenda.