

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS  
POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA -  
CAJAMARCA**

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

**AUTOR**

**Bach. Robert Hugo Vásquez Cerdán**

**ASESOR**

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

**Cajamarca - Perú**

**2023**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme obsequiado la vida, por ser la respuesta a todas mis interrogantes, por acompañarme a lo largo de mi carrera, por darme salud, y por cuidarme sobre todo en los momentos más adversos de mi vida.

A mi alma mater la Universidad Nacional de Cajamarca por albergarme en sus aulas durante cinco años, permitiéndome vivir infinidad de experiencias y aprendizajes. Gracias Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica.

A mis maestros por brindarme sus conocimientos y motivarme a la investigación a través de los años y ser una pieza fundamental para mi crecimiento profesional; y un agradecimiento especial a mi asesor M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca, por brindarme su tiempo y orientarme para que esta investigación tenga el resultado esperado.

A mi familia, por brindarme su apoyo incondicional y desear siempre lo mejor para mi vida, gracias por sus consejos y por cada una de sus palabras que me guiaron día a día durante mi vida universitaria.

## **DEDICATORIA**

A mi querido hijo Hugo Liam, por ser la principal motivación de mi vida, quien me impulsa a seguir adelante y a superarme cada día. Le dedico esta tesis fruto de esfuerzo inspirado en él.

A mis padres María Cerdán, Olinda Cerdán y Máximo Vásquez, quienes son ejemplo de honestidad, trabajo, amor y sacrificio. Gracias a su esfuerzo invaluable he conseguido llegar hasta aquí y cumplir un sueño tan anhelado. Es un honor y un privilegio ser su hijo.

A Lucia del Pilar, por su apoyo, confianza y amor, pero sobre todo por contagiarme de sus alegrías, alentarme a seguir adelante, y por darme el impulso necesario en el momento preciso.

A mis hermanos, por estar siempre conmigo, por su complicidad, comprensión y motivación. Especialmente a Oscar Guido, Erlita Jane y Roger Henry por ser mi respaldo y estar siempre presentes brindándome su apoyo incondicional durante mi vida universitaria, permitiendo alcanzar este importante logro, que también es suyo.

Finalmente quiero dedicar esta investigación a mis seres queridos que están en el cielo, mis abuelos Aurelia y José Félix, quienes me enseñaron los buenos valores, el trabajo y la responsabilidad para ser una persona ejemplar en la vida.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
AGRADECIMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
ÍNDICE .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE FOTOS .....	xii
ÍNDICE DE MICROFOTOGRAFÍAS .....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii

## CAPÍTULO I

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

	<b>Pág.</b>
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	3
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	4
2.1.3. Antecedentes Locales.....	6
2.2. BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
2.2.1. Petrografía ígnea.....	7
2.2.2. Rocas ígneas .....	7
2.2.3. Evolución magmática.....	7
2.2.3.1. Diferenciación magmática .....	8

	<b>Pág.</b>
2.2.3.2. Asimilación .....	9
2.2.3.3. Mezcla de magmas .....	9
2.2.4. Clasificación de los magmas .....	10
2.2.4.1. Magmas primarios .....	10
2.2.4.2. Magmas secundarios .....	10
2.2.5. Vulcanismo.....	11
2.2.5.1. Volcán .....	11
2.2.5.2. Tipos de volcanes .....	12
2.2.5.3. Tipos de erupciones .....	13
2.2.5.4. Productos volcánicos .....	14
2.2.6. Minerales formadores de rocas ígneas.....	17
2.2.6.1. Minerales félsicos .....	17
2.2.6.2. Minerales máficos.....	17
2.2.6.3. Minerales accesorios.....	17
2.2.7. Características texturales de las rocas ígneas .....	17
2.2.7.1. Grado de cristalización o cristalinidad.....	18
2.2.7.2. Tamaño de los cristales.....	19
2.2.7.3. Forma de los cristales.....	22
2.2.7.4. Relaciones mutuas de los cristales y de materiales amorfos.....	24
2.2.7.5. Texturas en rocas volcánicas.....	29
2.2.8. Clasificación y nomenclatura de las rocas volcánicas .....	33
2.2.8.1. Clasificación según el índice de color "M" .....	34
2.2.8.2. Clasificación según la abundancia de sílice .....	34
2.2.8.3. Clasificación QAPF de las rocas volcánicas .....	35
2.2.8.4. Clasificación TAS (Total Alkali - Silica) .....	37
2.2.8.5. Clasificación de las rocas volcánicas piroclásticas.....	38

	<b>Pág.</b>
2.2.8.6. Clasificación polimodal de las rocas piroclásticas .....	40
2.2.8.7. Rocas mixtas piroclásticas-epiclásticas .....	42
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	43

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

	<b>Pág.</b>
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
3.1.1. Geográfica .....	44
3.1.2. Política .....	44
3.1.3. Accesibilidad .....	44
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	47
3.2.1. Metodología.....	47
3.2.1.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación.....	47
3.2.1.2. Población de Estudio .....	48
3.2.1.3. Muestra .....	48
3.2.1.4. Unidad de Análisis.....	48
3.2.1.5. Identificación de variables .....	49
3.2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	49
3.3. CONTEXTO GEOLÓGICO .....	50
3.3.1. Geología local.....	50
3.3.1.1. Grupo crisnejas (Ki-cr) .....	50
3.3.1.2. Grupo Pullucana (Ks-pu) .....	50
3.3.1.3. Grupo Quilquiñam (Ks-qm) .....	52
3.3.1.4. Formación Cajamarca (Ks-ca).....	52
3.3.1.5. Volcánico Huambos.....	53
3.3.1.6. Depósitos Cuaternarios .....	60

	<b>Pág.</b>
3.3.2. Unidades Geomorfológicas .....	61
3.3.2.1. Drenaje .....	61
3.3.2.2. Unidades morfogenéticas .....	62
3.3.2.3. Unidades morfológicas menores .....	64
3.3.3. Geología estructural .....	66
3.3.3.1. Plegamientos .....	69
3.3.3.2. Zonas de falla .....	70

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

	<b>Pág.</b>
4.1. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA .....	72
4.1.1. Caracterización petrográfica de la Muestra TG-05 .....	78
4.1.1.1. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG-05 .....	78
4.1.1.2. Descripción petrográfica microscópica de la muestra TG-05 .....	79
4.1.1.3. Características Texturales de la muestra TG-05 .....	79
4.1.1.4. Secciones delgadas de la muestra TG-05 .....	82
4.1.2. Caracterización petrográfica de la Muestra TG-14 .....	83
4.1.2.1. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG-14. ....	83
4.1.2.2. Descripción petrográfica microscópica de la muestra TG- 14 .....	84
4.1.2.3. Características texturales de la muestra TG-14. ....	84
4.1.2.4. Secciones delgadas de la muestra TG-14 .....	87
4.1.3. Caracterización petrográfica de la Muestra TG-20 .....	89
4.1.3.1. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG-20 .....	89
4.1.3.2. Descripción petrográfica microscópica de la muestra TG- 20 .....	89
4.1.3.3. Características texturales de la muestra TG-20 .....	90
4.1.3.4. Secciones delgadas de la muestra TG-20 .....	93

	<b>Pág.</b>
4.1.4. Caracterización petrográfica de la Muestra TG-25 .....	95
4.1.4.1. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG-25 .....	95
4.1.4.2. Descripción petrográfica microscópica de la muestra TG-25 .....	95
4.1.4.3. Características texturales de la muestra TG-25 .....	96
4.1.4.4. Secciones delgadas de la muestra TG-25.....	99
4.2. ESTUDIO MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X .....	101
4.3. CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO..	102
4.3.1. Texturas y estructuras .....	102
4.3.2. Componentes mineralógicos .....	103
4.3.3. Alteraciones y remplazamiento mineralógico.....	105
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	106
4.5. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	107

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Pág.</b>
CONCLUSIONES .....	108
RECOMENDACIONES .....	109
ANEXOS .....	114

### **ÍNDICE DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación de las rocas según el tamaño de los cristales (Castro, 2015). ....	20
Tabla 2. Tamaño absoluto de los cristales (Mackenzie et al., 1996).....	21
Tabla 3. Términos equivalentes para describir la forma de los cristales. Modificado de (Mackenzie et al., 1996).....	23

	<b>Pág.</b>
Tabla 4. Texturas granudas con minerales equidimensionales, modificado de (Mackenzie et al., 1996).....	25
Tabla 5. Clasificación de las rocas ígneas según el porcentaje del constituyente máfico "M" (Le Maitre et al., 2002).....	34
Tabla 6. Clasificación de las rocas ígneas según el contenido de sílice (Toselli, 2010).	35
Tabla 7. Clasificación y nomenclatura de los piroclastos y de las rocas piroclásticas bien clasificadas en función del tamaño de los clastos.....	40
Tabla 8. Términos a utilizar para rocas mixtas piroclásticas-epiclásticas.....	42
Tabla 9. Ubicación geográfica del área de investigación. ....	44
Tabla 10. Cronograma de recorrido al área de investigación. ....	44
Tabla 11. Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación.....	48
Tabla 12. Identificación de variables independientes y dependientes. ....	49
Tabla 13. Recursos materiales usados en la investigación. ....	49
Tabla 14. Clasificación de las Unidades morfogénéticas, según Rodríguez, (2016).....	62
Tabla 15. Clasificación de rocas volcánicas piroclásticas del Complejo Volcánico Yanacocha – Secuencia Volcánica Atozaico (Nm-at/E3), según su Genesis, contenido de sílice, minerales máficos “M” y su contenido modal según Streckeisen (1979), Schmid (1981) y Fisher (1966), de muestras de mano extraídas en el Centro Poblado de Carhuaquero.....	73
Tabla 16. Clasificación de rocas volcánicas piroclásticas, volcánicas efusivas y subvolcánicas del Complejo Volcánico Yanacocha, Domos volcánicos Andesíticos y Dacíticos (Nm-an, Nm-da), según su Genesis, contenido de sílice, minerales máficos “M” y su contenido modal según Streckeisen (1979), Schmid (1981) y Fisher (1966), de muestras de mano extraídas en el Centro Poblado de Quinuayoc. ....	74
Tabla 17. Descripción microscópica de los minerales primarios de la muestra TG-05....	80
Tabla 18. Descripción de minerales secundarios y minerales opacos de la muestra TG-05. ....	81
Tabla 19. Tipo de alteración y asociación mineralógica de la muestra TG-05. ....	81

	<b>Pág.</b>
Tabla 20. Secuencia paragenética de la muestra TG-05.....	81
Tabla 21. Descripción de los minerales primarios y minerales accesorios de la muestra TG-14.....	85
Tabla 22. Descripción de los minerales secundarios y minerales opacos de la muestra TG- 14. ....	86
Tabla 23. Tipo de alteración y asociación mineralógica de la muestra TG-14 .....	86
Tabla 24. Secuencia paragenética de la muestra TG-14.....	87
Tabla 25. Descripción de los minerales primarios y minerales accesorios de la muestra TG- 20. ....	91
Tabla 26. Descripción de los minerales secundarios y minerales opacos de la muestra TG-20. ....	92
Tabla 27. Tipo de alteración y asociación mineralógica de la muestra TG-20. ....	92
Tabla 28. Secuencia paragenética de la muestra TG-20.....	93
Tabla 29. Descripción de los minerales primarios y minerales accesorios de la muestra TG-25. ....	97
Tabla 30. Descripción de los minerales secundarios y minerales opacos de la muestra TG-25. ....	98
Tabla 31. Tipo de alteración y asociación mineralógica de la muestra TG-25. ....	99
Tabla 32. Secuencia paragenética de la muestra TG-25.....	99
Tabla 33. Resultados de los análisis por Difracción de Rayos X (DRX) de la muestra TG-05 de la Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3, destacándose la presencia de andesina, labradorita y sanidina. ....	101

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proceso de diferenciación magmática. Fuente (Griem W., 2016).....	8
Figura 2. Series de reacción de Bowen de cristalización fraccionada (modificado de Huang,1968). ....	9

	<b>Pág.</b>
Figura 3. Zonas de origen y tipos de magma según porcentaje de sílice (Martínez, 2020). .....	11
Figura 4. Representación gráfica de tipo de volcanes, (SERNAGEOMIN, 2018). .....	13
Figura 5. Representación gráfica de los tipos de erupciones volcánicas según explosividad y altura de la columna eruptiva, modificado de (SERNAGEOMIN, 2018). .....	14
Figura 6. Representación gráfica de los productos volcánicos que son emitidos durante una erupción volcánica (SERNAGEOMIN, 2018). .....	16
Figura 7. Textura de las rocas ígneas según el grado de cristalización o cristalinidad, modificado de (Mackenzie et al., 1996). .....	19
Figura 8. a) Tamaño absoluto de los cristales con un aumento de 27X, gabro de grano fino; b) gabro de grano medio; c) gabro de grano grueso (Mackenzie et al., 1996). .....	21
Figura 9. A) Ejemplos de formas cristalinas equidimensionales; B) formas cristalinas inequidimensionales tomado de (Mackenzie et al., 1996). .....	24
Figura 10. Texturas orientadas, dirigidas y alineadas (Mackenzie et al., 1996). .....	26
Figura 11. a) Texturas de intercrecimiento consertal en una granodiorita; b) textura mirmequítica de un granito (Mackenzie et al., 1996). .....	27
Figura 12. a) Texturas de intercrecimiento grafica de un granito; b) texturas micrográficas y granofíricas de un granito (Mackenzie et al., 1996). .....	28
Figura 13. Textura de intercrecimiento intrafasciculada de una dolerita (Mackenzie et al., 1996). .....	28
Figura 14. Texturas radiales, a) esferulito de una riolita; b) dolerita variolítica con olivino, (Mackenzie et al., 1996). .....	29
Figura 15. a) Textura porfírica con fenocristales de plagioclasa zonal y pasta afanítica (Gonzáles, 2008); b) textura felsítica en la matriz de una roca dacita (Lopez y Bellos, 2006). .....	30
Figura 16. a) Textura intergranular de en un basalto olivínico; b) textura perlítica, donde se evidencia grietas perlíticas interconectadas; c) textura traquítica en una traquiandesita donde se muestra cristales orientados por el flujo magmático (Gonzáles, 2008). .....	31

	<b>Pág.</b>
Figura 17. a) Textura vesicular en roca volcánica formado por la expansión del gas que ha dejado grandes cavidades subredondeadas; b) textura amigdaloides, donde se observa que las vacuolas ha sido rellenas por carbonatos de calcio y minerales arcillosos de alteración; c) textura ocellar, donde se observa tres ocelos de una dolerita olivínica, los cuales se encuentran rodeados de cristales de magnetita (Mackenzie et al., 1996).....	31
Figura 18. Textura spinifex de una komatiita del Precámbrico (González, 2008).....	32
Figura 19. Textura eutaxítica en una roca ignimbrita (Winter, 2014).....	32
Figura 20. Clasificación de las rocas ígneas basado en el índice de color, el contenido de sílice y minerales ferromagnesianos. Adaptado de (Ehlers y Blatt, 1982). .....	35
Figura 21. Clasificación modal QAPF de las rocas volcánicas (basada en Streckeisen, 1978). Los vértices del doble triángulo son Q = cuarzo, A = feldespatos alcalinos, P = plagioclasa y F = feldespatoides. Este diagrama no debe utilizarse para rocas en las que el contenido de minerales máficos, M, sea superior al 90% (Le Maitre et al., 2002). .....	36
Figura 22. Diagrama TAS (Total Alkali Silica) para la clasificación de rocas volcánicas (Le Maitre et al, 2002). .....	38
Figura 23. Clasificación polimodal de las rocas piroclásticas basada en las proporciones de bloques, bombas, lapilli y cenizas (según Fisher, 1966). .....	41
Figura 24. Clasificación de las rocas piroclásticas según su composición fragmentaria basada en las proporciones de fragmentos de roca, vidrio y cristales (según Schmid, 1981).....	41
Figura 25. Ubicación política de la investigación. ....	45
Figura 26. Accesibilidad al área de investigación. ....	46
Figura 27. Plano Geológico Regional donde se muestra las principales estructuras de la Deflexión de Cajamarca, que guarda relación con el emplazamiento magmático en el Norte de Perú (Bazán, 2016).....	68
Figura 28. Clasificación de las rocas volcánicas – piroclásticas del Complejo Volcánico Yanacocha- Secuencia volcánica Atozaico- Evento 3 y las rocas piroclásticas muestreadas en el cerro Colpayoc según Fisher (1966).....	75

	<b>Pág.</b>
Figura 29. Clasificación de las rocas volcánicas – piroclásticas del Complejo Volcánico Yanacocha- Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3 y las rocas piroclásticas muestreadas en el cerro Colpayoc según Schmid (1981). .....	76
Figura 30. Clasificación de las rocas volcánicas, subvolcánicas y piroclásticas según Streckeisen (1979). .....	77
Figura 31. Distribución de las muestras clasificadas según, Fisher (1966); Schmid (1981) y Streckeisen (1979). .....	78
Figura 32. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG- 05. ....	78
Figura 33. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG- 14. ....	83
Figura 34. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG- 20. ....	89
Figura 35. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG- 25. ....	95
Figura 36. Difractograma de la Muestra TG-05 mostrando los minerales identificados. ....	101
Figura 37. Diagramas de los componentes mineralógicos de las muestras analizadas en la descripción microscópica de láminas delgada, mediante luz transmitida. ....	104

## ÍNDICE DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
Foto 1. Estratos con espesores uniformes de caliza tabulares de la Formación Yumagual. ....	51
Foto 2. Contacto litológico de las rocas piroclásticas de la Secuencia Volcánica Atozaico y las rocas sedimentarias de la Formación Yumagual .....	51
Foto 3. Rocas sedimentarias calcáreas de la Formación Quilquiñam .....	52
Foto 4. Afloramientos de rocas calizas de la Formación Cajamarca.....	53
Foto 5. Vista panorámica de las rocas piroclásticas de la Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3 (Nm-at-E3) y las principales Unidades Cretácicas (Ks-yu, Ks-qm, Ks-ca) identificados en el área de investigación.....	54
Foto 6. Depósitos piroclásticos de cenizas y lapilli de la Secuencia Volcánica Atozaico – Evento 3.....	55

	<b>Pág.</b>
Foto 7. Vista panorámica de las rocas pórvido andesíticas (Nm-an) emplazados sobre las rocas sedimentarias de la Formación Cajamarca, localizado en el Cerro Colpayoc.....	56
Foto 8. Afloramientos de Lavas andesíticas pertenecientes al domo volcánico localizado en el cerro Colpayoc en el centro poblado Quinuayoc .....	56
Foto 9. Brechas piroclásticas del cerro Colpayoc. ....	57
Foto 10. a) Afloramiento de depositos piroclasticos coformado por bloques, ceniza y lapilli; b) toba de ceniza, conformada por mas del 75% de componentes piroclasticos con medidas inferiores a 2 mm, con inclusiones de fragmentos de cristal de minerales ferromagnesianos (hornblenda) y plagioclasa; localizado en el centro poblado de Quinuayoc .....	58
Foto 11. Vista panorámica de las rocas subvolcánicas de composición dacítica, localizado en el cerro Apalina Huajchana.....	59
Foto 12. Rocas de composición dacítica, correspondientes al domo volcánico localizado en el cerro Apalina Huajchana .....	60
Foto 13. Depósitos Cuaternarios en los márgenes del rio Cushunga y en la base de taludes escarpados de la Formación Cajamarca. ....	61
Foto 14. Principales redes de drenaje en el área de investigación, donde se observa el recorrido del rio Cushunga con una dirección NW-SE, y quebradas como principales afluentes. ....	62
Foto 15. Planicies y lomadas en el sector Colpayoc.....	63
Foto 16. Unidades morfogenéticas en rocas volcánicas y subvolcánicas localizados en el cerro Colpayoc, donde se observan Escarpas (75°) y loderas (36°).....	63
Foto 17. Escarpe, unidad morfogenética en rocas calizas de la Formación Cajamarca, con una pendiente de 64°. ....	64
Foto 18. Disyunción esferoidal y/o cataclástica en rocas volcánicas, localizado en la base del cerro Colpayoc. ....	65
Foto 19. Alveolos o picaduras de corrosión en rocas piroclásticas de la Secuencia Volcánica Atozaico.....	66

	<b>Pág.</b>
Foto 20. Eje del sinclinal de Colpayoc en rocas de la Formación Cajamarca, identificado en los alrededores del centro poblado de Quinuayoc, .....	69
Foto 21. Evidencias de plegamientos en el área de estudio en rocas sedimentarias calcáreas de la Formación Cajamarca.....	70
Foto 22. Falla normal con componente de rumbo sinistral en rocas calizas de la Formación Cajamarca. ....	70
Foto 23. Falla de rumbo con movimiento dextral en rocas calizas de la Formación Cajamarca.....	71

### **ÍNDICE DE MICROFOTOGRAFÍAS**

	<b>Pág.</b>
Microfotografía 1. Secciones delgadas de la muestra TG-05. ....	79
Microfotografía 2. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-05, secciones a) y b). ....	82
Microfotografía 3. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-05, secciones c) y d). ....	82
Microfotografía 4. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-05, secciones e) y f). ....	83
Microfotografía 5. Secciones delgadas de la muestra TG-14. ....	84
Microfotografía 6. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-14, secciones a) y b). ....	87
Microfotografía 7. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-14, secciones c) y d). ....	88
Microfotografía 8. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-14, secciones e) y f). ....	88
Microfotografía 9. Secciones delgadas de la muestra TG-20. ....	90
Microfotografía 10. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-20, secciones a) y b) .....	93

	<b>Pág.</b>
Microfotografía 11. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-20, secciones c) y d). .....	94
Microfotografía 12. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-20, secciones e) y f). .....	94
Microfotografía 13. Secciones delgadas de la muestra TG-25. ....	96
Microfotografía 14. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-25, secciones a) y b). .....	99
Microfotografía 15. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-25, secciones c) y d). .....	100
Microfotografía 16. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-25, secciones e) y f). .....	100

## LISTA DE ABREVIATURAS

PGLs	:	Plagioclasas
FPK	:	Feldespatos alcalinos
Cz	:	Cuarzo
ANFs	:	Anfiboles
PXs	:	Piroxenos
vd	:	Vidrio volcánico
FL	:	Fragmentos líticos
FMs	:	Minerales Ferromagnesianos
OPs	:	Minerales opacos
CLOs	:	Cloritas
ep	:	Epidota
CBs	:	Carbonatos
ARCs	:	Arcillas
hm	:	Hematita
ap	:	Apatito
zir	:	Zircón
jar	:	Jarosita
bt	:	Mica (Biotita)
MCs	:	Micas
Clz	:	Clinozoisita
mus	:	Muscovita (Sericita)
mm	:	Milímetro
cm	:	Centímetro
Km	:	Kilómetro.
m	:	Metro
Ma.	:	Millones de años
HCl	:	Ácido Clorhídrico
DRX	:	Difracción de rayos X
IUGS	:	International Union of Geological Sciences
TAS	:	Total Alkali Silica
WGS-84	:	Sistema Geodésico Mundial 1984
UTM	:	Universal Transversal de Mercator
GPS	:	Sistema de posicionamiento global
m.s.n.m.	:	Metros sobre el nivel del mar
N	:	Norte
S	:	Sur
E	:	Este
W	:	Oeste

## RESUMEN

El estudio petrográfico realizado en los Centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, en los distritos de Chetilla y Cajamarca, comprende un conjunto de afloramientos volcánicos piroclásticos correspondientes a la Secuencia Volcánica Atozaico-Evento 3, y domos volcánicos localizados en los cerros Apalina Huajchana y Colpayoc, los cuales forman parte del Complejo Volcánico Yanacocha, perteneciente al Volcánico Huambos. El avance en el conocimiento de una zona de interés económico relacionado a este tipo de afloramientos volcánicos e intrusiones menores (domos volcánicos), requiere definir en forma detallada las características petrográficas. Para ello, se llevaron a cabo una serie de estudios que comprendieron, la determinación de relaciones de campo, el cartografiado geológico de las unidades volcánicas, el análisis petrográfico macroscópico y microscópico y la determinación mineralógica mediante difracción de rayos x (DRX), lo que permitió definir diferentes características petrográficas. La Secuencia Volcánica Atozaico-Evento 3, está formado por flujos piroclásticos de ceniza y lapilli de composición andesítica calcoalcalina y dacítica, de textura fragmental-porfirítica, con fragmentos de cristales de plagioclasas y minerales máficos sostenidos por una matriz de grano muy fino alterada por arcillas. El domo volcánico del cerro Colpayoc, está constituido por flujos piroclásticos de bloques, ceniza y lapilli; y flujos lávicos de composición andesítica calcoalcalina, de textura porfirítica, con fenocristales de plagioclasas y anfíboles incluidos en una matriz criptocristalina a microcristalina de agregados de cuarzo y plagioclasa. El domo volcánico del cerro Apalina Huajchana, está conformado por flujos de lava de composición dacítica, de textura porfirítica, con fenocristales de hornblenda, piroxeno y plagioclasa contenidos en una matriz microcristalina compuesta por cuarzo y plagioclasa cálcica. Caracterizados por presentar una paragénesis mineral conformado por plagioclasas, piroxenos, anfíboles, cuarzo, zircón, apatito y feldespato alcalino.

**Palabras clave:** Petrografía, textura, estructura, minerales principales.

## ABSTRACT

The petrographic study carried out in the Carhuaquero and Quinuayoc populated centers in the districts of Chetilla and Cajamarca, includes a group of pyroclastic volcanic outcrops corresponding to the Atozaico Volcanic Sequence-Event 3, and volcanic domes located in the Apalina Huajchana and Colpayoc hills, which are part of the Yanacocha Volcanic Complex, belonging to the Huambos Volcanic. Progress in the knowledge of an area of economic interest related to this type of volcanic outcrops and minor intrusions (volcanic domes) requires a detailed definition of the petrographic characteristics. To this end, a series of studies were carried out, including the determination of field relationships, geological mapping of the volcanic units, macroscopic and microscopic petrographic analysis and mineralogical determination by X-ray diffraction (XRD), which made it possible to define different petrographic characteristics. The Atozaico Volcanic Sequence-Event 3, is formed by pyroclastic flows of ash and lapilli of calc-alkaline andesitic and dacitic composition, of fragmental-porphyrific texture, with fragments of plagioclase crystals and mafic minerals supported by a very fine-grained matrix altered by clays. The volcanic dome of Cerro Colpayoc is made up of pyroclastic flows of blocks, ash and lapilli; and lava flows of calc-alkaline andesitic composition, of porphyritic in texture, with plagioclase and amphibole phenocrysts embedded in a cryptocrystalline to microcrystalline matrix of quartz and plagioclase aggregates. The volcanic dome of the Apalina Huajchana hill is formed by lava flows of dacitic composition, of porphyritic texture, with hornblende, pyroxene and plagioclase phenocrysts contained in a microcrystalline matrix composed of quartz and calcic plagioclase. Characterized by mineral paragenesis consisting of plagioclase, pyroxene, amphibole, quartz, zircon, apatite and alkali feldspar.

**Keywords:** Petrography, texture, structure, main minerals.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

Conocer la petrografía de un área de interés económico es fundamental, debido a que proporciona valiosa información acerca de la composición, estructura y textura de las rocas, su ocurrencia y distribución, y su origen en relación con las condiciones fisicoquímicas, procesos geológicos y tectonismo. Las rocas ígneas de los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc está asociado a magmatismo calcoalcalino, y se encuentra emplazado en Formaciones carbonatadas pertenecientes al Cretácico. El área de investigación forma parte del pórfido Chamis – Colpayoc, por lo que es muy importante contar con estudios geológicos. La petrografía, es uno de los aspectos geológicos que carece de investigación detallada, por tal motivo, la presente investigación pretende describir las características petrográficas de las rocas volcánicas entre los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, distrito de Chetilla - Cajamarca. Para tal fin, mediante la descripción petrográfica se determinará los minerales esenciales, textura y estructura de las rocas, y finalmente a través del diagrama de Streckeisen y diagrama de rocas piroclásticas se realizará la clasificación modal y se dará el nombre y el tipo de roca.

A raíz de la formulación del problema surge la pregunta, ¿Cuáles son las características petrográficas de las rocas volcánicas entre los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, distrito de Chetilla - Cajamarca?; para resolver a esta interrogante se trazó como objetivo general, describir las características petrográficas de las rocas volcánicas entre los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, distrito de Chetilla – Cajamarca, y como objetivos específicos, realizar el cartografiado geológico, realizar la clasificación petrográfica, describir la textura y estructura de las rocas, determinar los minerales esenciales, accesorios y secundarios de las rocas volcánicas y determinar las posibles alteraciones y remplazamiento mineralógico.

Planteando la hipótesis, las características petrográficas de las rocas volcánicas entre los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, distrito de Chetilla - Cajamarca, son de composición intermedia a félsica, representado por rocas piroclásticas como tobas volcánicas, las cuales presentan texturas vitroclástica, vacuolar y porfirítica, esta última se

debe a la presencia de fenocristales de cuarzo y hornblenda incrustados en una matriz vítrea. Así mismo podemos plantear la existencia de rocas andesitas y traquiandesitas que se ha originado desde un magma de composición calcoalcalina con contenido de minerales máficos o ferromagnesianos, con textura afanítica, fanerítica y porfirítica, caracterizadas por presentar minerales esenciales de plagioclasa, cuarzo, sanidina, hornblenda y biotita.

Es así que la presente investigación se elabora con el fin de generar nuevos alcances sobre las características petrográficas de las rocas volcánicas entre los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, distrito de Chetilla - Cajamarca, de esta manera la investigación podrá ofrecer y aportar datos actualizados sobre minerales formadores de roca, textura y estructura y demás características petrográficas y así complementar a la información ya existente para comprender e interpretar los procesos geológicos que dieron origen a su formación. Este estudio puede ser utilizado por profesionales o personas interesadas en el tema.

Finalmente, la investigación se divide en cinco capítulos, la misma que está estructurada de la siguiente manera: El capítulo I, la introducción donde se describe en forma general la investigación. El capítulo II, constituye el marco teórico, donde se encuentra los antecedentes internacionales, nacionales y locales, que son estudios previos que guarda cierta relación con la investigación; las bases teóricas, donde se selecciona las principales teorías para el tratamiento del problema, y definición de términos básicos, lo cual nos servirá para sustentar o explicar el problema de la investigación. El capítulo III, constituye materiales y métodos, donde se describe la ubicación geográfica y política, accesibilidad, metodología, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y la descripción detallada del procesamiento de la información; asimismo se describe el contexto geológico, donde se detalla la geología, geomorfología y geología estructural. En el capítulo IV, constituye análisis y discusión de resultados, donde se analiza las características petrográficas. En el capítulo V, se dará a conocer conclusiones y las recomendaciones de acuerdo a los objetivos planteados y finalmente se presentan los anexos de la investigación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

**Hernández (2011)**, en su tesis titulado Estudio mineralógico, petrográfico y geoquímico de las rocas ígneas aflorantes en el cerro el mirador (vía Mogotes – San Joaquín, Departamento de Santander), concluye que las riolitas porfíricas presentan en su composición mineralógica fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, y en menor proporción plagioclasa (40% de fenocristales, 60% de matriz); los cuales se encuentran formando texturas de intercrecimiento con el cuarzo (gráfica y mirmequítica). Estas texturas, junto con las texturas esferulíticas y afanítica, evidencian un proceso de cristalización progresivo de magma félsico, en el cual la parte más interna de los fenocristales, nuclearon en un ambiente en el cual el magma no había alcanzado la saturación del agua.

**Urraza et al. (2011)**, en su artículo denominado Petrología y estructura del Complejo Ígneo-Metamórfico Aluminé, provincia de Neuquén, Argentina, indica que el análisis de la petrología y geoquímica de las rocas graníticas estudiadas, permitieron caracterizar en conjunto, como resultante de un magmatismo cálcico a calcoalcalino con generación de granitoides Tipo I. Estos granitoides son típicamente representativos de magmatismo de arco de márgenes continentales activos.

**Parada (2013)**, en su tesis titulado, Geoquímica de las rocas ígneas del Carbonífero - Triásico de la alta cordillera, región de Atacama, Chile, concluye que las rocas analizadas son esencialmente de composición ácida, dominando las composiciones graníticas en las rocas intrusivas, las cuales presentan textura fanerítica inequigranular de grano medio y, en las volcánicas, las riolíticas, ambas caracterizadas por contenidos relativamente altos de  $Al_2O_3$  y bajos valores de  $P_2O_5$  y de  $MgO$ , las cuales presentan textura porfírica, con fenocristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa y feldespato potásico.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

**Navarro et al. (2009)**, en su artículo denominado Nuevos aportes sobre el Volcanismo Cenozoico del Grupo Calipuy en La Libertad y Ancash: geocronología y geoquímica, realiza sus estudios en las unidades Cenozoicas del Grupo Calipuy, de los centros volcánicos Matala, Paccha, Ultocruz-Ticas y Macón, donde concluye que las rocas correspondientes a las secuencias volcánicas en mención pertenecen a la serie calcoalcalina, y que tanto los productos lávicos como los piroclásticos presentan una composición que varía de andesíticas a riolíticas, con un porcentaje de 51.42% - 73.97% de SiO<sub>2</sub>. Así mismo, menciona que los flujos lavas han sido generadas por actividad efusiva, siendo estos de composición andesítica, con textura porfirítica debido a la presencia de fenocristales de plagioclasa y piroxeno; mientras que los depósitos piroclásticos han sido generados por actividad explosiva, teniendo como productos depósitos de lapilli, cenizas soldados blanquecinas, en su mayoría con cristales de plagioclasa, anfíbol, óxidos y cuarzo secundario y depósitos de flujos piroclásticos de pómez.

**Chumbe et al. (2012)**, en su artículo titulado Estudio petrográfico de las rocas volcánicas cenozoicas en el sur del Perú y sus implicancias con la mineralización, concluye, que el periodo volcánico Tacaza presentan rocas que se han formado a partir de magmas de composición andesítica, de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas, favorable para formación de depósitos minerales. Mientras que el periodo volcánico Sillapaca presentan rocas con una composición que varía de andesítica a dacítica, con fenocristales de piroxenos, presentando texturas poco favorables para la mineralización de alta sulfuración.

**Llamoca et al. (2014)**, en su artículo titulado Petrografía de las rocas volcánicas del centro de emisión Condorsenga (Grupo Calipuy), provincias de Cajatambo-Oyón, concluye que existe una evolución de la cámara magmática, dado que, de los cinco depósitos lávicos analizados, cuatro se clasificaron como andesitas porfíricas y uno se clasificó como dacita porfírica, las cuales presentan texturas sieve y glomeroporfídicas debido a los fenocristales de plagioclasas, las mismas que están macladas y zonadas por anfíboles y piroxenos, y que en algunos casos han sido reemplazados por cloritas, óxidos y carbonatos.

**Chávez (2016)** en su tesis de pregrado titulado Estratigrafía y geoquímica del Grupo Calipuy en la Cordillera Negra (8°45'S – 9°45'S) y su relación con los yacimientos minerales, manifiesta que las características petrográficas de las rocas ígneas formadas a partir de la actividad volcánica, tienen una composición que va de andesitas basálticas a

riolíticas, siendo predominantemente andesítica; así mismo indica que la mineralogía está conformado por fenocristales de plagioclasa, piroxeno, anfíbol, biotita, óxidos de hierro, cuarzo, feldespatos alcalinos y minerales de alteración, donde se observa que la composición mineralógica no sufre variaciones de acuerdo a los centros eruptivos.

**Navarro et al. (2010)**, en su informe Geología del Grupo Calipuy (Volcanismo Cenozoico) – segmento Santiago de Chuco, norte del Perú, obtuvo como resultado que los depósitos de flujos de lava tienen una composición andesítica y andesítica basáltica, las cuales se caracterizan por presentar textura porfirítica, afanítica y microlítica, con una paragénesis conformada por minerales de plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, óxidos de Fe-Ti y eventualmente anfíbol y ortopiroxeno. Las rocas formadas a partir de flujos piroclásticos presentan una composición andesítica, dacítica y riolítica, con textura porfirítica y vitroclástica; las cuales se caracterizan por presentar una paragénesis mineral conformada por plagioclasa, clinopiroxeno, magnetita, anfíbol y raramente biotita, olivino y ortopiroxeno. Además, indica que los depósitos piroclásticos que han sido formados a partir de calderas están constituidos por fenocristales de cuarzo, biotita y anfíbol.

**Pajuelo (2015)**, en su tesis de pregrado titulado Magmatismo, petrografía y estratigrafía de los depósitos Volcánicos Cenozoicos (Grupo Calipuy), en el segmento cordillera negra, sector Sur – Ancash. Determino las características petrográficas microscópicas en tres zonas con presencia de rocas volcánicas en emplazamientos de lavas y domos; en la zona Marca-Rio Santa, caracteriza a la roca como lava andesítica plazapunta y domo porfídico dacítico Callhuas Talla, los cuales presentan en su composición mineralógica, fenocristales subhedrales prismáticos microfracturados de plagioclasas, con un tamaño que varía entre 0.5 a 5 mm, con textura microporfídica, glomeroporfídica y porfídica, es importante mencionar que el domo pórvido dacítico a diferencia de la lava andesítica presenta cuarzo de formas subhedrales, con tamaños entre 0.3 a 0.7mm. y que los fenocristales de plagioclasas están incrustados en una matriz microgranular de plagioclasa y feldespatos potásicos. En la zona Huayllacayán/Congas-Conococha-Chiquián, lo clasifico litológicamente como lava andesítica Chinchamarca, en cuya composición se muestran cristales de plagioclasas euhedrales a subhedrales con tamaños inferiores a 1.63 mm, maclados y microfracturados con textura esquelética debido a que las plagioclasas zonadas se encuentran envueltas por clorita; también se muestra la textura traquítica con fenocristales de plagioclasas incrustada en una matriz microcristalina conformada por microcristales de plagioclasas, vidrio, minerales opacos alterados por cloritas, arcillas y óxidos de hierro. En la zona Ocos –

Corpanqui, recolectó una muestra volcánica con emplazamiento de domo, a la cual denomino domo cuarzo andesita Cuartel Corral, la cual presenta textura porfídica debido a que presenta fenocristales de plagioclasas con formas subhedrales a euhedrales incrustada en una matriz formada por cuarzo, plagioclasas, piroxenos, anfíboles, cloritas y carbonatos.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

**Rivera (2007)**, en su informe Características metalogénicas de los yacimientos asociados al Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el norte del Perú, región Cajamarca, indica que las secuencias volcánicas estudiadas tienen una composición que varía entre basáltica a andesítica, con una textura fuertemente porfirítica, teniendo como mineral común en diques y rocas volcánicas al clinopiroxeno, el cual forma asociaciones minerales de anhídros como la plagioclasa, clinopiroxeno y hornblenda.

**Navarro et al. (2008)**, en su artículo Centros volcánicos oligo-miocénicos (Grupo Calipuy) en la zona sur de Cajamarca, indica que el complejo volcánico Yanacocha se ha formado durante el mioceno mediante dos etapas eruptivas. Una primera etapa constituida por depósitos de flujos piroclásticos de bloques, cenizas y pómez de composición riolítica y depósitos de flujos de lava de composición andesítica, en los que observa rocas con texturas afanítica y fragmentos líticos de texturas porfídicas; y una segunda etapa generada por eventos explosivos, que han dado lugar a depósitos piroclásticos de pómez y cenizas de composición dacítica y fragmentos líticos lávicos porfiríticos y monomícticos.

**Spelucín (2017)**, en su Tesis de pregrado Caracterización petrológica de la Formación Porculla (Grupo Calipuy), Cumbemayo, Cajamarca, concluye que las rocas analizadas en su clasificación macroscópica y clasificación microscópica mediante secciones delgadas, son de composición andesítica, dacítica y riolítica. Además, en su clasificación geoquímica, haciendo uso del diagrama de TAS obtiene como resultado que las muestras del estudio corresponden a una serie magmática calcoalcalina, típico de ambiente continental relacionado a procesos de subducción, corroborando así los resultados iniciales.

## 2.2. BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.2.1. Petrografía ígnea

La petrografía es una disciplina interpretativa que forma parte de las geociencias encargada del estudio de las rocas desde un punto de vista descriptivo enfocándose fundamentalmente en la composición química, la mineralogía y la textura (Huang, 1968). Por lo tanto, podría decirse que la petrografía o estudio de las rocas, es el aspecto real de la petrología, que se encarga de describir y clasificar las rocas ígneas, mientras que la petrogénesis es el aspecto interpretativo. (Mackenzie et al.,1996). Las texturas y estructuras conservadas en las rocas ígneas aportan información sobre su evolución, emplazamiento y cristalización, todos los cuales son objetivos fundamentales de la petrología ígnea (Frost B. y Frost C., 2014). Las descripciones de las texturas ígneas documentan la forma, el tamaño y la disposición de los diversos cristales, minerales, vidrio y cavidades en la roca. Las estructuras ígneas son características de mayor escala que son el resultado de la formación de rocas.

### 2.2.2. Rocas ígneas

Las rocas ígneas son aquellas que se forman por solidificación del líquido magmático, siendo este, generalmente de composición silicatada. Cuando el magma se enfría a profundidades considerables de la corteza terrestre, la velocidad de enfriamiento es lenta, permitiendo que los cristales tengan tiempo necesario para desarrollar y formar cristales relativamente grandes. Estas rocas que cristalizan a grandes profundidades, normalmente en kilómetros, reciben el nombre de **plutónicas o intrusivas**. Cuando el magma es emitido por erupciones volcánicas a través de fallas o fracturas de la corteza terrestre, la velocidad de enfriamiento es relativamente rápido, dando lugar a la formación de cristales pequeños, microcristales o material vítreo. En este caso las rocas se denominan **volcánicas o extrusivas**. Existe una tercera clasificación, las llamadas rocas **hipoabilsales, hipovolcánicas o intrusiones menores**, las cuales se forman en diques o sills y generalmente son rocas de grano medio y microgranudas (MacKenzie y Adams, 1997).

### 2.2.3. Evolución magmática

El magma es la materia prima de las rocas ígneas. Es un líquido natural muy caliente formado principalmente por la disolución conjunta de silicatos, con algunos óxidos, sulfuros y agua, el cual se encuentra en disolución por presión; siendo el factor principal para su fluidez el

calor, no obstante, el agua reduce considerablemente la viscosidad del fluido (Huang, 1968). El magma es una masa total o parcialmente fundida que se forma debajo de la corteza terrestre, y que es capaz de migrar a través de fracturas y erupciones a la superficie, por efecto de la densidad. El fluido magmático es menos denso que la roca encajonante que lo rodea, por lo que tiende a ascender, siendo este controlado por equilibrio hidrostático. En el proceso de ascenso, la composición del magma sufre cambios por diferenciación, mezcla y contaminación (Toselli, 2010).

Entre los principales procesos de evolución magmática de un magma destacan: La asimilación, mezcla de magmas y la diferenciación magmática.

### 2.2.3.1. Diferenciación magmática

La diferenciación magmática o de fraccionamientos, son procesos mediante los cuales un magma primario homogéneo se separa en fracciones distintas, dando lugar a la formación de rocas de composición química diferentes. (Tyrrell, 1963). El proceso más importante de la diferenciación magmática es el fraccionamiento del magma resultante de la cristalización (Huang, 1968).

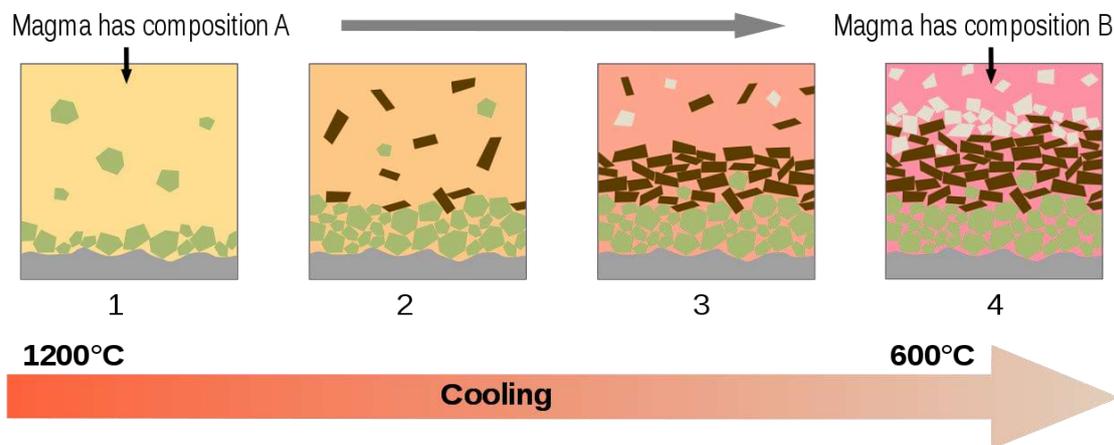


Figura 1. Proceso de diferenciación magmática. Fuente (Griem W., 2016).

### Cristalización fraccionada

La cristalización fraccionada es el proceso por el cual el magma produce componentes contrastantes, al separar los primeros cristales que se forman a temperatura de fusión típica de cada especie mineral, del fluido magmático en proceso de enfriamiento.

A medida que avanza la cristalización del magma, tiende a mantener un estado de equilibrio entre las fases sólida y líquida. No obstante, los primeros cristales que han sido formado a altas temperaturas pueden cambiar su composición o volver a disolverse contribuyendo así, a la formación de nuevos minerales que cristalizan a temperaturas de fusión más baja. Estos procesos son denominados **serie de reacción de Bowen**. Las cuales constituyen una serie de reacción continua y una discontinua. En la serie continua o serie de las plagioclasas, los primeros cristales formados son más ricos en calcio, y a medida que avanza la reacción y la temperatura disminuye, los cristales se vuelven gradualmente ricos en sodio. En la reacción discontinua los cristales máficos o ferromagnesianos, sufren cambios bruscos, debido a que estos cristales reaccionan con el líquido magmático para formar nuevos minerales con composición y estructura cristalina diferentes. Por ejemplo, el olivino se transforma en piroxeno; y el piroxeno en hornblenda (anfíbol).

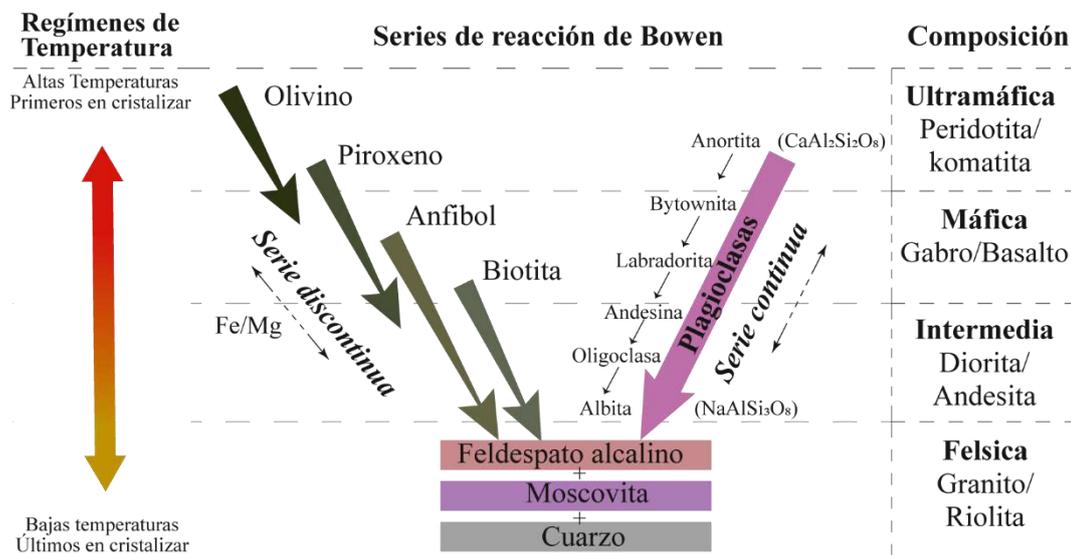


Figura 2. Series de reacción de Bowen de cristalización fraccionada (modificado de Huang, 1968).

### 2.2.3.2. Asimilación

Durante el ascenso el magma puede fundir rocas que están en contacto, incorpora fundidos, variando su composición.

### 2.2.3.3. Mezcla de magmas

Los minerales que se forman son el resultado de la contaminación del magma con rocas u otros fundidos de composición diferente.

#### 2.2.4. Clasificación de los magmas

Para clasificar los magmas se emplean diferentes criterios, entendiendo dónde y cómo se forman los magmas, la ubicación es importante al momento de clasificarlos. Los magmas generados por fusión directa de las rocas en la corteza terrestre o el manto son denominados magmas primarios, y los que luego de su formación sufren variaciones en su composición, son llamados magmas secundarios (Martínez, 2020).

##### 2.2.4.1. Magmas primarios

son los magmas que se forman directamente por fusión de las rocas de la corteza o del manto, y se clasifica de acuerdo al porcentaje de sílice.

**Magma ácido o félsico.** Es un magma que tiene un alto contenido en sílice, mayor a 63%. Es rico en iones de sodio y potasio. Es un magma viscoso que se suele consolidar en el interior de la corteza formando granito y riolita. Está relacionado las zonas de subducción a temperaturas que oscila entre los 600°C y 850°C.

**Magma intermedio.** Es un magma con un contenido de sílice que oscila entre 52% y 63%. Es menos viscoso que el magma félsico y sus lavas originan rocas como la andesita y la diorita que se cristaliza en el interior de la litosfera.

**Magma básico o máfico.** Es el magma que presenta menor cantidad de sílice (entre 45% y 53%) formados a temperaturas que bordean los 1000°C. Son ricos en iones de calcio y magnesio. Es un magma fluido que se localiza en las zonas de dorsal y forma rocas como el basalto y el gabro.

**Magma ultrabásico o ultramáfico.** Es un magma con muy baja cantidad de sílice (inferior al 45%), y muy rico en calcio y magnesio. Se encuentra a altas temperaturas que puede superar los 1700°C. Es un magma muy fluido. Se localiza en zonas de dorsal y puntos calientes. Las rocas que generan son muy densas y oscuras, como la peridotita y la komatita.

##### 2.2.4.2. Magmas secundarios

Son los que resultan de la evolución de los magmas primarios; los magmas en su ascenso experimentan una evolución y rara vez alcanzan la superficie como magmas primarios. En este caso distinguimos:

**Magma toleítico.** Se genera en las dorsales oceánicas a poca profundidad (entre 15 y 30 km de profundidad) como consecuencia de la fusión parcial de las peridotitas del manto. El

magma llega a las capas superficiales rápidamente, por lo que no hay tiempo para su evolución o diferenciación. Forma basaltos toleíticos y gabros. El porcentaje en sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en este tipo de magma es del 50%.

**Magma Alcalino.** Es un magma rico en metales alcalinos, especialmente sodio y potasio que se genera a partir de la fusión parcial de peridotitas en zonas profundas. Suele aparecer en ambientes de **rift continental** y **puntos calientes** a una profundidad de entre 30 y 70 Km. El ascenso de los magmas desde la profundidad en la que se generan proporciona el tiempo necesario para que se produzca su diferenciación. Origina basaltos alcalinos, traquitas, riolitas entre otras rocas. Su porcentaje en sílice es menor del 45%.

**Magma Calcoalcalino.** Se forma por fusión a gran profundidad (100 a 150 km) de la **corteza oceánica subducida**. Son magmas que no ascienden a la superficie por regla general debido a la profundidad en la que se forman, existiendo bastante tiempo para su diferenciación. Este magma origina **andesitas, riolitas, dioritas y granitos**. Su composición en sílice es del 60%.

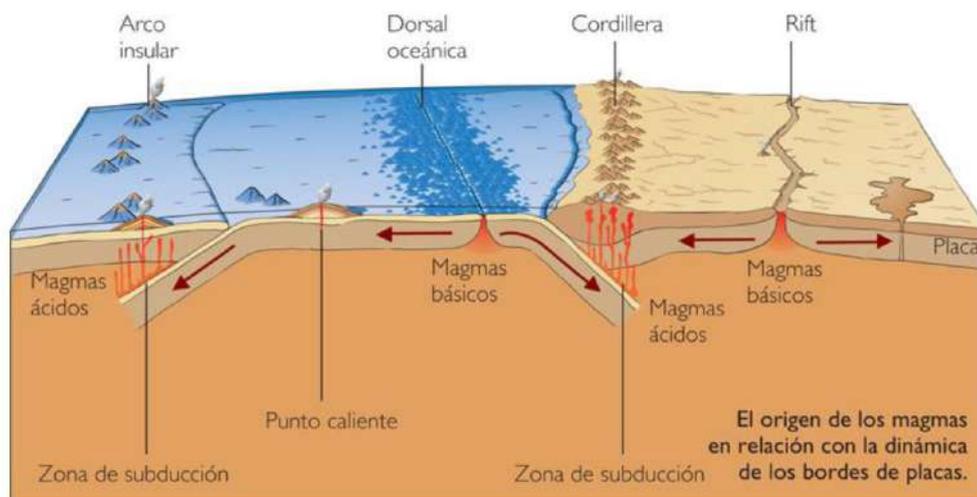


Figura 3. Zonas de origen y tipos de magma según porcentaje de sílice (Martínez, 2020).

## 2.2.5. Vulcanismo

Procesos durante los cuales el magma y sus gases asociados ascienden hacia la corteza y son emitidos hacia la superficie de la Tierra y la atmósfera (Sieron, 2017).

### 2.2.5.1. Volcán

Un volcán es una abertura en la superficie del planeta que permite que el material más caliente que su entorno se escape de su interior. Cuando este material se escapa, provoca una

erupción, que puede ser explosiva, enviando material hacia el cielo o efusiva, más tranquilo, con flujos suaves de material (NASA, 2019).

#### **2.2.5.2. Tipos de volcanes**

**Estratovolcán o volcán compuesto.** Tiene una forma exterior cónica con flancos empinados y se compone de capas de lavas y piroclastos (ceniza, bombas, etc.) alternándose. Son estructuras que pueden alcanzar 8000 metros de altura y generalmente tienen un cráter en la cima, el cual puede contener un conducto o varios. Los estratovolcanes son de composición andesítica a dacítica, la elevación que presentan es en base a la alta viscosidad del magma (Sieron, 2017).

**Caldera volcánica.** Se puede formar por erupciones explosivas o por el colapso de cámaras magmáticas someras, las cuales han sido vaciadas durante erupciones anteriores.

**volcán escudo.** Se construye sucesivamente de lavas fluidas (basálticas) que van formando un edificio con poca pendiente de máximo 7 grados en forma de escudo. Estos volcanes se construyen lentamente, cuando la lava sale del conducto central (o grupo) hacia todas direcciones y luego se enfría para formar capas con ángulos suaves. De esta manera se pueden construir edificios de grandes dimensiones (Sieron, 2017).

**Domos Volcánicos.** Presentan estructuras más pequeñas, comparadas a las anteriores, con fuertes pendientes y producto de la acumulación de lavas muy viscosas y flujos de bloques y ceniza incandescente (Ecoexploratorio, s.f.).

**Conos de escoria.** Se forman a partir de fragmentos de lava eyectados por una sola chimenea volcánica, los cuales se acumulan para formar un cono de pequeñas dimensiones, normalmente no superan los 1000 metros (Sieron, 2017).

**Maar.** Es el resultado de un evento eruptivo ocurrido por interacción entre el magma y el nivel freático o de agua subterránea, que genera erupciones explosivas, llamadas freatomagmáticas. Se caracteriza por presentar cráteres anchos y bajos, de pendientes suave (SERNAGEOMIN, 2018).

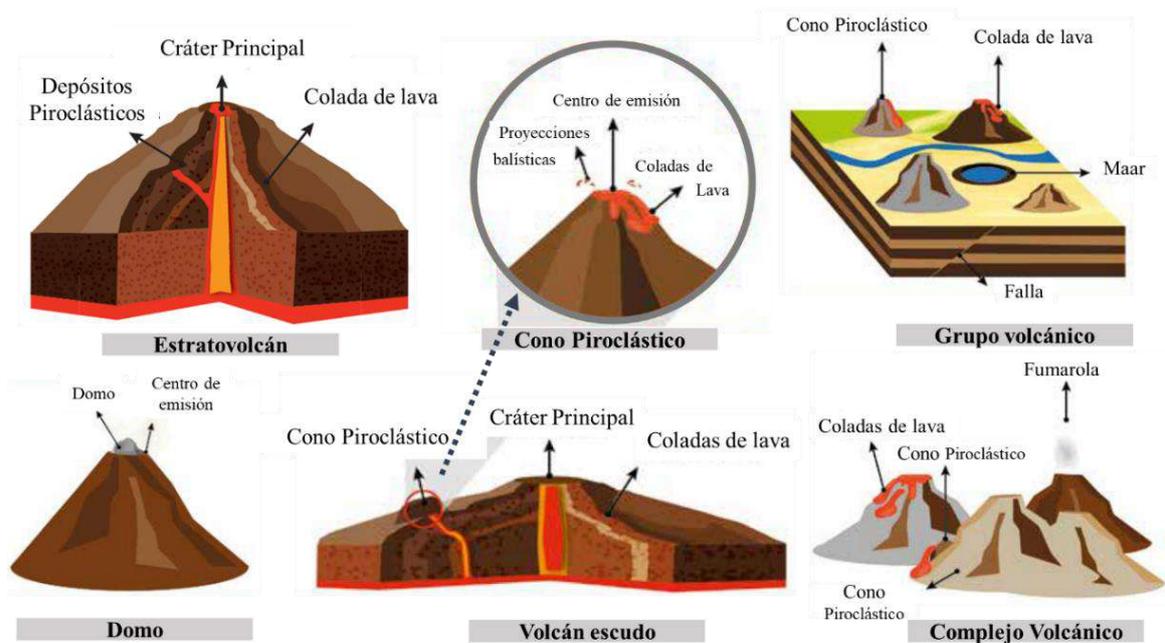


Figura 4. Representación gráfica de tipo de volcanes, (SERNAGEOMIN, 2018).

### 2.2.5.3. Tipos de erupciones

Las erupciones volcánicas en base a su actividad se pueden catalogar como explosivas y efusivas (Rodríguez, 2022). **Las erupciones explosivas**, son aquellas que salen al exterior de forma violenta y se caracterizan por la emisión de gases y piroclastos que forman columnas eruptivas que alcanzan varios kilómetros de altura por sobre los volcanes; mientras que **las erupciones efusivas**, la presión se libera paulatinamente, y se caracterizan por emitir principalmente lava durante un proceso de baja explosividad, con escasa o nula emisión de material piroclástico (SERNAGEOMIN, 2018).

De entre todas las clasificaciones de erupciones volcánicas las más conocidas son aquellas que se originan por la liberación del gas del magma, denominadas **erupciones magmáticas**, y son clasificadas por guardar cierta similitud con volcanes específicos o lugares donde suelen ocurrir (Rodríguez, 2022), nombrándose de la siguiente manera:

**Erupciones hawaianas.** Se trata de erupciones efusivas de nivel explosivo bajo, con magmas fluidos de composición basáltica y de bajos contenidos en gases. Suelen formar un lago de lava en cráter del volcán y desbordarse formando coladas rápidas de lava que dan lugar a volcanes de poca pendiente.

**Erupciones islándicas.** Son erupciones efusivas, que se generan a lo largo de una fisura en la corteza terrestre a través de la cual fluye la lava.

**Erupciones estrombolianas.** Son eventos caracterizados por pequeñas erupciones explosivas periódicas en las que se expulsan piroclastos como bombas, lapilli y cenizas, separadas por periodos de calma.

**Erupciones vulcanianas.** Se caracteriza por fuertes explosiones y por la expulsión de lava muy viscosa y grandes cantidades de ceniza. Es de carácter explosivo violento, pero de corta duración y de magnitud baja.

**Erupciones vesubianas o plinianas.** Estas erupciones se caracterizan por ser explosiones aún más violentas que las erupciones vulcanianas. Esto es debido a las altas presiones que se alcanzan en la cámara magmática. Estas erupciones también se caracterizan por la emisión de nubes ardientes en forma de pino u hongo y la expulsión de grandes cantidades de cenizas y gases tóxicos.

**Erupción peleana.** Se caracteriza por lavas extremadamente viscosas que solidifican con rapidez y que pueden llegar a tapan la salida del volcán, lo que desemboca en una gran explosión generalmente acompañada de grandes nubes ardientes y de cenizas.

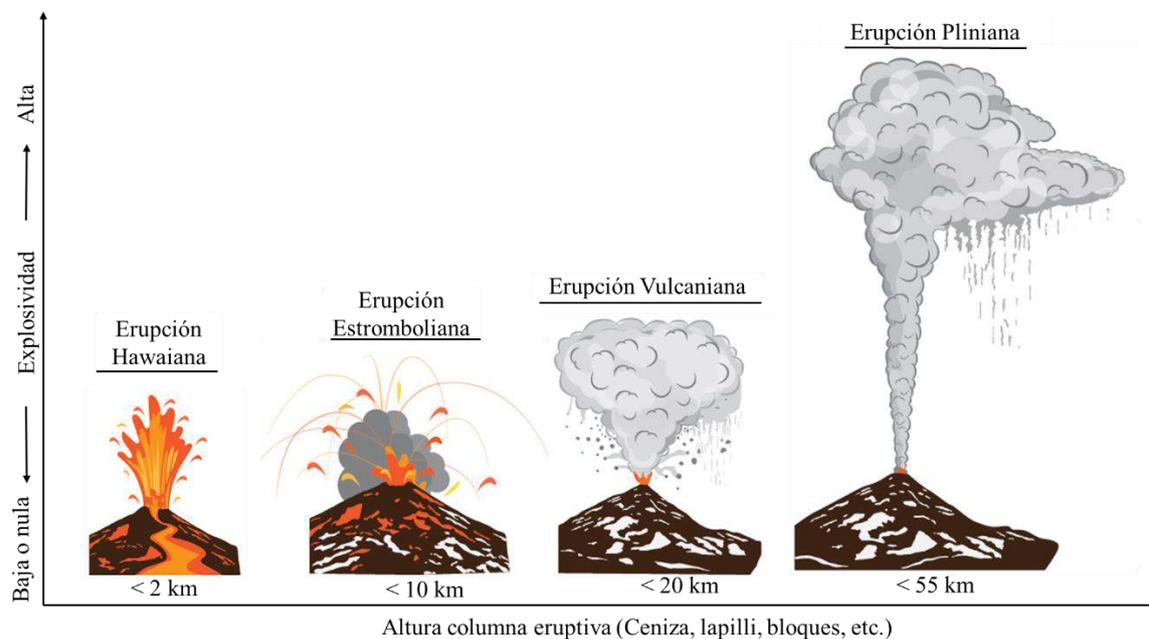


Figura 5. Representación gráfica de los tipos de erupciones volcánicas según explosividad y altura de la columna eruptiva, modificado de (SERNAGEOMIN, 2018).

#### 2.2.5.4. Productos volcánicos

**Flujo y domos de lava.** La lava es un fluido viscoso formado por roca fundida (magma), gases disueltos y fragmentos de cristales y rocas que emerge o se derrama sobre la superficie

de la tierra (SERNAGEOMIN, 2018). La composición y proporción de estos elementos, junto a la tasa de emisión, determinan su viscosidad. Es así que a mayor contenido de sílice (bióxido de silicio, SiO<sub>2</sub>), la lava será menos fluida. Por ejemplo, la lava basáltica con bajo contenido de sílice puede formar corrientes de movimiento rápido (de 16 a 48 kilómetros por hora) o se puede esparcir en amplias capas delgadas de hasta varios kilómetros de amplitud. En caso opuesto los flujos de lava de andesita y dacita que tienen mayor contenido de sílice, tienden a ser espesos y lentos, viajando solamente distancias cortas desde el punto en que son emitidos, y generan coladas de bloques o incluso domos (USGS, 2000).

**Flujos Piroclásticos.** Son una combinación de ceniza caliente, gas y rocas volcánicas que viajan a ras de suelo, que pueden descender por los flancos de un volcán durante erupciones explosivas o cuando un domo de lava que está creciendo se colapsa y se rompe en pedazos (USGS, 2000). Estos flujos piroclásticos son de alta temperatura cercanos a los 900°C y velocidad entre 100 a 500 km/h, y es altamente destructivo (SERNAGEOMIN, 2018).

Este material incandescente que expulsan los volcanes, puede corresponder a porciones de magma impulsadas desde el cráter, solidificándose en el aire a ceniza y polvo de roca, cristales y vidrios emitidos durante erupciones explosivas, las cuales se clasifican de acuerdo a su tamaño en, ceniza si su diámetro promedio es inferior a 2 mm, lapilli, cuando su diámetro oscila entre 2 y 64 mm o bombas y bloques si su diámetro es superior a 64 mm.

**Lahares.** Son denominados flujos de lodo o flujos de escombros compuestos principalmente de materiales de los flancos de un volcán, principalmente de fragmentos volcánicos, cuyo agente de transporte es el agua. Se puede formar por fusión repentina de hielo o nieve o por la combinación de ambos durante una erupción, o por el arrastre de material no consolidado en las laderas de un volcán durante lluvias torrenciales, desplazándose generalmente por los cauces que descienden de un edificio volcánico a velocidades que pueden superar los 100 km/h y con consecuencias altamente destructivas (SERNAGEOMIN, 2018).

**Avalancha volcánica.** También denominado deslizamiento volcánico, es un movimiento rápido pendiente abajo de material rocoso, de tamaños variables, desde pequeños movimientos de escombros poco consolidados, hasta el colapso total o parcial de un edificio volcánico (USGS, 2000). Se desplazan a grandes velocidades que alcanzan los 300 km/h y arrastra bloques de varias toneladas y metros de diámetros (SERNAGEOMIN, 2018).

**Columnas y Nubes Eruptivas.** Son fragmentos pequeños de vidrio volcánico, minerales y roca (ceniza), menores a 2 mm de diámetro, que se elevan muy alto en el aire, formando una

enorme y turbulenta **columna eruptiva**. Estas crecen aceleradamente y alcanzan más de 20 kilómetros sobre el centro de emisión en menos de 30 minutos, formando una **nube eruptiva** (USGS, 2000), que puede ser dispersada lateralmente, según la dirección predominante del viento, como también por difusión atmosférica, formando un penacho volcánico desde donde precipitan piroclastos (ceniza) a la superficie terrestre (SERNAGEOMIN, 2018).

**Gases Volcánicos.** Los volcanes emiten gases durante las erupciones, e incluso cuando estos no están en erupción a través de las grietas del subsuelo que facilitan el movimiento de los gases hacia la superficie a través de pequeñas aberturas denominadas **fumarolas** (USGS, 2000). Los principales gases que libera un volcán suelen ser vapor de agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido sulfhídrico, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico (SERNAGEOMIN, 2018).

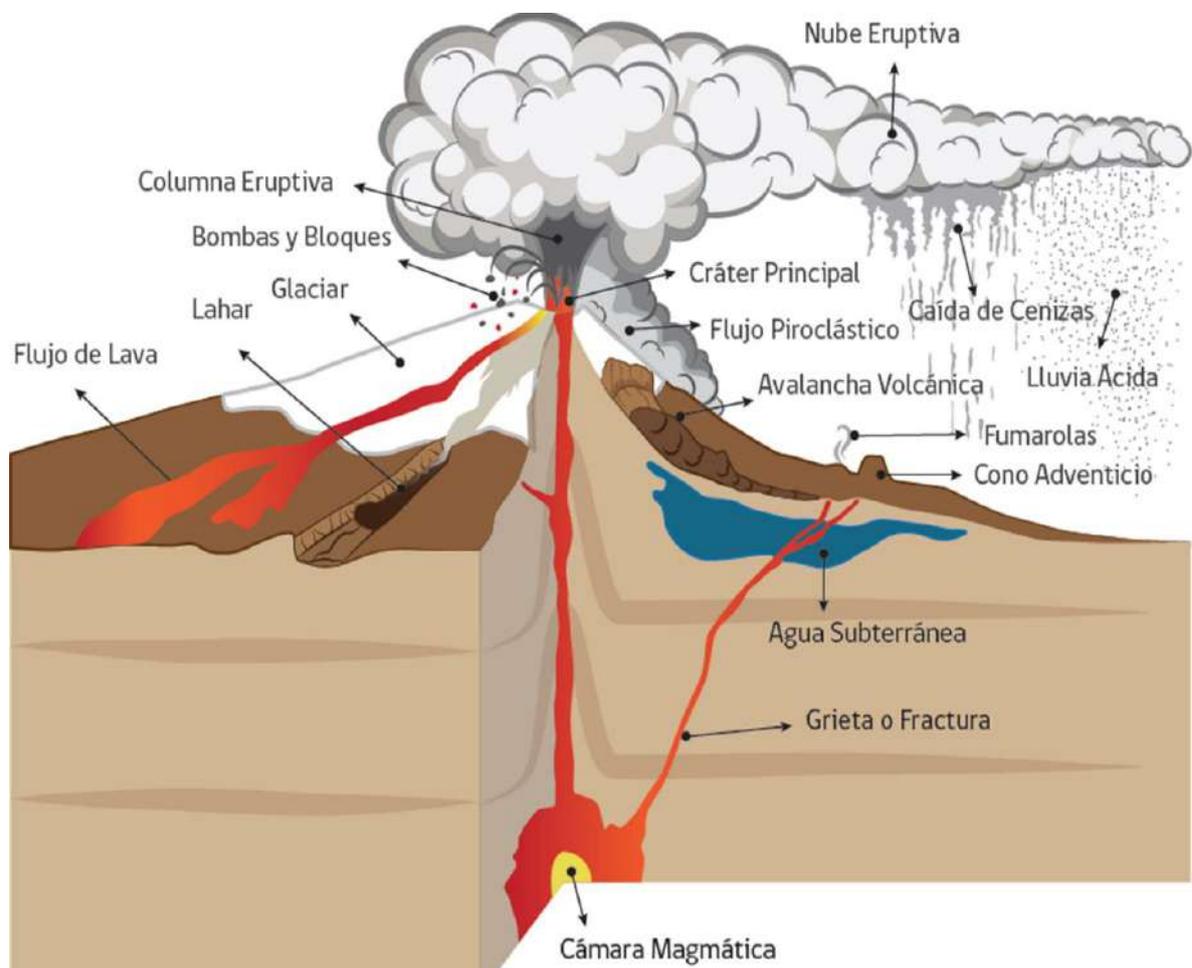


Figura 6. Representación gráfica de los productos volcánicos que son emitidos durante una erupción volcánica (SERNAGEOMIN, 2018).

## 2.2.6. Minerales formadores de rocas ígneas

Las rocas ígneas casi en su totalidad están compuestas fundamentalmente por un reducido número de minerales de silicato y minerales ferromagnesianos, que son los más comunes de la serie de Bowen, como el cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino, moscovita, biotita, hornblenda, piroxeno y olivino. Estos minerales formadores de rocas ígneas se agrupan en tres grupos:

### 2.2.6.1. Minerales félsicos

Se refiere a los silicatos de color claro que se caracterizan por ser transparentes y tener un bajo índice de refracción. Los más comunes son el cuarzo, las plagioclasas, los feldespatos alcalinos, la moscovita, y los feldespatoides.

### 2.2.6.2. Minerales máficos

Conocidos también como ferromagnesianos, se refiere a los minerales oscuros que forman parte fundamental de la serie discontinua de Bowen. Los más abundantes en las rocas ígneas son la biotita, hornblenda, piroxeno y olivino.

### 2.2.6.3. Minerales accesorios

Presentes en pequeñas cantidades, que suelen consistir en apatita, circón, titanita, epidota, óxidos, sulfuros, o un producto de alteración de silicatos como la clorita y los carbonatos.

De acuerdo a estos términos se puede clasificar a las rocas como **félsicas**, cuando una roca está compuesta principalmente por minerales félsicos, rocas **máficas** cuando una roca tiene con componentes a minerales que son fundamentalmente máficos; y **rocas ultramáficas** cuando una roca conformada por más del 90% de minerales máficos (Winter, 2014).

## 2.2.7. Características texturales de las rocas ígneas

La textura de una roca es el resultado de una serie de procesos que controlaron la formación de la roca, y junto a su mineralogía y composición química, aporta valiosa información que podemos usar para explicar el origen y la historia de una roca (Winter, 2014). Las texturas de las rocas ayudan a explicar cómo cristalizan las rocas ígneas, debido a que pueden proporcionar información sobre la velocidad de enfriamiento y cristalización y las relaciones de fase entre los minerales y el magma en el momento de la cristalización; en ese sentido la textura de una roca se refiere a su apariencia a pequeña escala, centrándose principalmente

en el tamaño, la forma y la disposición de sus fases constitutivas, incluyendo los minerales, el vidrio y las cavidades (Frost B. y Frost C., 2014). Por lo tanto cuando nos referimos a la textura de una roca, estamos hablando de la disposición geométrica de los granos, los cristales, las cavidades y el vidrio o material vítreo que conforman la roca, mediante la cual se suele cuantificar una serie de componentes texturales, tales como el tamaño, la forma y la orientación de los granos, cristales y cavidades (Higgins , 2006).

Los criterios texturales generalmente se consideran en primer lugar, porque la textura proporciona evidencia importante de la procedencia de la roca y permite la clasificación en categorías genéticas más amplias. Es así que, al realizar un análisis descriptivo de las rocas ígneas en primer lugar se debe determinar si es fanerítica, es decir si los minerales que componen la roca tienen una medida mayor a 1 mm y por lo tanto son fácilmente visibles al ojo humano; afanítica, si los cristales tienen una medida menor a 0.1 mm y son relativamente pequeños que no se pueden identificar a simple vista; o fragmentario, si la roca está formada por restos de material ígneo, trozos de roca preexistente o fragmentos de cristal o vidrio que han sido depositados y posteriormente compactado y soldado dando origen a las rocas piroclásticas. Al tener en cuenta estas tres categorías se puede deducir la velocidad de cristalización de los minerales que componen las rocas, aquellas que tienen granos o cristales bien desarrollados se han formado lentamente bajo la superficie de la tierra dando origen a las rocas plutónicas o intrusivas; los cristales poco desarrollados y de diámetro relativamente pequeño o matriz vítrea han cristalizado rápidamente en la superficie de la tierra y han dado origen a las rocas volcánicas o extrusivas, y finalmente están las rocas piroclásticas o fragmentarias que son el resultado de una explosión o colapso volcánico (Winter, 2014).

Mackenzie et al. (1996), indica que las texturas son el ordenamiento o disposición geométrica de los cristales y materiales amorfos como vidrio o gas en las cavidades que componen las rocas, y por lo tanto estas se deben clasificar teniendo en cuenta cuatro parámetros texturales, la cristalinidad, el tamaño de los cristales, la morfología de los cristales y las relaciones mutuas de los cristales o componentes amorfos.

#### **2.2.7.1. Grado de cristalización o cristalinidad**

La cristalinidad está determinada por factores como la viscosidad y la velocidad de enfriamiento del magma e indican las proporciones relativas de los materiales cristalinos y amorfos que componen las rocas. Las rocas ígneas tienen una cristalinidad diversa, y se utiliza términos como holocristalina, para referirse a las rocas formadas en su totalidad por

cristales que han tenido tiempo suficiente para alcanzar un alto grado de cristalización; holohialina, cuando la roca está compuesta en su totalidad por vidrio volcánico debido a que ha tenido una historia de enfriamiento lo suficientemente rápida que no ha dado lugar a la formación de ningún cristal; y términos como hipocristalina, holohialina o merocristalina, cuando la roca está formada por proporciones más o menos similares de cristales y materiales amorfos.

**La textura holocristalina**, lo presentan todas las rocas plutónicas, como también lo pueden presentar las rocas volcánicas, y se caracterizan porque la proporción de cristales a material amorfo es mayor de 90% a 10%.

**Textura holohialina.** Esta textura se produce cuando el enfriamiento del magma es lo suficientemente rápido y no hay tiempo para que los cristales se desarrollen (Lopez y Bellos, 2006), por lo que la proporción de vidrio volcánico a material cristalino que forman la roca es mayor del 90% (Castro, 2015).

**Textura hipocristalina.** Sugiere que la roca tuvo una historia compleja, donde al menos ha sufrido dos etapas de enfriamiento del magma diferentes, una primera más lenta que permitió el desarrollo de los cristales, y una segunda etapa más rápida que ha dado lugar a la formación de material vítreo (Lopez y Bellos, 2006). La roca está compuesta por una mezcla de cristales y material vítreo, sin que ninguno de los componentes supere el 90% (Castro, 2015).

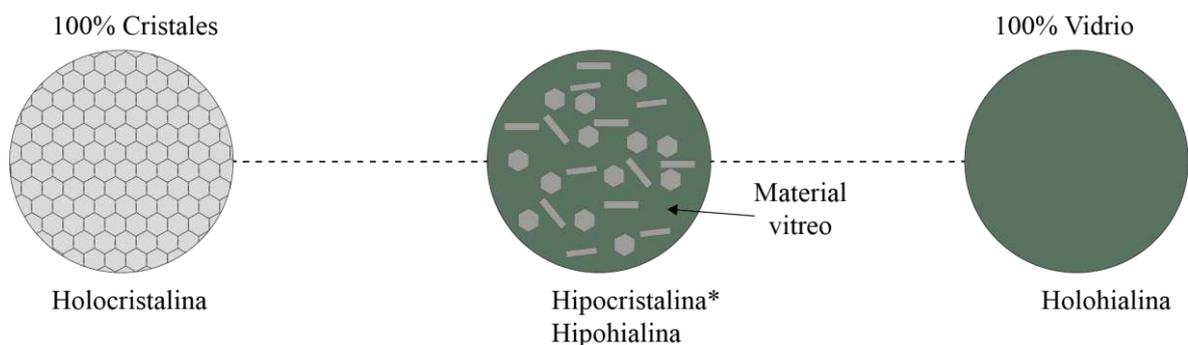


Figura 7. Textura de las rocas ígneas según el grado de cristalización o cristalinidad, modificado de (Mackenzie et al., 1996).

#### 2.2.7.2. Tamaño de los cristales

De la misma forma como sucede con el grado de cristalización, el tamaño de los cristales está controlado por la interacción de variables como la velocidad de enfriamiento y la

viscosidad del líquido magmático, además de otros factores importantes, como la concentración molecular del material cristalizante en el magma y las condiciones ambientales estacionarias o de perturbación que prevalecen durante la cristalización (Huang, 1968). El tamaño del cristal de roca es un parámetro descriptivo y genético de gran importancia tanto en las descripciones petrográficas como en los estudios petrogénicos. Por el tamaño de los cristales se derivan las siguientes clasificaciones texturales:

**Textura fanerítica o fanerocristalina.** Cuando los cristales de los minerales principales que conforman la roca son identificables a simple vista o con una lupa o lente de mano, pero sin ayuda del microscopio (Castro, 2015). Las rocas faneríticas pueden dividirse de acuerdo a las dimensiones de los cristales, si el diámetro de los cristales es superior a 5 mm se dice que es de grano grueso, cuando dicho diámetro se encuentra entre 1 mm a 5 mm se conoce como de grano medio, y de grano fino cuando las dimensiones de los cristales son inferiores a 1 mm. Las expresiones anteriores se aplican mejor a rocas de grano uniforme o equigranulares con aproximadamente el mismo tamaño de grano (Huang, 1968).

**Textura afanítica.** Cuando los minerales no son identificables ni con ayuda de una lupa o lente de mano. El término afanítico se emplea en ocasiones para designar rocas con matriz vítreo o microcristales que no se pueden ver a simple vista pero que contienen fenocristales como componentes. Existen dos variedades de esta textura.

**Textura Microlítica o microcristalina.** Los cristales que componen la roca pueden ser reconocibles en lamina delgada o con un microscopio petrográfico. Los cristales pequeños alargados (menos de 0.01mm) lo suficientemente grandes para mostrar los colores de polarización se denominan microlitos.

**Textura criptocristalina.** Los cristales no pueden ser reconocibles incluso en el microscopio debido a que son demasiado pequeños. Los cristales en forma de globos, de listón y de cabello, son extremadamente pequeños para mostrar los colores de polarización, son llamados cristalitos (Mackenzie et al., 1996).

Tabla 1. Clasificación de las rocas según el tamaño de los cristales (Castro, 2015).

Categorías		Diámetro (mm)
Faneríticas	Grano grueso	>5 mm
	Grano medio	1 mm – 5 mm
	Grano fino	0.1 mm – 1 mm
Afaníticas	Grano muy fino	Microcristalina Criptocristalina

## Dimensiones absolutas de los cristales

Hace referencia al tamaño de los cristales de una roca medidos generalmente en unidades milimétricas. En petrografía, no existe un estándar único para determinar los límites de los diferentes tamaños de grano. Sin embargo, existen rangos del diámetro de los cristales que se usan con más frecuencia. Se dice que es de **grano muy fino** cuando el diámetro promedio de los cristales es inferior a 0.1 mm; de **grano fino**, cuando la dimensión media de los cristales se encuentra entre 0.1 mm a 1 mm; **grano medio**, cuando el diámetro de los cristales oscila entre 1 mm y 5 mm; y **grano grueso** cuando el tamaño promedio de los cristales es superior a 5 mm (González, 2008).

Tabla 2. Tamaño absoluto de los cristales (Mackenzie et al., 1996).

Nomenclatura	Diámetro promedio
Grano grueso	>5 mm
Grano medio	1 mm – 5 mm
Grano fino	0.1 mm – 1 mm
Grano muy fino	<1 mm



Figura 8. a) Tamaño absoluto de los cristales con un aumento de 27X, gabro de grano fino; b) gabro de grano medio; c) gabro de grano grueso (Mackenzie et al., 1996).

## Dimensiones relativas de los cristales

Es la comparación de las dimensiones de los cristales de todos los minerales que conforman la roca, los cuales pueden ser **equidimensionales**, donde todos los granos tienen aproximadamente el mismo tamaño, o **inequidimensionales** donde los cristales tienen dimensiones diferentes. Las rocas equigranulares presentan una **textura granosa, granuda o granular**, la cual está formada por minerales fenocristalinos equidimensionales, con una distribución unimodal de tamaños, lo que indica una única historia de enfriamiento, con bajo contraste térmico entre el cuerpo ígneo y las rocas caja u hospedantes.

Las rocas equidimensionales pueden presentar texturas porfídicas o seriadas. **Las texturas porfídicas**, se caracteriza por presentar fenocristales, los cuales son de dimensiones relativamente grandes incluidos en una matriz de microcristales o vidrio volcánica. Una variedad es la **textura vitrofídica**, y se utiliza cuando la matriz que contiene a los fenocristales es material vitreo. **Las texturas seriadas**, describen a los cristales que se muestran con todos los tamaños posibles, y disminuyen gradualmente y de forma progresiva (González, 2008).

### **2.2.7.3. Forma de los cristales**

La forma de los cristales se refiere a la mayor o menor predisposición a desarrollar caras cristalinas de una determinada especie mineral. Aunque algunos minerales muestran una marcada predisposición a desarrollar formas regulares, su morfología depende de una variedad de factores ambientales, tales como la velocidad de enfriamiento y el lugar que ocupa en la secuencia de cristalización (Castro, 2015). La forma de los cristales indica el entorno en que se desarrollaron. Los cristales euhedrales se forman en condiciones como el enfriamiento lento del magma a profundidad, y la cristalización se produce en un medio fluido de baja densidad relativamente inalterado por los cristales adyacentes. Por el contrario, los cristales anhedrales se desarrollan de esta manera porque su crecimiento se ve obstaculizado por factores como un entorno perturbador, la reacción con el magma y la yuxtaposición de otros cristales en crecimiento (Huang, 1968). Se usan dos tipos de términos para describir las formas de los cristales, los que están asociados al desarrollo de las caras de los cristales y los que son específicos de formas tridimensionales de cristales individuales.

Términos que indican el tipo de desarrollo de las caras cristalinas son:

**Euhedrales.** Son los que presentan caras cristalinas verdaderas o propias de su especie perfectamente desarrolladas.

**Subhedrales.** Se usa para una etapa intermedia de desarrollo debido a que tienen forma verdadera cristalina solo en parte del cristal.

**Anhedrales.** Los cristales no poseen caras verdaderas o posee una forma ajena a la propia de su estructura cristalina.

Existen términos equivalentes para describir el mismo fenómeno como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Términos equivalentes para describir la forma de los cristales. Modificado de (Mackenzie et al., 1996).

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Definición</b>
Euhedrales	Automorfo	Idiomorfo	Cristal completamente limitado por caras cristalinas
Subhedrales	Subautomorfo	Subidiomorfo	Cristal parcialmente limitado por caras cristalinas
Anhedrales	Xenomorfo	Alotriomorfo	Cristal sin caras específicas

Respecto a **los términos que describen las formas cristalinas en tres dimensiones**, se utilizan términos tridimensionales generales para designar a los cristales que pueden tener dimensiones iguales o desiguales. **Equidimensionales** para referirse a minerales con tres diámetros aproximadamente iguales; **inequidimensionales** para describir a los cristales con dimensiones desiguales que tienen una morfología regularmente definida y que se clasifican como tabulares, prismáticos e irregulares. Los minerales tabulares forman laminas, tabletas, placas y hojuelas, como, por ejemplo, las cloritas, micas y algunos feldespatos en laminas delgadas que se describen habitualmente como si tuvieran forma de listones por alusión a las formas tabulares. La hornblenda, la sillimanita y la turmalina son ejemplos comunes que describen a los minerales prismáticos, los cuales se presentan en forma de barras, prismas y agujas.

Por último, se utiliza **términos tridimensionales específicos** para referirse a cierto número de cristales que adquiere formas esqueléticas, dendríticas y engolfadas. Los cristales esqueléticos consisten en huecos o cavidades, a veces con una forma regular, generalmente de acuerdo con una determinada orientación cristalográfica. En laminas delgadas, estos espacios aparecen como golfos o cavidades dentro del cristal rellenos de microlitos o vidrio de la matriz. Los cristales dendríticos tienen la misma orientación óptica y forma una red ramificada que se asemeja a la apariencia de un árbol o los nervios de una pluma o una hoja (Mackenzie et al., 1996).

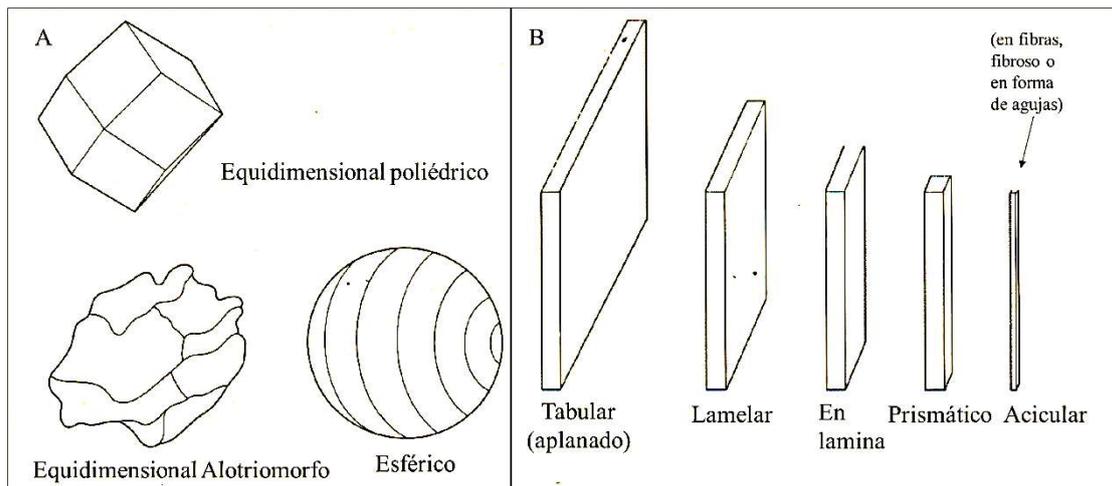


Figura 9. A) Ejemplos de formas cristalinas equidimensionales; B) formas cristalinas inequidimensionales tomado de (Mackenzie et al., 1996).

#### 2.2.7.4. Relaciones mutuas de los cristales y de materiales amorfos

Algunas rocas pueden presentar texturas que dependen de las relaciones mutuas de los cristales e incluso de los materiales amorfos que lo componen. Los diversos tipos de texturas que se cita en este apartado se describen a partir de las formas granudas con minerales equidimensionales (equigranudas), inequigranulares como son las texturas porfídicas, direccionales u orientadas, de intercrecimiento, zonadas, con cavidad, radiales, entre otras. Estas texturas pueden pertenecer a distintas categorías, que pueden estar definidos por parámetros como el tamaño de los cristales, la forma de los cristales y el grado de cristalización (Mackenzie et al., 1996).

##### Texturas equigranulares

Son aquellas donde todos los cristales que conforman la roca son aproximadamente del mismo tamaño, dando la apariencia de una roca con granos uniformes, esto indica que la velocidad de enfriamiento y nucleación ha estado en equilibrio una respecto de la otra.

**Textura panidiomórfica.** Cuando los cristales que conforman la roca son euhedrales (idiomorfos) en su mayoría con dimensiones similares.

**Textura hipidiomórfica.** La mayor parte de los cristales que componen la roca son subhedrales (subidiomorfos).

**Textura alotriomórfica o panalotriomorfa.** Cuando la mayor parte de cristales que forman la roca son anhedrales (xenomorfos) de tamaño parecido.

Tabla 4. Texturas granudas con minerales equidimensionales, modificado de (Mackenzie et al., 1996).

<b>Nombre</b>	<b>Sinónimos en texturas granudas</b>	<b>Definición</b>
Panidiomórfica	Granuda automorfa	Granuda panidiomorfa Cristales automorfos o euhedrales de igual tamaño
Hipidiomórfica	Granuda subautomorfa	Granuda hipidiomorfa Cristales subidiomorfos o subhedrales de igual tamaño
Alotriomórfica	Granuda xenomorfa	Granuda panalotriomorfa Cristales xenomorfos o alotriomorfos de igual tamaño

### **Texturas inequigranulares**

Son aquellas donde los cristales constitutivos de la roca tienen dimensiones bien diferenciadas y son de tamaños variados. El término equigranular incluye siete tipos de texturas, tales como, porfídica, glomeroporfídica, dimensional seriada, poiquilitica, ofítica o dolerítica, subofítica e intersticial.

**Textura porfídica o porfirítica.** Cuando la roca está conformada por macrocristales o fenocristales incrustados en una matriz de microcristales o material vítreo (Castro, 2015).

**Textura glomeroporfídica.** Es una textura porfídica donde los fenocristales de una roca se agrupan formando agregados o nódulos como si estuvieran aislados unos con otros, los cuales están rodeados por una mesostasis de cristales más finos o material vítreo. Es importante indicar que los agregados o nódulos de fenocristales pueden estar conformados por más de una especie mineral. El término glomeroporfídico se utiliza en ocasiones para describir únicamente a grupos de cristales equidimensionales (Mackenzie et al., 1996).

**Textura dimensional seriada.** Los cristales de los minerales principales se han formado en distintos momentos de manera secuencial en una gama dimensional continua, mostrándose una variación en el tamaño de los cristales de forma gradual (Mackenzie et al., 1996).

**Textura poiquilitica.** Es un tipo de textura inequigranular en el que cristales de gran tamaño incluyen o engloban otros cristales de una o más especies minerales de menor tamaño, los cuales son de dimensiones parecidas y se disponen de manera aleatoria. El cristal huésped se denomina oikocristal y los cristales incluidos se denominan cadacristal

**Textura ofítica.** Denominada también como dolerítica, es un tipo de textura poiquilitica, donde grandes cristales de clinopiroxeno denominados oikocristales, incluyen cadacristales

desordenados de plagioclasa de menor tamaño, con características euhedrales a subhedrales (González, 2008).

**Textura subofítica.** Es una variedad de la textura ofítica donde los cristales de plagioclasa de menor tamaño (cadcristales) se encuentran parcialmente incluidos por cristales relativamente grandes de clinopiroxeno (oikocristal), es decir solo una parte de los cristales de plagioclasa está rodeado por el piroxeno y la parte restante está afuera de este. (González, 2008).

**Textura intersertal.** Se describe cuando los cristales de plagioclasa que presentan intersticios angulosos son rellenados de manera parcial o en su totalidad por material parcialmente cristalizado o por material vítreo. El material que rellena las cavidades en ocasiones puede alterarse a minerales como clorita, palagonita, analcima o minerales arcillosos (Mackenzie et al., 1996).

#### **Texturas orientadas, alineadas y dirigidas**

**Textura traquítica.** Es una textura holocristalina o hipocristalina, afanítica y microcristalina, que consta de microlitos de feldespato alcalino o plagioclasa incluidos en una pasta holocristalina o hipocristalina, los cuales están orientados en forma paralela a subparalela a las líneas de flujo magmático. Esta textura no es exclusiva de las traquitas, ya que también se pueden identificar en rocas andesitas y dacitas. (González, 2008).

**Textura traquitoide.** Cuando los cristales de feldespato y plagioclasas con formas tabulares u hojosos orientados subparalelamente, son visibles a simple vista.

**Textura de crecimiento paralelo o en peine.** Esta textura exhibe cristales con formas alargadas, ramificadas, en ciertas ocasiones curvos, con una misma dirección de alargamiento.

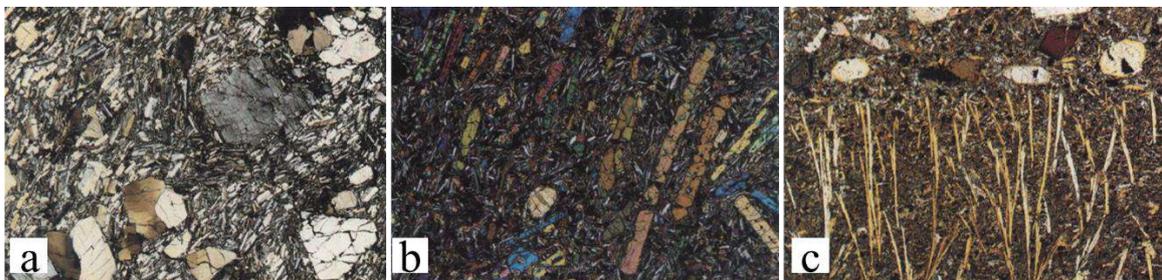


Figura 10. Texturas orientadas, dirigidas y alineadas, a). textura traquítica en una roca traquita; b) textura traquitoide en una dolerita olivínica; c) textura de crecimiento paralelo (Mackenzie et al., 1996).

## Texturas de intercrecimiento

Estas texturas describen la forma como se muestra el contacto entre dos cristales en lamina delgada, pudiendo presentarse de manera rectilínea, curva o irregular; en el último caso, los cristales están indentados o interdigitados, en ocasiones de forma tan íntima que parecen estar cristalizados uno en otro. Generalmente los cristales son xenomorfos, pero, un cristal o varios pueden tener formas esqueléticas, dendríticas o radiales.

**Textura consertal.** El contacto entre los cristales forma entalladuras, interdigitaciones e indentaciones.

**Textura simplectítica.** Es el intercrecimiento íntimo entre dos cristales de cualquier especie mineral diferentes a la plagioclasa y el cuarzo, que se caracteriza por presentar al menos un cristal con formas vermiculares (González, 2008).

**Textura mirmequítica.** Cuando el intercrecimiento simplectítico descrito líneas arriba se produce entre el cuarzo con forma vermicular y la plagioclasa. Es importante recordar que el termino mirmequítica deriva del griego murmekites, cuyo significado es “con aspecto de hormiga”.

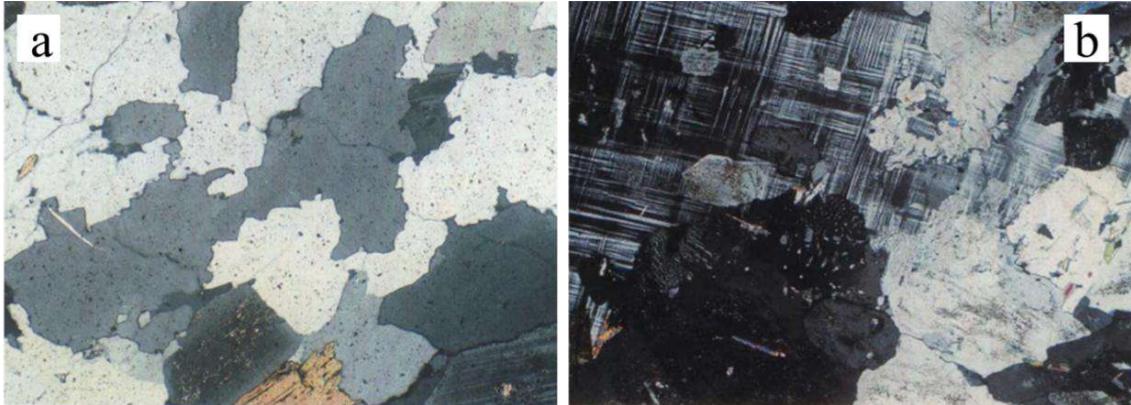


Figura 11. a) Texturas de intercrecimiento consertal en una granodiorita; b) textura mirmequítica de un granito (Mackenzie et al., 1996).

**Textura micrográfica o gráfica.** Se debe al intercrecimiento simultáneo del cuarzo y el feldespato potásico, aunque no está asociado exclusivamente a estas dos especies minerales. Esta textura describe el aspecto de un cristal que engloba a varios cristales con formas cuneiformes, siendo el caso más difundido el cuarzo que forma cuñas angulares en la ortosa.

**Textura granofírica.** Es un tipo de textura de intercrecimiento micrográfico del cuarzo y la ortosa que presentan una orientación radial.



Figura 12. a) Texturas de intercrecimiento grafica de un granito; b) texturas micrográficas y granofíricas de un granito (Mackenzie et al., 1996).

**Textura intrafasciculada.** Describe a los cristales de plagioclasas con formas prismáticas y con cavidades que son rellenados por otros minerales fundamentalmente piroxenos.



Figura 13. Textura de intercrecimiento intrafasciculada de una dolerita (Mackenzie et al., 1996).

### **Texturas radiales**

En las texturas radiales son características de las rocas microlíticas, pero no exclusivas de estas, donde los minerales de formas alargadas crecen a partir de un núcleo común. Los cristales habitualmente de piroxeno, plagioclasas y olivino se muestran en forma de abanico, en nudo de corbata, esferulítica, variolítica entre otras formas radiales.

**Textura esferulítica.** Los esferulitos son cuerpos aproximadamente esféricos que consta de un grupo de minerales fibrosos de forma radial que nacen a partir de un núcleo en común y

que están rodeados por otros cristales o vidrio volcánico. La forma más habitual de la textura esferulítica son los agregados radiales de feldespatos alcalinos aciculares, con vidrio u otros minerales como el cuarzo, creando una textura de intercrecimiento.

**Textura variolítica.** Es una disposición en forma de abanico de fibras divergentes ramificadas, generalmente de cristales de plagioclasas en forma de fibras, donde el espacio intersticial es ocupado por microcristales de piroxeno, olivino, materiales opacos o vidrio volcánico.



Figura 14. Texturas radiales, a) esferulito de una riolita; b) dolerita variolítica con olivino, (Mackenzie et al., 1996).

#### 2.2.7.5. Texturas en rocas volcánicas

**Textura porfírica.** Caracterizada por la presencia de fenocristales rodeados de material volcánico compuesta por microcristales o vidrio volcánico o por la combinación de ambos componentes. De esta textura deriva la textura *microporfírica*, cuando en la matriz predominan los microcristales; y *vitrofírica* si la matriz está compuesta por material vítreo. (González, 2008).

**Textura lamprofírica.** Es una textura de tipo porfírica donde los fenocristales están compuestos únicamente por minerales máficos, como el olivino, el piroxeno, el anfíbol o la biotita (González, 2008).

**Textura felsítica.** Es característica de las rocas volcánicas de composición ácida a intermedia, constituido por microcristales equidimensionales y xenomorfos de minerales claros, generalmente cuarzo y feldespatos, que se encuentran formando una matriz microcristalina a criptocristalina (González, 2008).

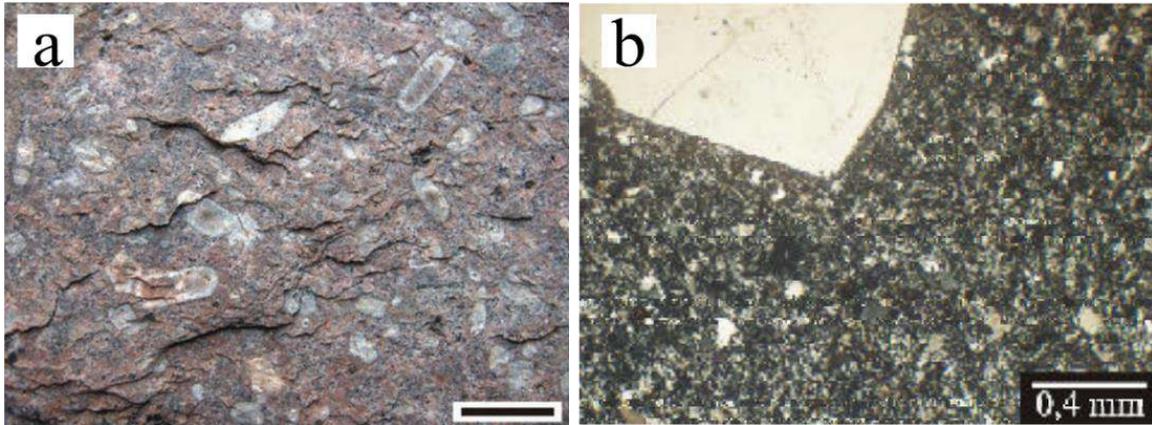


Figura 15. a) Textura porfírica con fenocristales de plagioclasa zonal y pasta afanítica (González, 2008); b) textura felsítica en la matriz de una roca dacita (Lopez y Bellos, 2006).

**Textura intergranular.** La roca presenta una red de microlitos o microfenocristales tabulares de plagioclasa xenomorfa con cavidades ocupados por microcristales equigranulares de piroxeno, olivino o minerales opacos.

**Textura perlítica.** Típico de rocas con elevado contenido de vidrio que presentan un sistema interconectado de fracturas concéntricas con formas circulares o redondeadas llamadas grietas perlíticas, que se forma cuando una porción de vidrio se hidrata respecto a los otros componentes de la roca.

**Textura traquítica.** La roca está formada por microfenocristales y feldespato alcalino o plagioclasa tabulares orientados en forma paralela a subparalela a las líneas de flujo magmático.

**Textura pilotáxica.** Esta textura es común en la matriz de las rocas volcánicas mesosilíceas como las andesitas, y se caracteriza por presentar microfenocristales (microlitos) o tablillas idiomorfas a subidiomorfas de feldespatos dispuestos sin una orientación definida.

**Textura hialofítica.** Es característica de las rocas andesitas y los basaltos, donde el vidrio es mayor a 30% y menor al 80%. Las plagioclasas tabulares guardan distancia entre sí y se encuentran libres en una matriz rica en material vítreo, y pueden disponerse con una orientación paralela a las líneas de flujo o pueden estar desordenadas o al azar. Es una variedad de la textura traquítica.

**Textura hialopilítica o vítrea.** El componente principal es el vidrio volcánico con un porcentaje mayor al 80%, donde los microlitos o microfenocristales son escasos y se

encuentran incrustados en el vidrio completamente libres de interferencias con los microlitos vecinos (González, 2008).

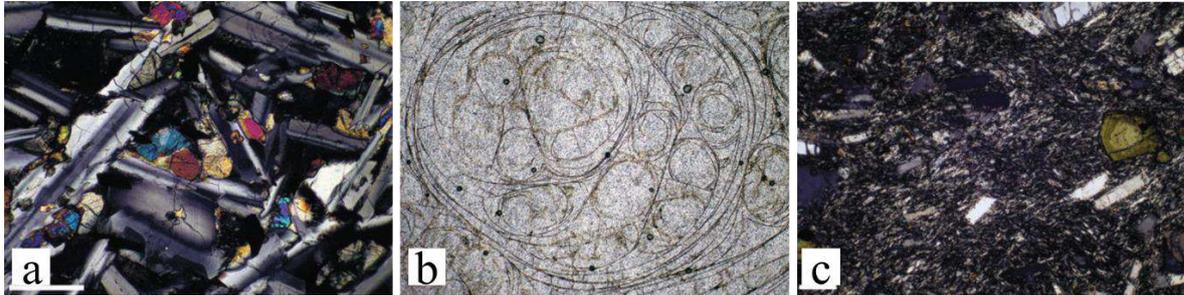


Figura 16. a) Textura intergranular de en un basalto olivínico; b) textura perlítica, donde se evidencia grietas perlíticas interconectadas; c) textura traquítica en una traquiandesita donde se muestra cristales orientados por el flujo magmático (González, 2008).

**Textura vesicular.** Esta textura presenta cavidades de formas esferoidales, ovoidales o irregulares denominadas vesículas, formadas por el escape de gases de un magma o lava basáltica durante la extrusión de una colada en superficie.

**Textura amigdaloides.** Es un tipo de textura vesicular donde las cavidades denominadas amígdalas están total o parcialmente rellenas con minerales de formación tardía o minerales de alteración como los carbonatos, cuarzo, calcedonia, clorita, entre otros.

**Textura ocelar.** Está formada por minerales leucocráticos de formas elipsoidales o esféricas denominados ocelos, alojados dentro de un sector más ferromagnesiano de la misma roca que actúa como hospedante. Los minerales de los ocelos son feldespatos alcalinos, cuarzo, nefelina, leucita, analcima, ceolitas, calcita, clorita, biotita, anfíbol o piroxeno y en ocasiones puede ser vidrio (González, 2008).



Figura 17. a) Textura vesicular en roca volcánica formado por la expansión del gas que ha dejado grandes cavidades subredondeadas; b) textura amigdaloides, donde se observa que las vacuolas ha sido rellenas por carbonatos de calcio y minerales arcillosos de alteración;

c) textura oclar, donde se observa tres ocelos de una dolerita olivínica, los cuales se encuentran rodeados de cristales de magnetita (Mackenzie et al., 1996).

**Textura spinifex.** Es característico en rocas que presentan un ordenamiento paralelo a subparalelo o de forma radial de fenocristales esqueletales, dendríticos, elongados curvo-ramificados o aciculares de olivino o piroxeno, entre los cuales quedan cavidades ocupados por material vítreo o microcristales.



Figura 18. Textura spinifex de una komatiita del Precámbrico (González, 2008).

**Textura axiolítica.** Está formado por cristales fibrosos de feldespato alcalino y cuarzo, llamados *axiolitas*, que irradian a partir de la terminación de un pequeño cristal con forma acicular. Estas texturas se pueden encontrar tanto de lavas ácidas como en flujos de ignimbritas o tobas volcánicas.

**Textura eutaxítica.** Es una textura piroclástica típica de las ignimbritas o tobas volcánicas y está conformada por vitroclastos de roca pómez deformados y compactados durante la sedimentación conocidos como “fiammes”. Así mismo presentan cristaloclastos, que son fragmentos de fenocristales que han sido formados en la cámara magmática antes de la erupción, y litoclastos que por lo general provienen del edificio volcánico (González, 2008).

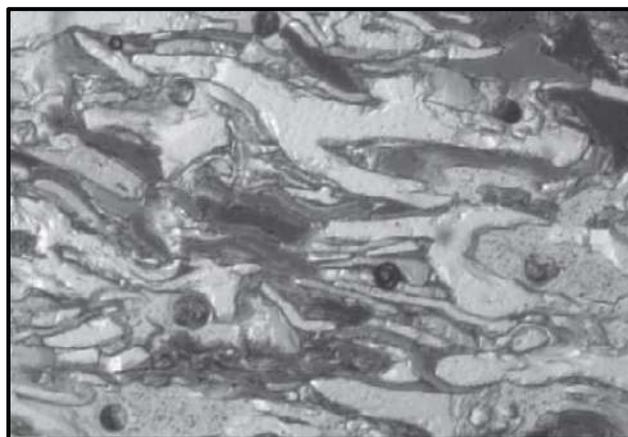


Figura 19. Textura eutaxítica en una roca ignimbrita (Winter, 2014).

### 2.2.8. Clasificación y nomenclatura de las rocas volcánicas

Le Maitre et al. Indica en su libro *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, que la clasificación de las rocas ígneas debe realizarse según los principios de la Subcomisión de Sistemática de Rocas Ígneas de la *International Union of Geological Sciences (IUGS)*, los cuales han sido propuestos en su mayoría por Streckeisen (1973, 1976) y Le Bas y Streckeisen (1991).

#### Principios para la clasificación de rocas volcánicas según IUGS

- La clasificación primaria de las rocas ígneas debe basarse en su contenido o modo mineral. Si un modo mineral es imposible de determinar, debido a la presencia de vidrio, o debido a la naturaleza de grano fino de la roca, entonces se pueden utilizar otros criterios, por ejemplo, la composición química, como en la clasificación TAS.
- Por roca volcánica se entiende una roca ígnea de textura afanítica, es decir, una roca de grano relativamente fino ( $< 1$  mm) en la que la mayoría de los cristales individuales no pueden distinguirse a simple vista y que se supone que se ha formado por un enfriamiento relativamente rápido. Estas rocas suelen contener vidrio.
- Las rocas deben nombrarse según lo que son, y no según lo que podrían haber sido.
- Cualquier clasificación útil debe corresponder a las relaciones naturales.
- La clasificación debe seguir lo más fielmente posible la tradición histórica, de modo que los términos bien establecidos, por ejemplo, granito, basalto, andesita, no se redefinan en un sentido drásticamente nuevo.
- La clasificación debe ser sencilla y fácil de usar.

#### Parámetros de clasificación

Las clasificaciones modales las rocas volcánicas se basan en las cantidades relativas en volumen de los grupos minerales constituyentes de las rocas, los cuales se ha designado de la siguiente manera por ser los más comunes.

Q: cuarzo, tridimita, cristobalita

A: feldespatos alcalinos, incluyendo ortoclasa, microclina, anortoclasa, sanidina

P: plagioclasa y escapolita

F: feldespatoides o foides, incluyendo nefelina, leucita, kalsilita, analcima, sodalita.

M: minerales máficos y afines, como la mica, anfíbol, piroxeno, olivino, minerales opacos, epidota, allanita, granate, melilita, monticellita y carbonato primario.

Desde el punto de vista de la clasificación modal, los grupos Q, A, P y F constituyen minerales félsicos, mientras que los minerales del grupo M se consideran minerales máficos.

La suma de Q+A+P+F+M debe ser del 100%. Pero cabe señalar que no puede haber más de cuatro componentes distintos, porque los minerales de los grupos Q y F son mutuamente excluyentes, es decir, si Q está presente, F debe estar ausente y viceversa (Le Maitre et al., 2002).

#### **2.2.8.1. Clasificación según el índice de color "M"**

Se realiza en función de los rangos en porcentaje del constituyente máfico "M", excluyendo a los denominados minerales incoloros a efectos del índice de color como son la moscovita, apatita, carbonatos primarios, etc. Es importante indicar que estos términos únicamente deben ser usados en rocas y no deben aplicarse para describir minerales.

Tabla 5. Clasificación de las rocas ígneas según el porcentaje del constituyente máfico "M" (Le Maitre et al., 2002).

<b>Clasificación</b>	<b>Rango de "M" (%)</b>
Hololeucocrática	0-10
Leucocrática	10-35
Mesocrática	35-65
Melanocrática	65-90
Holomelanocrática o Ultramáfica	90-100

#### **2.2.8.2. Clasificación según la abundancia de sílice**

Esta clasificación hace referencia a términos químicos como silícico ( $\text{SiO}_2$ ), magnesiano ( $\text{MgO}$ ), alcalino ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) o aluminioso ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), para subdividir a las rocas ígneas de acuerdo a su contenido porcentual en peso de sílice, donde un alto contenido de este es equivalente al termino ácido y un bajo contenido de sílice es sinónimo del concepto básico.

Es importante indicar que el porcentaje de sílice tiene poco que ver con el porcentaje de cuarzo en las rocas, aunque las rocas ácidas contienen cuarzo y las rocas básicas y ultrabásicas no. Asimismo, las rocas ácidas, intermedias y básicas contienen feldespatos, mientras que las rocas ultramáficas no (Toselli, 2010).

Tabla 6. Clasificación de las rocas ígneas según el contenido de sílice (Toselli, 2010).

Clasificación	Contenido de sílice
Ácidas o Félsicas	>66%
Intermedias	66%-52%
Máficas o Básicas	52%-45%
Ultramáficas o Ultrabásicas	<45%

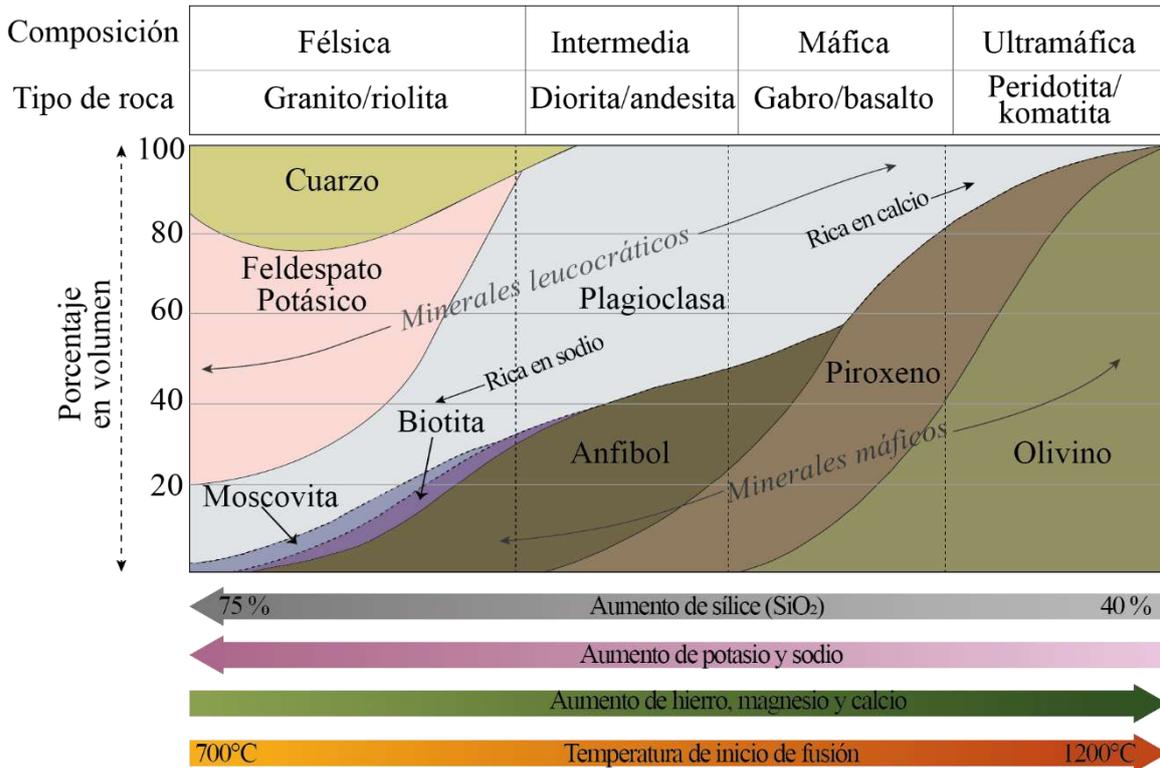


Figura 20. Clasificación de las rocas ígneas basado en el índice de color, el contenido de sílice y minerales ferromagnesianos. Adaptado de (Ehlers y Blatt, 1982).

### 2.2.8.3. Clasificación QAPF de las rocas volcánicas

Esta clasificación debe aplicarse a las rocas volcánicas lávicas, es decir que son producto de la actividad volcánica y presenta una textura de grano relativamente fino en la que la mayoría de los cristales constituyentes no se pueden ver a simple vista.

Al aplicar el diagrama QAPF, conocido como diagrama de Streckeisen, se debe determinar el contenido modal de los grupos minerales, donde los minerales máficos "M" debe ser inferior al 90% de los componentes de la roca. Por lo tanto, la clasificación de la roca se realiza según sus minerales félsicos, donde Q representa el volumen relativo de cuarzo, P la plagioclasa con la excepción de la albita, A el volumen de feldespatos alcalinos, incluida la albita y F la cantidad relativa de los feldespatoides (Le Maitre et al., 2002).

1: Riolita de feldespato alcalino	6: Lacitas o latitas	8: Fonolita
2: Riolita	6a: Cuarzo - lacita	9: Fonolita tefrítica
3: Dacita	6b: Lacita	
4: Traquita de feldespato alcalino	6c: Lacita con feldespatoides	10: Basanita fonolítica ( <i>ol &gt; 10%</i> ) Tefrita fonolítica ( <i>ol &lt; 10%</i> )
4a: Cuarzo - traquita de feldespato alcalino	7: Andesitas y Basaltos (M mayor a 35%)	11: Basanita ( <i>ol &gt; 10%</i> ) Tefrita ( <i>ol &lt; 10%</i> )
4b: Traquita de feldespato alcalino	7a: Andesita calcoalcalina	
4c: Traquita de feldespato alcalino con feldespatoides	7b: Basalto toleítico	
5: Traquitas	7c: Mugearita	12: Foidita
5a: Cuarzo - traquita	7d: Basalto calcoalcalino rico en Al	12a: Foidita fonolítica
5b: Traquita	7e: Mugearita	12b: Foidita tefrítica
5c: Traquita con feldespatoides	7f: Basalto alcalino y Hawaiiita	12c: Foidita

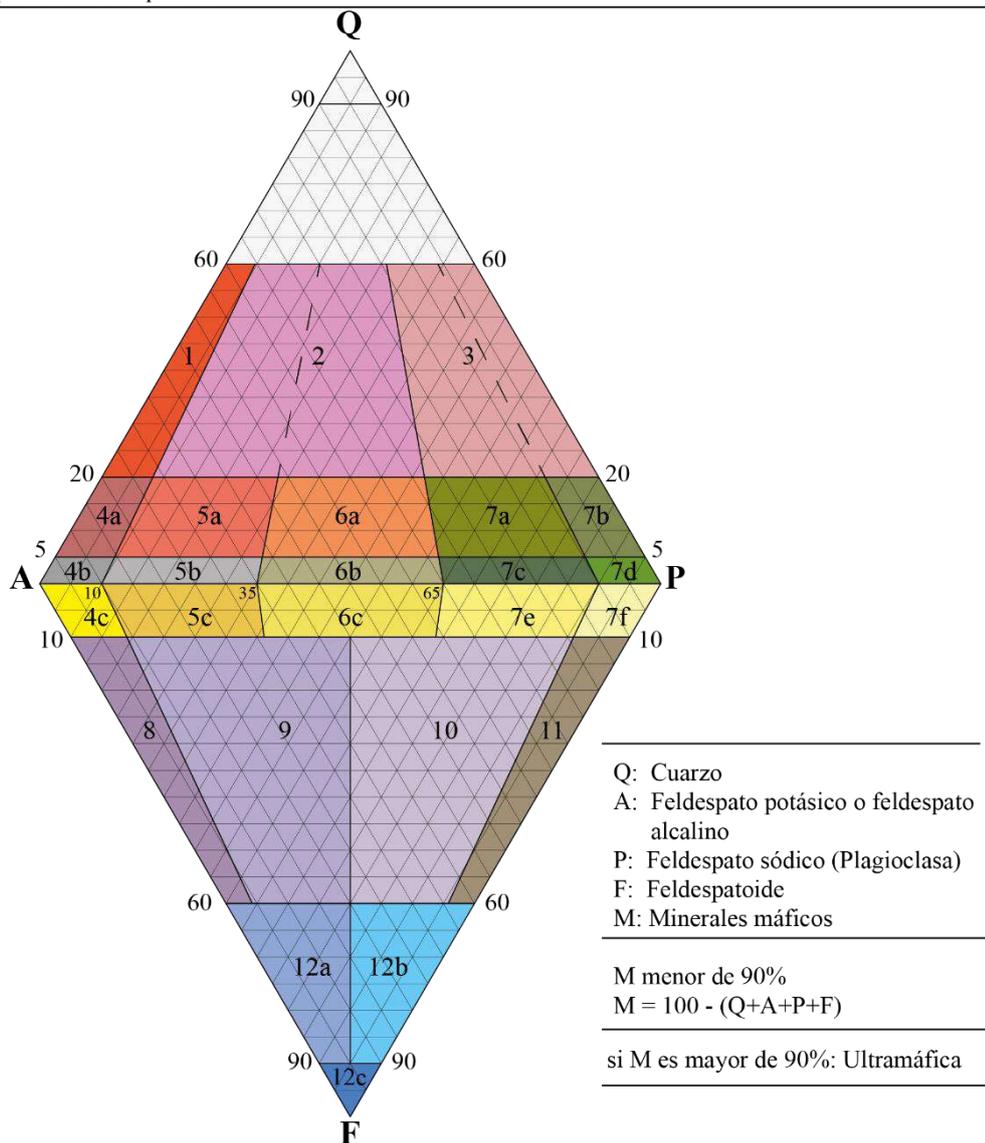


Figura 21. Clasificación modal QAPF de las rocas volcánicas (basada en Streckeisen, 1978). Los vértices del doble triángulo son Q = cuarzo, A = feldespato alcalino, P = plagioclasa y F = feldespatoide. Este diagrama no debe utilizarse para rocas en las que el contenido de minerales máficos, M, sea superior al 90% (Le Maitre et al., 2002).

#### 2.2.8.4. Clasificación TAS (Total Alkali - Silica)

Esta clasificación se utiliza en rocas volcánicas cuando no se puede determinar el contenido modal de los grupos minerales que componen la roca, ya sea por la presencia de material vítreo o por que los cristales son relativamente finos. Permitiendo definir a la roca volcánica mediante una comparación entre la relación del contenido de los minerales alcalinos ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ) y el contenido de los minerales de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), debido a que cumplen un papel fundamental para determinar la mineralogía de una roca (Le Maitre et al., 2002).

La construcción de la clasificación TAS se basa en los siguientes principios según Zanettin (1984), Le Maitre (1984), Le Bas et al. (1986) como se citó en (Toselli, 2010):

- Los campos identificados fueron elegidos de acuerdo, con el uso corriente de los nombres empleados.
- Se consideraron como rocas frescas aquellas con  $\text{H}_2\text{O}^+ < 2\%$  y  $\text{CO}_2 < 0.5\%$ .
- Todos los análisis son re-calculados al 100%, libres de  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$ .
- Los límites de sílice para los campos de microbasaltos, basaltos, andesitas basálticas y dacitas, son de 45%, 52% y 63% en peso respectivamente y coinciden con los usados para distinguir rocas ultrabásicas, básicas e intermedias (Carmichael et al. 1974). El valor 52% para los basaltos es el aceptado en la clasificación QAFP de Streckeisen.
- Algunos límites se determinan, localizando su contraparte en la clasificación QAFP.

Restricciones al momento de utilizar la clasificación TAS:

- La clasificación es puramente descriptiva, no hay implicancias genéticas.
- Es independiente de la asociación de campo, excepto que la roca sea volcánica.
- La relación  $\text{FeO}$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se toma del análisis. Si no se ha determinado, un estado de oxidación estándar se calcula siguiendo el método de Le Maitre (1976).
- La clasificación no es aplicable para rocas que han sufrido enriquecimiento cristalino o han sufrido metasomatismo.

Los resultados son generalmente consistentes con los obtenidos en el diagrama QAPF, cuando se realizan los análisis del contenido modal adecuadamente.

Las rocas que tienen contenidos de vidrio mensurables, se clasifican como: Vitrífero (0% - 20%), Vítrico (20% - 50%), Vítreo (50% - 80%) y Obsidiana o taquilita (80% - 100%).

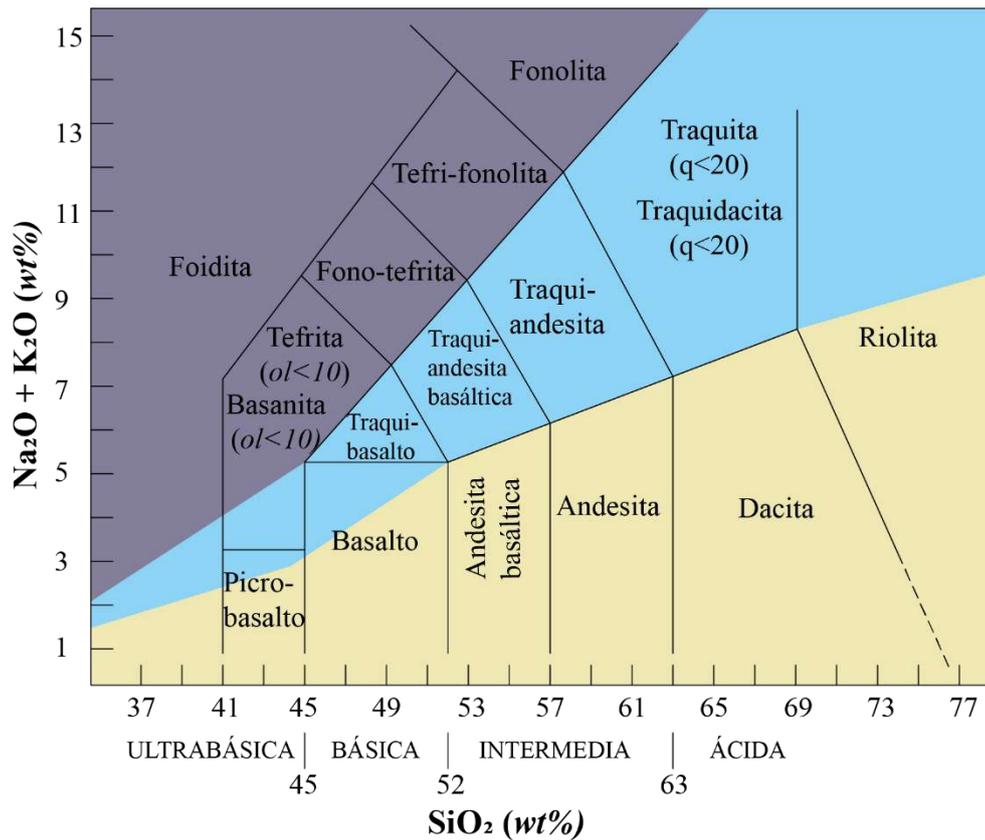


Figura 22. Diagrama TAS (Total Alkali Silica) para la clasificación de rocas volcánicas (Le Maitre et al, 2002).

#### 2.2.8.5. Clasificación de las rocas volcánicas piroclásticas

Es una clasificación descriptiva usada para estudiar a las rocas volcánicas que se han formado a partir de la fragmentación del magma como producto de erupciones volcánicas explosivas. Esta clasificación puede aplicarse a los depósitos de caída, de flujo y de oleada, en la que se tienen en cuenta principalmente el tamaño de los piroclastos que componen la roca (Le Maitre et al., 2002).

#### Restricciones

No se consideran piroclastos a los fragmentos de magma producidos como consecuencia de la autobrechificación de la lava durante el flujo superficial y consolidación, ni tampoco los fragmentos producidos por brechificación hidroclástica de la lava (hialoclastitas).

No se considera depósito ni roca piroclástica si ha habido un transporte en un medio sedimentario posterior a su formación del depósito eruptivo, denominándose epiclasto si su origen es incierto y depósitos o rocas epiclásicas a los agregados (Castro, 2015).

## **Piroclastos**

Los piroclastos son fragmentos generados por la disrupción como resultado directo de la actividad volcánica. Estos fragmentos pueden ser cristales o fragmentos de cristal, vidrio o roca los cuales se distinguen principalmente por su tamaño (Le Maitre et al., 2002).

**Bombas.** Piroclastos con un diámetro medio superior a 64 mm, con formas redondeadas, subredondeadas, aplanadas o estiradas, lo que indica que se fundieron de manera total o parcial durante su formación y posterior transporte.

**Bloques.** Piroclastos con un diámetro medio superior a 64 mm de forma angular o subangular, lo que indica que eran sólidos durante su formación.

**Lapilli.** Piroclastos de variadas formas con un diámetro promedio que oscila entre 64 mm y 2 mm.

**Granos de ceniza.** Piroclastos cuyo diámetro promedio es inferior a 2 mm. Pueden dividirse a su vez en granos de ceniza gruesa cuando su diámetro promedio oscila entre 2 mm y 1/16 mm y granos de ceniza fina o polvo cuando su diámetro medio es inferior a 1/16 mm.

## **Depósitos piroclásticos**

Los depósitos piroclásticos se definen como un conjunto de piroclastos que pueden ser no consolidados o consolidados y que contienen más del 75% en volumen de piroclastos, siendo el volumen restante generalmente materiales de origen epiclástico, químico, orgánico, sedimentario o autógeno. Cuando son predominantemente consolidadas pueden llamarse **rocas piroclásticas** y cuando son predominantemente no consolidadas pueden llamarse **tefras**.

Tabla 7. Clasificación y nomenclatura de los piroclastos y de las rocas piroclásticas bien clasificadas en función del tamaño de los clastos.

Tamaño medio de los clastos (mm)	Piroclasto	Depósitos y rocas piroclásticas (> 75% material piroclástico)	
		Principalmente no consolidada <b>TEFRA</b>	Principalmente consolidada <b>ROCA PIROCLÁSTICA</b>
> 64	Bombas y Bloques	Aglomerado, Tefra de bombas o bloques	Aglomerado, Brecha Piroclástica
64 - 2	Lapilli	capa de lapilli o tefra de lapilli	lapilli consolidado o Lapillita
2 - 1/16	Ceniza de grano grueso	Ceniza Gruesa	Toba de ceniza gruesa
< 1/16	Ceniza de grano fino	Ceniza fina (polvo)	Toba de ceniza fina Toba de polvo

Fuente: Tomado de Schmid, (1981).

#### 2.2.8.6. Clasificación polimodal de las rocas piroclásticas

La mayoría de las rocas piroclásticas son polimodales y pueden clasificarse según las proporciones de sus piroclastos, a través del diagrama ternario propuesto por Fisher (1966).

**Aglomerado.** Roca piroclástica en la que las bombas superan el 75% en volumen.

**Brecha piroclástica.** Roca piroclástica en la que los bloques es superior al 75%.

**Brecha de toba.** Roca piroclástica en la que las bombas y/o los bloques oscilan entre el 25% y el 75%.

**Toba lapilli.** Roca piroclástica en la que las bombas y/o los bloques son inferiores al 25%, y tanto el lapilli como la ceniza son inferiores al 75%.

**Lapillita o lapilli consolidado.** Roca piroclástica en la que el lapilli es mayor al 75%.

**Toba o toba de ceniza.** Roca piroclástica en la que la ceniza es mayor al 75%. Pueden dividirse a su vez en toba gruesa (ceniza) (2 mm a 1/16 mm) y toba fina (ceniza) (menos de 1/16 mm). La toba de ceniza fina también puede denominarse toba de polvo (Le Maitre et al., 2002).

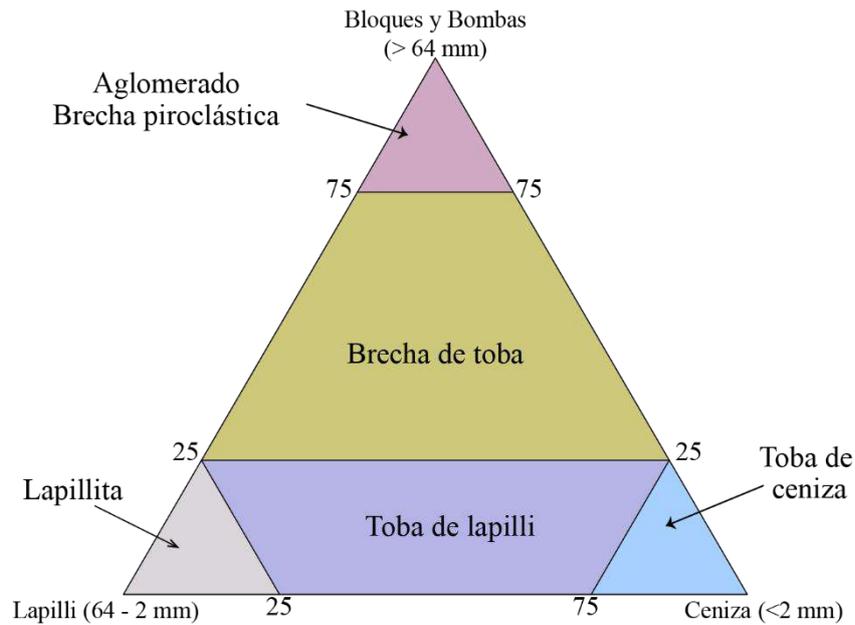


Figura 23. Clasificación polimodal de las rocas piroclásticas basada en las proporciones de bloques, bombas, lapilli y cenizas (según Fisher, 1966).

Las tobas y las cenizas también pueden clasificarse según su composición fragmentaria, es decir, una toba lítica contendría un predominio de fragmentos de roca, una toba vítrea un predominio de pómez y fragmentos de vidrio, y una toba cristalina un predominio de fragmentos de cristal.

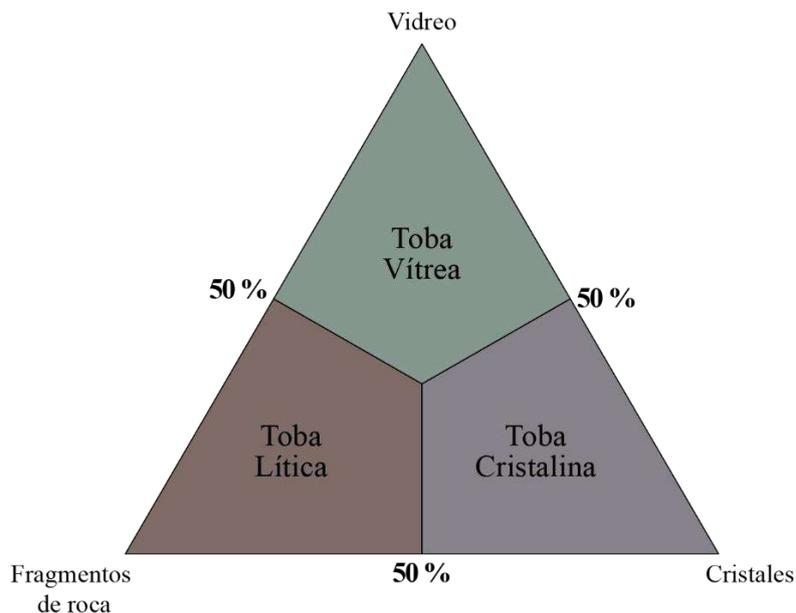


Figura 24. Clasificación de las rocas piroclásticas según su composición fragmentaria basada en las proporciones de fragmentos de roca, vidrio y cristales (según Schmid, 1981).

Cualquiera de estos términos para los depósitos piroclásticos puede ser calificado además por el uso de cualquier otro prefijo adecuado, por ejemplo, toba de caída aérea, toba de flujo, toba basáltica de lapilli, toba lacustre, ceniza riolítica, aglomerado de fumarolas, etc. Los términos también pueden ser sustituidos por términos puramente genéticos, como hialoclastita o yacimiento de base, cuando se considere oportuno (Le Maitre et al., 2002).

### 2.2.8.7. Rocas mixtas piroclásticas-epiclásticas

Para las rocas que contienen tanto piroclastos como material sedimentario clástico (**epiclastos**), la subcomisión de la IUGS (Le Maitre et al., 2002) sugiere el término general de toba, que puede subdividirse aún más añadiendo el termino tobáceo el nombre sedimentario, como pizarra, limolita, arenisca, conglomerado o brecha, por ejemplo, lutita tobácea, (Winter, 2014).

Tabla 8. Términos a utilizar para rocas mixtas piroclásticas-epiclásticas.

<b>Diámetro del clasto (mm)</b>	<b>Roca Piroclástica</b>	<b>Rocas mixtas piroclásticas - epiclásticas</b>		<b>Epiclasto</b>
> 64	Aglomerado, Brecha piroclástica	Aglomerado tobáceo, Brecha tobácea		Aglomerado, Brecha
64 - 2	Lapillita			
2 - 1/16	Toba de ceniza	Gruesa	Arenisca tobácea	Arenisca
1/16 - 1/256		Fina	Limolita tobácea	Limolita
< 1/256	Toba de polvo	Lutita tobácea, Pizarra tobácea		Lutita, pizarra
<b>Volumen Piroclastos</b>	100% a 75%	75% a 25%		25% a 0%

Fuente: Tomado de Schmid, (1981).

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Petrología.** Rama de la geología que estudia las rocas, su origen, el modo de ocurrencia, la composición, la clasificación y sus relaciones con los procesos geológicos de la historia de la tierra. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

**Petrografía.** Estudio de las rocas desde un punto de vista descriptivo enfocándose fundamentalmente en la composición química, la mineralogía y la textura (Huang, 1968).

**Textura.** Son el ordenamiento o disposición geométrica de los cristales y materiales amorfos (Mackenzie et al. 1996).

**Estructura.** Es un término que se reserva para aquellas características más pronunciadas que implican forma y posición de los cuerpos ígneos (Soto, 2005).

**Minerales esenciales.** Son los más importantes en volumen, y sirven para la clasificación de la roca. Ejemplos de ellos están: cuarzo, feldespatos, feldespatoides, micas, piroxenos, anfíboles y olivino (Rojas, 2017).

**Minerales accesorios.** Son los que están en menor cantidad, su presencia no es constante y no clasifican la roca, por ejemplo: magnetita, apatito, titanita, zircón, rutilo (Rojas, 2017).

**Minerales secundarios.** Son aquellos minerales producto de la alteración de los minerales primarios, por transformaciones posteriores a la cristalización del magma. Dentro de ellos están: arcillas, clorita, epidota, serpiente, sericita (Rojas, 2017).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. Geográfica

La investigación está ubicada al NW de la ciudad de Cajamarca, en el cuadrángulo 15f-I (Cajamarca) de la zona 17S, delimitada con las coordenadas del sistema UTM - DATUM WGS-84, cuyos vértices se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9. Ubicación geográfica del área de investigación.

Vértice	Coordenadas UTM		Coordenadas Geodésicas	
	Este	Norte	Longitud (°)	Latitud (°)
V1	761500	9211500	78°36'56"	7°07'38"
V2	761500	9209500	78°36'56"	7°08'44"
V3	767000	9209500	78°34'57"	7°08'44"
V4	767000	9211500	78°34'57"	7°07'38"

##### 3.1.2. Política

Políticamente la investigación se ubica en los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, en los distritos de Chetilla y Cajamarca, en la provincia y departamento de Cajamarca (ver plano N° 1- Anexo II).

##### 3.1.3. Accesibilidad

La accesibilidad se realiza por vía terrestre, mediante la trocha carrozable Cajamarca – Chamis- Carhuaquero- Quinuayoc, con una distancia de 20.2 km, en un tiempo de 1 hora 20 minutos en automóvil como se muestra en la figura 26.

Tabla 10. Cronograma de recorrido al área de investigación.

Tramo	Carretera	Distancia (km)	Tiempo (h.)
Cajamarca - Chamis	Trocha carrozable	9 + 300	00: 40
Chamis - Carhuaquero	Trocha carrozable	4 + 000	00:15
Carhuaquero - Quinuayoc	Trocha carrozable	6 + 900	00:25
<b>Total</b>		<b>20 + 200</b>	<b>01: 20</b>



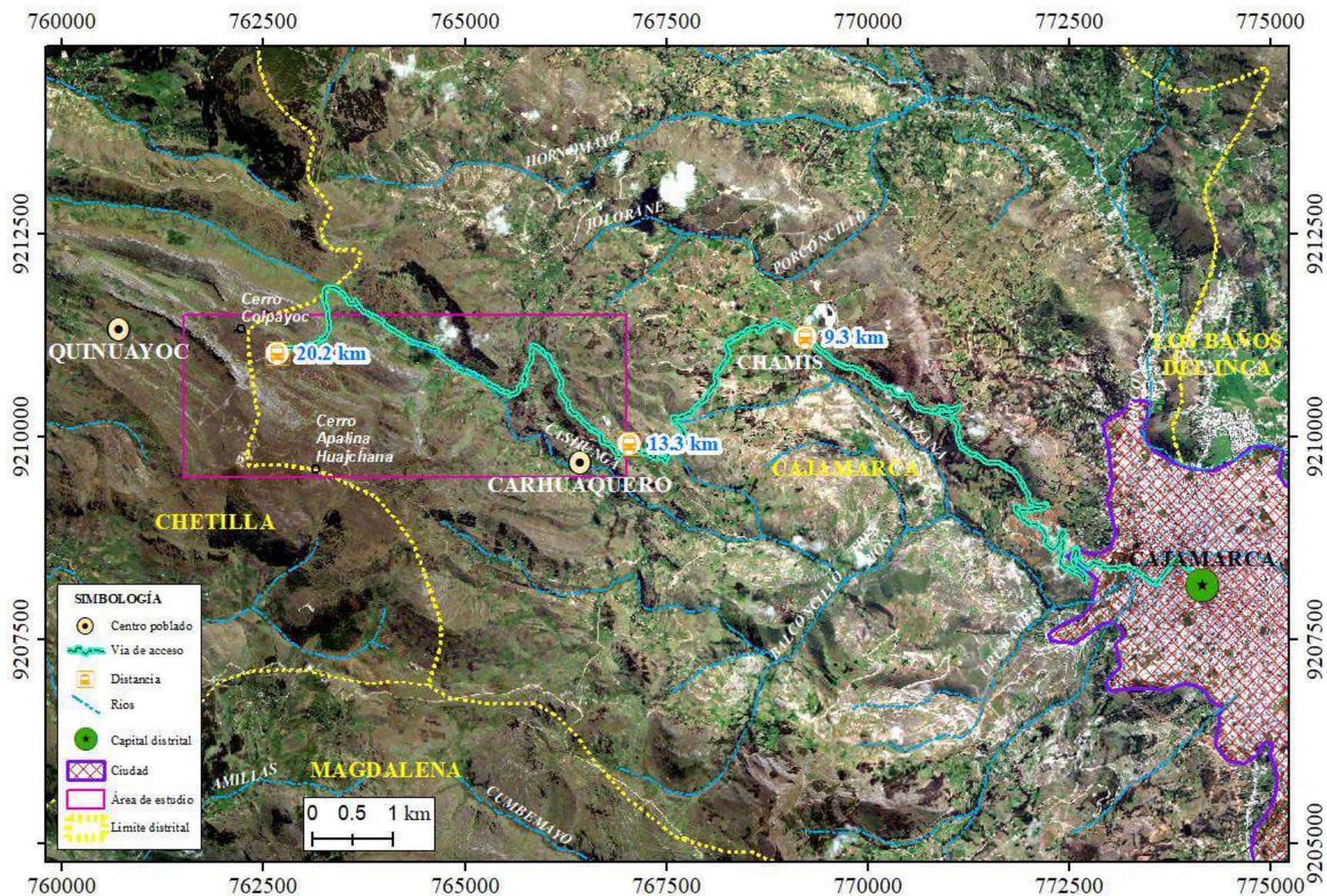


Figura 26. Accesibilidad al área de investigación.

## **3.2. PROCEDIMIENTOS**

### **3.2.1. Metodología**

#### **3.2.1.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación**

El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación descriptiva, con un diseño no experimental de sección transversal.

**Tipo (Explicativo).** La investigación está fundamentada en describir y explicar las características petrográficas de las rocas volcánicas entre los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, considerando en primer lugar, el cartografiado geológico de los afloramientos volcánicos, para posteriormente describir las características de las muestras de mano, como la textura, estructura y el reconocimiento macroscópico y microscópico de los componentes mineralógicos de las rocas (minerales formadores de rocas). Finalmente, a partir de los resultados obtenidos mediante la descripción de muestras, llevarlo a diagramas petrográficos (Streckeisen, Schmid, Fisher) para clasificar a las rocas y dar un nombre. Explicativo porque trata de resolver por qué las muestras analizadas presentan ciertas características, como, por ejemplo, porque la presencia de fenocristales o porque algunas muestras presentan matriz microcristalina y otras muestras presentan matriz vítrea, etc.

**Nivel (descriptivo).** Los estudios realizados en la investigación buscan precisar las características importantes de cada afloramiento volcánico en el ámbito petrográfico, teniendo en consideración la textura, estructura, los constituyentes minerales (minerales, esenciales, accesorios y secundarios), las posibles alteraciones y remplazamiento mineralógico, es decir describir cada componente que cumple un rol importante en la caracterización petrográfica, es decir, se describirán situaciones evaluando diversos aspectos tanto en el campo (litología, tipos de roca, minerales y contacto) como en laboratorio (descripción petrográfica).

**Diseño (transversal).** De corte transversal en el tiempo, porque se realizará en un determinado periodo de tiempo (de junio a diciembre del 2022).

**Naturaleza (Mixta).** La investigación, según su naturaleza es cualitativa ya que se describirá las características de las rocas, como el color, la textura y forma de los cristales, como también cuantitativa, porque se determinará el porcentaje (valores numéricos) de los

componentes mineralógicos, tanto, mediante la estimación visual para la caracterización petrográfica macroscópica, así como en base a resultados de laboratorio, mediante la identificación mineralógica a través de difracción de rayos x (DRX), y a través de la identificación microscópica de luz transmitida en secciones delgadas.

**Finalidad (Aplicada).** Se centra principalmente en mostrar detalladamente las características petrográficas de las rocas de la Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3 y de los domos volcánicos cartografiados en los Cerros Colpayoc y Apalina Huajchana, mediante la observación macroscópica y microscópica de muestras seleccionadas en cada una de los afloramientos volcánicos en estudio, lo que permite definir de manera correcta la posible secuencia paragenética y una correcta clasificación petrográfica. Siendo así un aporte importante en el campo de las ciencias geológicas, así como la base para futuras investigaciones relacionadas con el tema.

La metodología se sintetiza en la siguiente tabla.

Tabla 11. Tipo, Nivel, Diseño y Método de Investigación.

<b>Clasificación</b>	<b>Tipo de investigación</b>
Según el tipo	Explicativo
Según el nivel	Descriptivo
Según el diseño	No experimental – transversal
Según su naturaleza	Mixta
Según la finalidad	Aplicada

Fuente: Adaptado de Supo (2015).

### **3.2.1.2. Población de Estudio**

Afloramientos de rocas volcánicas entre los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, distrito de Chetilla – Cajamarca en un área de 11 km<sup>2</sup>.

### **3.2.1.3. Muestra**

Litología, estructura, textura, mineralogía, petrología.

### **3.2.1.4. Unidad de Análisis**

La unidad de análisis de la investigación son las características petrográficas, como las texturas, forma de los cristales, tamaño de los cristales.

### 3.2.1.5. Identificación de variables

Para la investigación se han identificado las variables independientes y dependientes, las cuales se nombran en la Tabla 12.

Tabla 12. Identificación de variables independientes y dependientes.

<b>Variables independientes</b>	<b>Variable dependiente</b>
Litología	Características petrográficas
Estructura	
Textura	
Mineralogía	

### 3.2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación se realizó en tres etapas: la primera etapa es de gabinete, donde se hizo una recolección, selección y análisis bibliográfico acerca de la línea de investigación; la segunda etapa es de campo, en donde se realizaron la toma de datos y la recolección de muestras de roca para realizar la caracterización petrográfica; y una tercera etapa de gabinete, donde se realizó el análisis y procesamiento de datos obtenidos en campo y en el laboratorio.

Las técnicas que se emplearon para la recolección de datos son: el análisis documental, la observación, la recolección de muestras y medición en campo.

Los Instrumentos son: Microscopio óptico, formatos petrográficos, diagrama de streckeisen, diagramas de rocas volcánicas e imágenes satelitales para el cartografiado geológico. Además, fue necesarios el uso de materiales e instrumentos de medida de datos en campo, tales como; brújula, GPS, lápiz de dureza, lupa de geólogo, picota de geólogo, entre otros.

Tabla 13. Recursos materiales usados en la investigación.

<b>Recursos materiales</b>	<b>Uso en la investigación</b>
Brújula brunton	Medir rumbos y buzamientos
Picota de geólogo	Para extraer muestras de roca
GPS de navegación	Para determinar las coordenadas
Protactor	Para realizar el cartografiado
Ácido clorhídrico	Para ver si hay reacción con carbonatos
Rayador	Determinar la dureza de los minerales
Libreta de campo	Para realizar anotaciones petrográficas
Lupa de geólogo	Para determinar los minerales que conforman la roca
Bolsas de muestreo	Para recolectar muestras para el análisis petrográfico
Cámara fotográfica	Fotografiar muestras y afloramientos volcánicos
Planos topográfico y geológico	Para realizar el cartografiado
Lapiceros de tinta permanente	Para codificar a las muestras de roca
Flexómetro	Para medir los bloques piroclásticos
Lápices y colores	Para diferenciar los afloramientos cartografiados

### **3.3. CONTEXTO GEOLÓGICO**

#### **3.3.1. Geología local**

La presente investigación se basa principalmente en el estudio petrográfico de las rocas volcánicas, sin embargo, se ha creído conveniente realizar una breve descripción de las unidades Cretácicas donde se han depositado los principales afloramientos volcánicos y subvolcánicos los cuales son objeto de estudio y han sido analizados con mayor detalle.

La investigación se realizó teniendo como base el cartografiado geológico a escala 1:50000 del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) publicado en el año 2008, donde se divide al Grupo Calipuy en centros volcánicos y secuencias volcánicas (Ver anexo II- Carta 15f- I). Es preciso mencionar que según la Carta Geológica Nacional, Hoja 15f-I, los depósitos piroclásticos identificados en el área de estudio se denominan como Centro Volcánico Atozaico, no obstante, al no ubicarse el centro de emisión, en la presente investigación se le ha denominado como Secuencia Volcánica Atozaico, la misma que se correlaciona con el Volcánico Huambos según la columna estratigráfica regional.

##### **3.3.1.1. Grupo crisnejas (Ki-cr)**

###### **Formación Pariatambo (Ki-pa)**

Fue determinada inicialmente por Mc Laughlin (1925), suprayace concordantemente a la Formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia a la Formación Yumagual con un espesor que oscila entre los 150 a 200 metros, Está conformada por la intercalación de calizas de color gris y limolitas gris oscuras por el abundante contenido de materia orgánica en su depositación, gracias a la ausencia de oxígeno que se generó en el Albiano Medio-Superior, dando lugar a la formación de calizas Mudstone – Wackestone negras y bituminosas con un olor fétido al fracturarlas (Reyes, 1980). En el área de estudio abarca solo el miembro superior de la Formación Pariatambo, la cual está constituida por la intercalación de calizas nodulares de coloración negruzca y limolitas de color gris oscuro.

##### **3.3.1.2. Grupo Pulluicana (Ks-pu)**

###### **Formación Yumagual (Ks-yu)**

Esta denominación fue dada por Tafur (1950) y Benavides (1956). Suprayace con leve discordancia a la Formación Pariatambo e infrayace concordantemente al Grupo Quilquiñam, con un espesor aproximado de 700 metros (Reyes, 1980). En el área de estudio

la Formación Yumagual está conformado por la intercalación de calizas grises, margas y limolitas de coloración amarillenta, las cuales se encuentran intensamente fracturadas y meteorizadas. Esta Formación forma una discordancia angular erosiva con los depósitos piroclásticos de la Secuencia Volcánica Atozaico, mostrándose en el área como la principal unidad Cretácica donde se ha depositado dicho evento volcánico.



Foto 1. Estratos con espesores uniformes de caliza tabulares de la Formación Yumagual. Coordenadas: E: 766987; N:9209915; Cota: 3519 m.s.n.m.



Foto 2. Contacto litológico de las rocas piroclásticas de la Secuencia Volcánica Atozaico y las rocas sedimentarias de la Formación Yumagual. Coordenadas: E:766992; N:9209921; Cota: 3523 m.s.n.m.

### 3.3.1.3. Grupo Quilquiñam (Ks-qm)

Fue descrita inicialmente como Formación Mujarrún y Quilquiñam por Tafur (1950), elevándose a la categoría de Grupo por Benavides (1950) y Reyes (1980). En la parte inferior suprayace concordantemente con la Formación Yumagual e infrayace a la Formación Cajamarca; teniendo un espesor aproximado de 500 metros Reyes (1980). En la zona de estudio está constituida por la intercalación de calizas masivas nodulares de color gris claro, margas y limolitas amarillentas con tonalidades marrones, la cual se encuentra intensamente fracturada producto de la actividad tectónica.



Foto 3. Rocas sedimentarias calcáreas de la Formación Quilquiñam. Coordenadas: E:763385; N:9211840; Cota: 3663 m.s.n.m.

### 3.3.1.4. Formación Cajamarca (Ks-ca)

Denominada como Formación Cajamarca por Benavides (1956), es una de las secuencias calcáreas del Cretáceo Superior que más destaca topográficamente, suprayace concordantemente sobre el Grupo Quilquiñam e infrayace a la Formación Celendín, con un espesor que oscila entre los 600 y 700 metros Reyes (1980). Se caracteriza por presentar estratos tabulares de calizas de color gris oscuro, los cuales se encuentran plegados formando el sinclinal de Colpayoc. En los flancos se puede apreciar afloramientos con estratos tabulares de espesores que superan los 3 metros; en algunos casos mostrando rasgos que caracterizan a esta Formación y que se puede evidenciar en el área de estudio son las estructuras lenares o lapiaces, producto de la meteorización por descarbonatación de las rocas calizas. En esta Formación se encuentra el eje del sinclinal de Colpayoc, que ha sido cortado por fallas de rumbo, permitiendo el emplazamiento de cuerpos volcánicos.



Foto 4. Afloramientos de rocas calizas de la Formación Cajamarca. Coordenadas: E:763047; N:9211365; Cota: 3777 m.s.n.m.; a) contactos litológicos de la Formación Cajamarca (Ks-ca) y el Pórfido Andesítico (Nm-an); b) estratificación paralela bien definida de secuencia directa, estrato decreciente con espesores de calizas que superan los 3 metros en la base; c) lenares o lapiaces típico de la Formación Cajamarca, formado a partir de la disolución de carbonatos de calcio.

### 3.3.1.5. Volcánico Huambos

#### Complejo volcánico Yanacocha

La edad de emplazamiento del Complejo Volcánico Yanacocha oscila entre los 19.5 y 11.2 millones de años, durante el Mioceno (Longo, 2005), formado a partir de dos etapas eruptivas, la primera generada por emplazamiento del centro volcánico Atozaico, localizado hacia el suroeste del complejo volcánico, y la segunda etapa generada por secuencias explosivas, las cuales se encuentran rellenando una depresión ubicada hacia el Noreste de Cajamarca (Navarro et al, 2008).

En el área de investigación y alrededores se reconocen afloramientos pertenecientes al Complejo Volcánico Yanacochoa que están representadas por rocas volcánicas piroclásticas de la Secuencia Volcánica Atozaico y rocas porfiríticas de composición dacítica y andesítica localizadas en los cerros Apalina Huajchana y Colpayoc en el centro poblado de Quinuayoc.



Foto 5. Vista panorámica de las rocas piroclásticas de la Secuencia Volcánica Atozaico-Evento 3 (Nm-at-E3) y las principales Unidades Cretácicas (Ks-yu, Ks-qm, Ks-ca) identificados en el área de investigación. Coordenadas: E:765749; N:9210722; Cota: 3623 m.s.n.m.

### **Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3**

Se localiza al Este del área de investigación, constituido por flujos piroclásticos los cuales sobreyacen en discordancia angular a las rocas sedimentarias carbonatadas de la Formación Yumagual y la Formación Quilquiñam (INGEMMET, 2008). Los afloramientos se localizan en los alrededores del centro poblado de Carhuaquero, constan de flujos piroclásticos de ceniza y lapilli de color gris claro y blanquecino. Las rocas tienen textura fragmental, con fragmentos de cristales de plagioclasas y minerales ferromagnesianos sostenidos por una matriz de grano muy fino alterada por arcillas. Estas características han sido analizadas en el formato petrográfico de descripción macroscópica (ver Anexo I – Muestra TG-01 a TG-11); esta información ha sido corroborada en el análisis microscopio de secciones delgadas con la muestra TG-05.

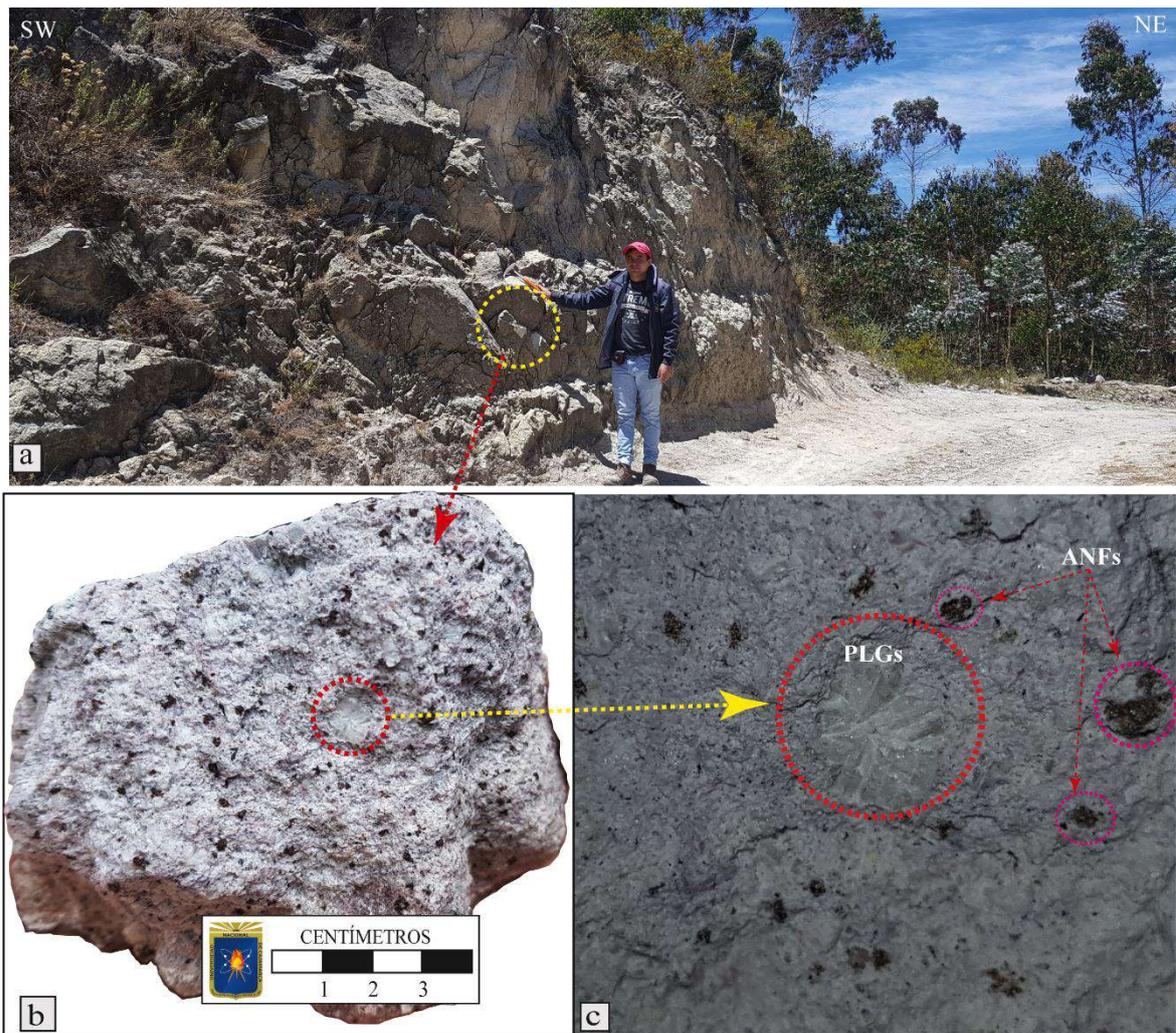


Foto 6. Depósitos piroclásticos de cenizas y lapilli de la Secuencia Volcánica Atozaico – Evento 3. Coordenadas: E:766684; N:9209928; Cota: 3567 m.s.n.m., a) Afloramiento de la Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3 en los alrededores del centro poblado de Carhuaquero; b) Toba de lapilli de color gris claro de textura fragmental; c) Fragmentos de cristal de plagioclasa y anfíbol incluidos en una matriz de cenizas gruesas y lapilli.

### **Domo Pórfido Andesita (Nm-an)**

Se localiza en la parte noroeste del área de investigación, sus depósitos se han emplazado en las rocas sedimentarias carbonatadas de la Formación Cajamarca, el cual consiste en depósitos de flujos de lava, constituido por rocas andesitas compactas de color verde a gris oscuro, y marrón con tonalidades rojizas; y afloramientos de depósitos de bloques y cenizas de color blanquecino con fragmentos líticos de composición andesítica. Las rocas presentan textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa y minerales máficos (hornblenda), incluidos en una matriz afanítica de vidrio volcánico y microcristales. Por sus características corresponde a un domo volcánico que ha colapsado en pleno desarrollo.

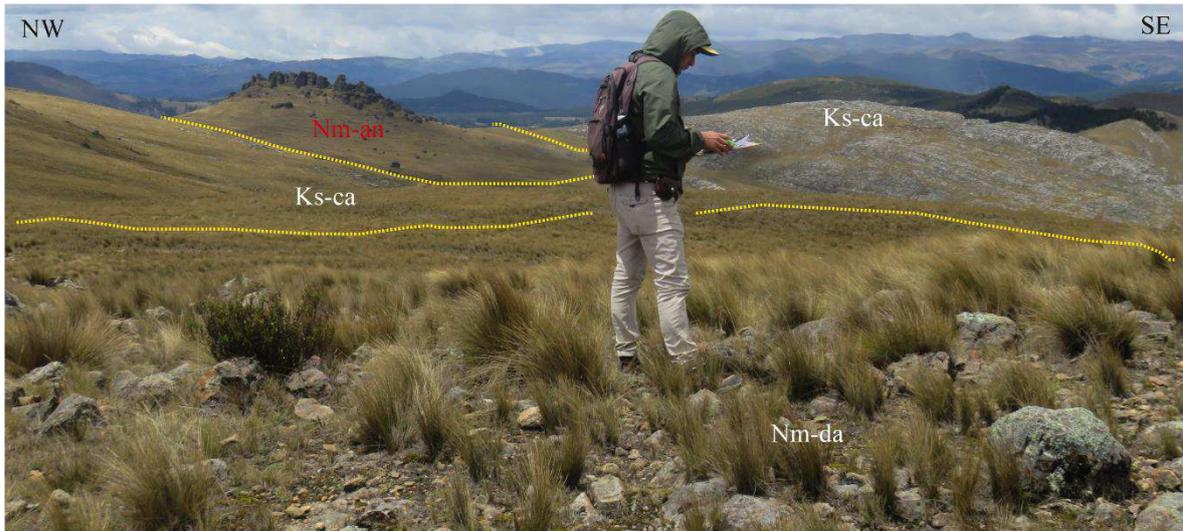


Foto 7. Vista panorámica de las rocas pórfido andesíticas (Nm-an) emplazados sobre las rocas sedimentarias de la Formación Cajamarca, localizado en el Cerro Colpayoc. Coordenadas fotográficas: E:762922; N:9210071; Cota: 3851 m.s.n.m.

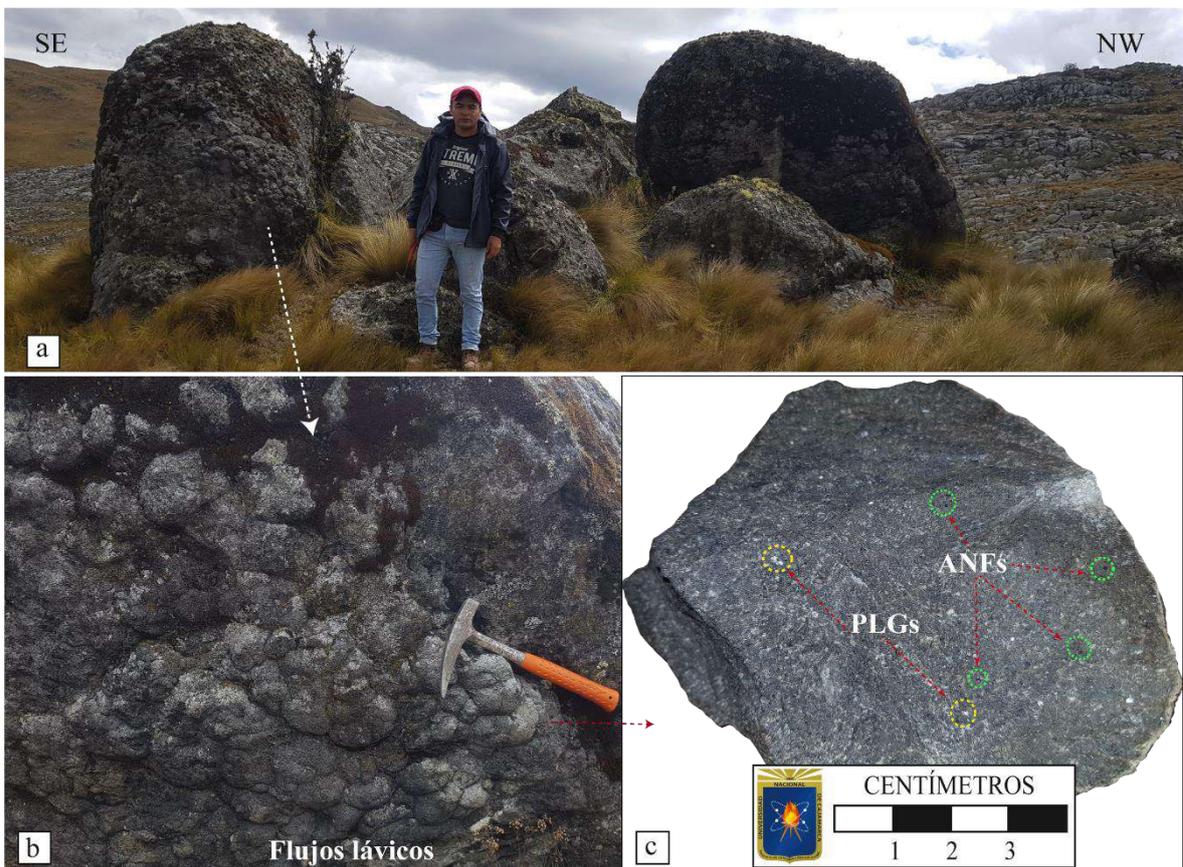


Foto 8. Afloramientos de Lavas andesíticas pertenecientes al domo volcánico localizado en el cerro Colpayoc en el centro poblado Quinuayoc, con coordenadas, E:762134; N:9211104; Cota: 3822 m.s.n.m. a) afloramientos de rocas volcánicas de composición andesítica sobreyacen a la Formación Cajamarca; b) Flujos lávicos con estructuras almohadillas; c) muestra de mano de composición andesítica con una matriz de textura afanítica a microcristalina con inclusiones de fenocristales de plagioclasas y anfíboles (hornblenda).

## Brechas piroclásticas del cerro Colpayoc

Las brechas piroclásticas afloran en el cerro Colpayoc, se encuentra emplazado en las rocas sedimentarias carbonatadas de la Formación Cajamarca, en la parte central del sinclinal de Colpayoc. En relación a sus componentes, en la base está formado por fragmentos líticos subangulosos con medidas mayores a los 5 centímetros, en la parte superior los fragmentos líticos son subangulosos con medidas que bordean los 1.2 metros. Estos fragmentos líticos son de composición andesítica, de textura porfirítica, con fenocristales de minerales ferromagnesianos (hornblenda) y cristales de plagioclasa incrustados en una matriz de textura afanítica. La matriz que sostiene a los fragmentos líticos son cenizas y lapilli de color blanco a gris claro, donde se puede visualizar fragmentos de cristales de plagioclasas y hornblenda (ver foto 10). El espesor del afloramiento es de aproximadamente de 150 metros, calculado desde el contacto con la Formación Cajamarca hasta el pico mas alto del cerro Colpayoc.

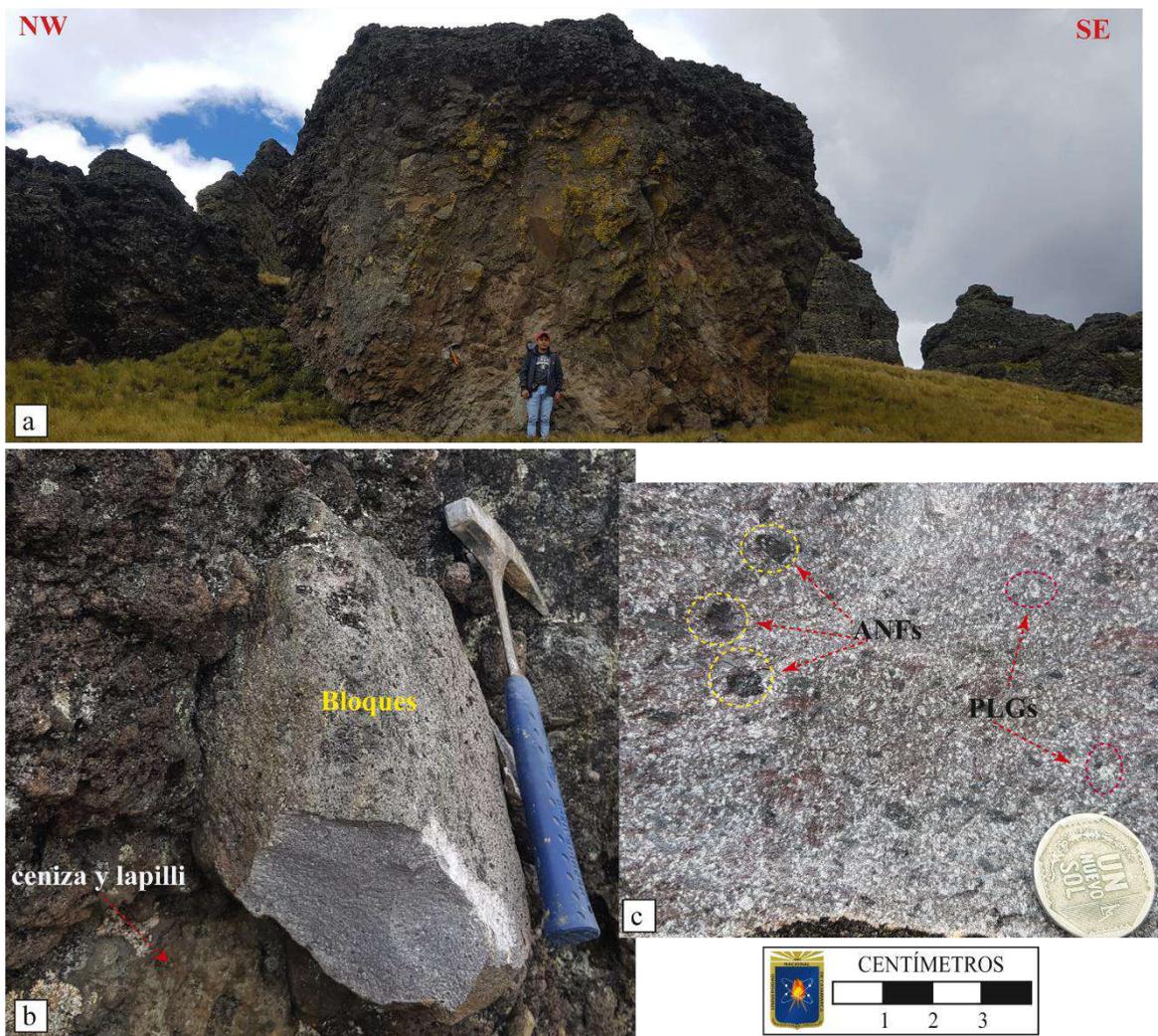


Foto 9. Brechas piroclásticas del cerro Colpayoc, a) afloramientos de flujos piroclásticos

de bloques, lapilli y ceniza; b) bloques de composición andesítica, c) fenocristales de plagioclasa y minerales ferromagnesianos incluidos en una matriz microcristalina y criptocristalina. Coordenadas: E:762218; N:9211224; Cota: 3850 m.s.n.m.

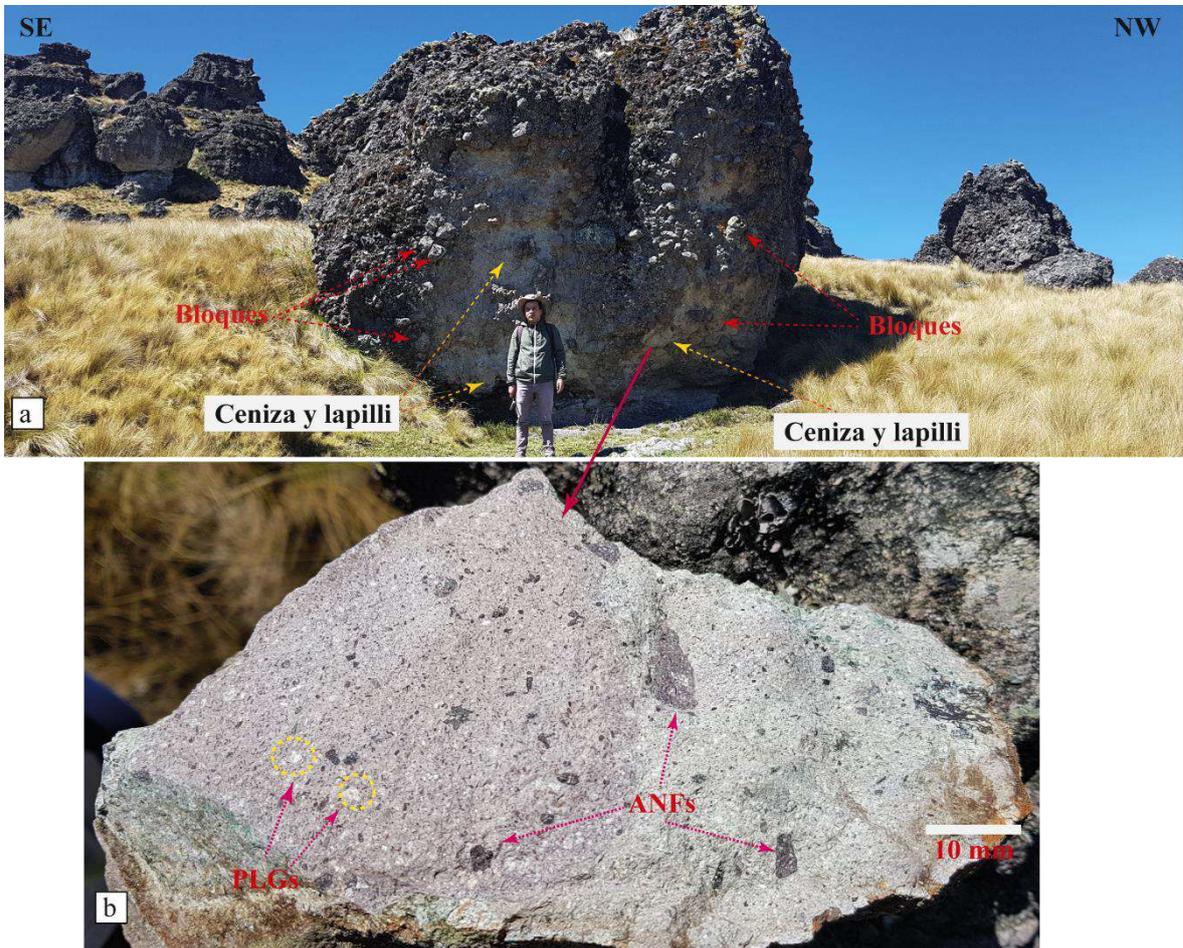


Foto 10. a) Afloramiento de depositos piroclasticos coformado por bloques, ceniza y lapilli; b) toba de ceniza, conformada por mas del 75% de componentes piroclasticos con medidas inferiores a 2 mm, con inclusiones de fragmentos de cristal de minerales ferromagnesianos (hornblenda) y plagioclasa; localizado en el centro poblado de Quinuayoc, con coordenadas: E:762374; N:9211336; Cota: 3817 m.s.n.m.

Tanto los flujos lávicos de composición andesítica y las brechas piroclásticas identificados en el Cerro Colpayoc corresponden a un domo volcánico que ha colapsado en pleno desarrollo, el cual ha sido identificado y cartografiado a escala 1/15,000 en la presente investigación (ver Plano N° 6- Anexo II).

### **Domo Pórfido Dacita (Nm-da)**

Se ubica en la zona suroeste de área de investigación, los afloramientos reconocidos corresponden a depósitos de flujos lávicos de composición dacítica que han sido emplazados en rocas carbonatadas de la Formación Quilquiñam y la Formación Yumagual; se extiende en un área aproximado de 300 m<sup>2</sup>. Los afloramientos están constituidos por rocas dacíticas con textura porfirítica compacta de color verde a gris claro, conformada por fenocristales de plagioclasas y minerales ferromagnesianos (hornblenda) contenidos en una matriz de grano muy fino. Estas características petrográficas fueron analizadas en el formato petrográfico de descripción macroscópica (ver Anexo I- Muestras TG-22 a TG-25), información que fue corroborada en el análisis petrográfico microscópico realizado a la muestra TG-25.

Este afloramiento corresponde a un domo volcánico, el cual ha sido identificado en la presente investigación y se ha cartografiado a escala 1/15,000 (Ver Plano N° 6 – Anexo II).

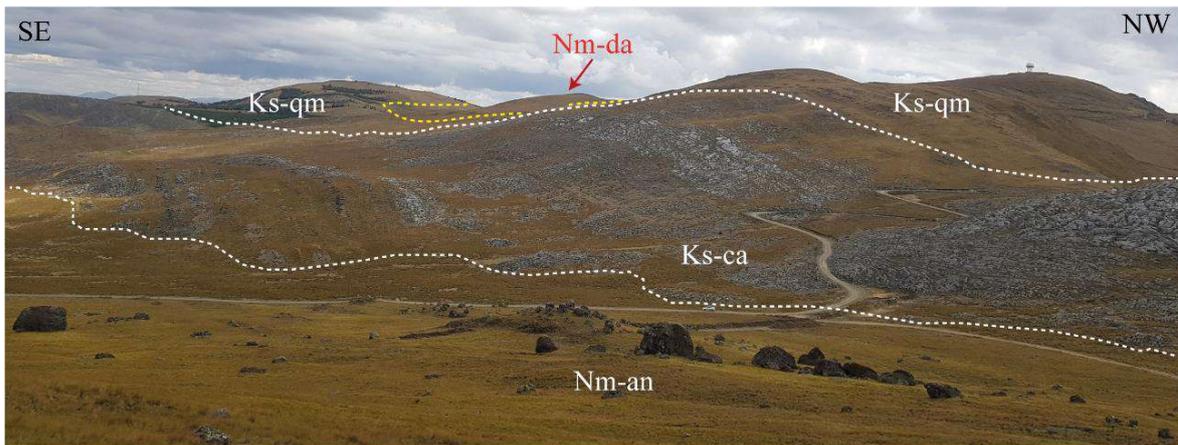


Foto 11. Vista panorámica de las rocas subvolcánicas de composición dacítica, localizado en el cerro Apalina Huajchana, con coordenadas fotográficas: E:762215; N:9211219; Cota: 3851 m.s.n.m.

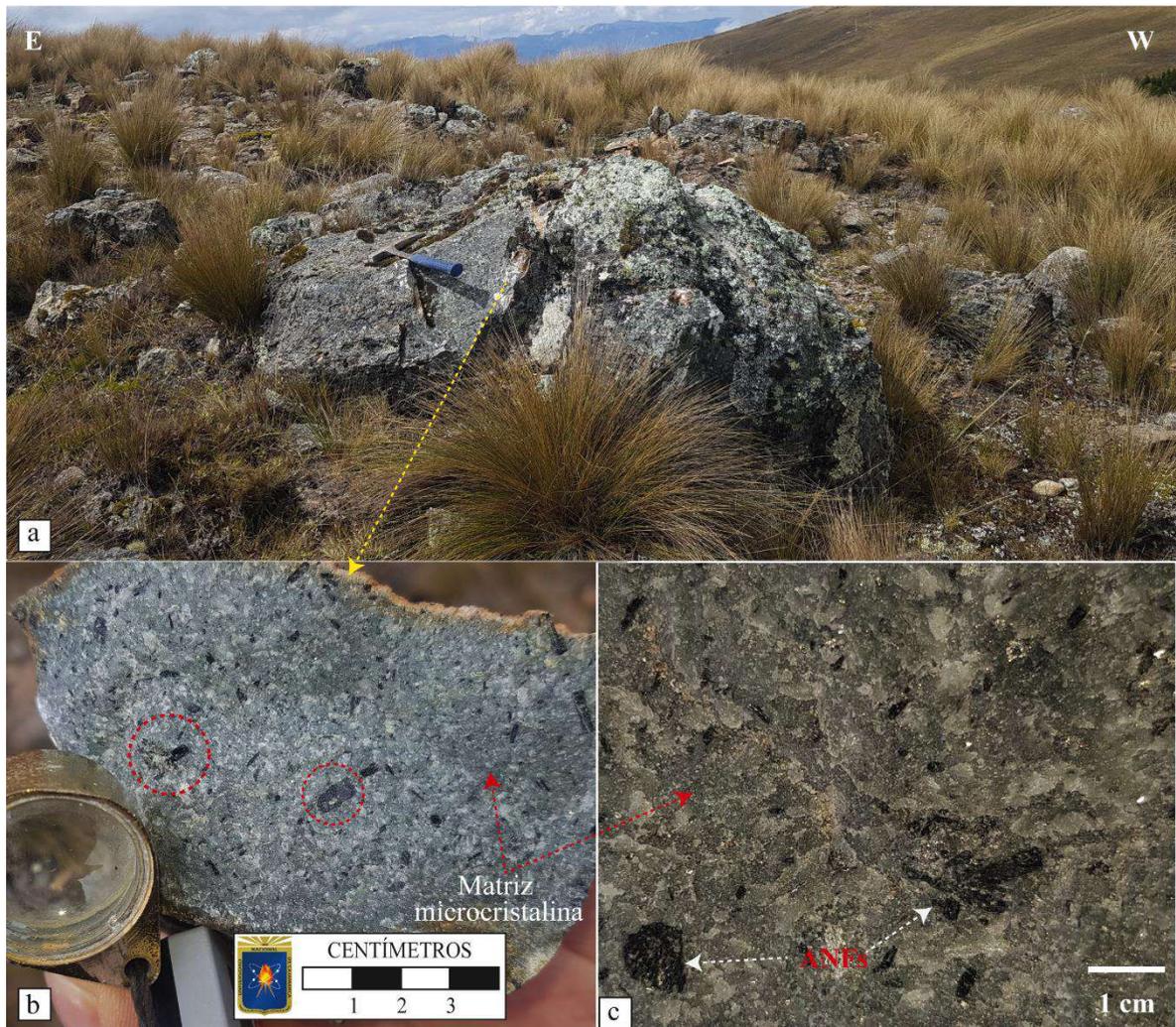


Foto 12. Rocas de composición dacítica, correspondientes al domo volcánico localizado en el cerro Apalina Huajchana; a) afloramientos donde se evidencian rocas ligeramente diaclasada; b) roca subvolcánica de color verde y gris claro, con una matriz de textura félsica; c) matriz microcristalina constituido principalmente por microcristales de cuarzo, que incluye a fenocristales de plagioclasas y cristales máficos, principalmente hornblenda (ver Anexo I- Muestra TG-24); Coordenadas: E:763006; N:9209706; Cota: 3944 m.s.n.m.

### 3.3.1.6. Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios más importantes en el área de estudio están conformados por depósitos aluviales y fluvio-aluviales en los márgenes del río Cushunga; y al pie de taludes escarpados de rocas sedimentarias calcáreas, principalmente de la Formación Cajamarca se han formado depósitos coluviales y coluvio-aluviales, los cuales han formado terrazas y lomadas que son usados en actividades agrícolas y ganaderas. Los depósitos cuaternarios descritos líneas arriba, están constituidos por limos y arcillas, que cumplen el rol de matriz

que sostienen a clastos subangulosos producto de la memorización de rocas sedimentarias calcáreas, los cuales han sido identificados principalmente en el sector Quinuayoc.

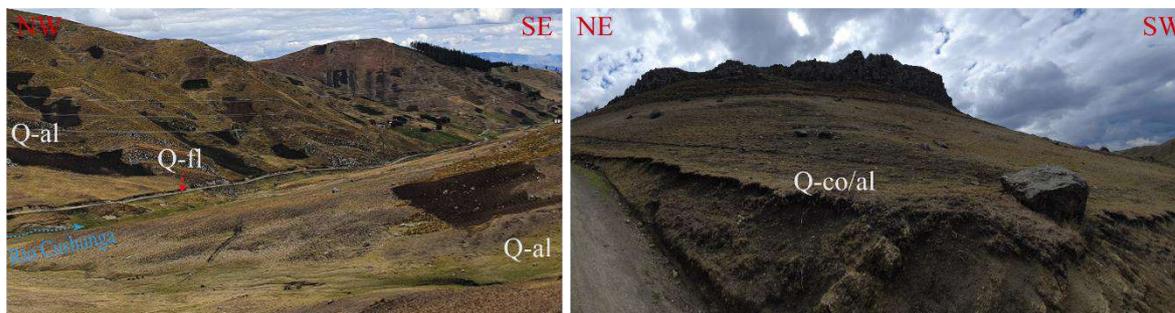


Foto 13. Depósitos Cuaternarios en los márgenes del rio Cushunga y en la base de taludes escarpados de la Formación Cajamarca. Coordenadas fotográficas: E:762218; N:9211224; Cota: 3850 m.s.n.m.

### 3.3.2. Unidades Geomorfológicas

#### 3.3.2.1. Drenaje

El drenaje en el área de estudio presenta una red hídrica de tipo dendrítico, conformado por dos tipos de afluentes principales, ríos y quebradas, con descargas irregulares a lo largo del año, teniendo un incremento de caudal entre los meses de diciembre y marzo durante el periodo de mayor precipitación.

#### Cauce de ríos

El río Cushunga es la principal red hídrica de este tipo que se encuentra dentro del área de estudio, tiene una dirección de recorrido de sus aguas de NW a SE; predominando la erosión de fondo en sus orígenes que va incrementando progresivamente de ancho por la erosión lateral a lo largo de su recorrido. El rio Cushunga junto con los ríos Manzano y Balconcillo son efluentes del rio Tres Ríos.

#### Quebradas

Las quebradas están localizadas en la parte Noreste el área de estudio, las cuales constituyen como los principales afluentes de rio Cushunga, tiene una dirección de recorrido de sus aguas de N-S y de SE-NW.

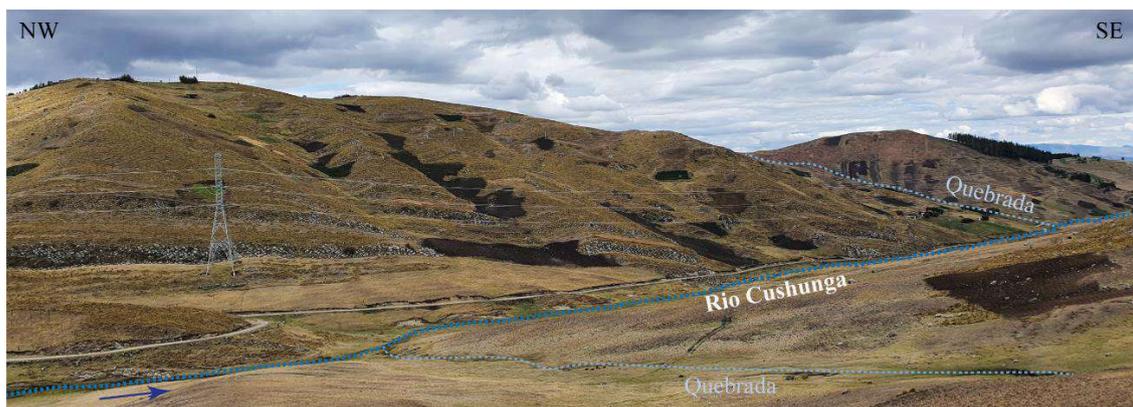


Foto 14. Principales redes de drenaje en el área de investigación, donde se observa el recorrido del rio Cushunga con una dirección NW-SE, y quebradas como principales afluentes. Coordenadas fotográficas: E:763308; N:9211353; Cota: 3721 m.s.n.m.

### 3.3.2.2. Unidades morfogénicas

Las unidades morfogénicas del área de investigación corresponden íntegramente a la cordillera occidental del norte del Perú, que se caracteriza por presentar una topografía muy variada, con fuertes cambios de pendiente producto de procesos tectónicos que sucedieron desde el Cretácico Superior hasta el Mioceno y por proceso exógenos como la erosión y la meteorización que sucede hasta la actualidad.

La descripción de las unidades morfogénicas del área de investigación se realizó haciendo uso del software ArcGIS 10.8, teniendo como referencia la clasificación realizada por Rodríguez (2016), tal como se describen a continuación:

Tabla 14. Clasificación de las Unidades morfogénicas, según Rodríguez, (2016).

Unidad Morfogénica	Rango pendiente
Planicies	0° - 8°
Lomadas	8° - 20°
Laderas	20° - 50°
Escarpes	> 50°

#### Planicies

Son superficies bastante homogéneas con pendientes que comprende entre los 0° y 8°, su morfología es poco cambiante, ligeramente ondulada y con escasa erosión. Litológicamente se encuentra en la Formación Cajamarca y en la Secuencia Volcánica Atozaico.

### **Lomadas**

También llamadas colinas, son pequeñas elevaciones homogéneas con pendientes suaves cuyo rango comprende entre los  $8^\circ$  y  $20^\circ$ . Estas unidades morfométricas con formas cóncavas son elevaciones que no deben superar los 150 a 200 metros en la base y en el tope respectivamente. Litológicamente se encuentran las Formaciones, Yumagual, Quilquiñam y Cajamarca del Cretácico Superior, incluyendo el afloramiento de la Secuencia Volcánica Atozaico del Mioceno, distribuyéndose mayormente en el flanco izquierdo del río Cushunga.



Foto 15. Planicies y lomadas en el sector Colpayoc. Coordenadas: E:762963; N:9211210; Cota: 3747 m.s.n.m.

### **Laderas**

Son superficies inclinadas con una elevación promedio en la base de 200 metros y 300 metros en el tope, con un rango de pendientes que comprende desde los  $20^\circ$  a  $50^\circ$ . Estas geoformas se identifican con mayor precisión porque pueden afectar a cualquier tipo de litología. Litológicamente se encuentran en las calizas de la Formación Quilquiñam y en los domos volcánicos localizados en el Cerro Colpayoc y Apalina Huajchana.



Foto 16. Unidades morfogenéticas en rocas volcánicas y subvolcánicas localizados en el sector Colpayoc.

cerro Colpayoc, donde se observan Escarpas ( $75^\circ$ ) y laderas ( $36^\circ$ ). Coordenadas: E:762336; N:9211185; Cota: 3813 m.s.n.m.

### **Escarpas**

Son geoformas que tienen un fuerte desnivel entre dos puntos o dos superficies no necesariamente planas, con pendientes cuya inclinación es superior a los  $50^\circ$ . Estas unidades morfométricas se pueden presentar de diferentes formas, como por ejemplo alargadas, en forma de domos, con suaves pendientes en la parte inferior y superior, erosionadas por agentes modeladores. Litológicamente se encuentra en las calizas de la Formación Cajamarca.



Foto 17. Escarpe, unidad morfogenética en rocas calizas de la Formación Cajamarca, con una pendiente de  $64^\circ$ . Coordenadas: E:764013; N:9211378; Cota: 3639 m.s.n.m.

### **3.3.2.3. Unidades morfológicas menores**

#### **Disyunción esferoidal**

Son geoformas que se han formado partir de la alteración física de las rocas volcánicas, cuya característica principal es descascarse en forma de cebolla, quedando como producto final fragmentos rocosos redondeados. Se localizan en la base del cerro Colpayoc, siendo resultado del enfriamiento interno de los flujos lávicos y posteriores procesos de disgregación de las andesitas porfíricas de forma esférica.



Foto 18. Disyunción esferoidal y/o cataclástica en rocas volcánicas, localizado en la base del cerro Colpayoc. Coordenadas: E:762677; N:9211065; Cota: 3767 m.s.n.m.

### **Alvéolos o picaduras de corrosión**

Son oquedades de dimensiones variables que se presenta en afloramientos de rocas piroclásticas de la Secuencia Volcánica Atozaico y las brechas piroclásticas localizados en el cerro Colpayoc. Estas son geoformas que se han formado por el impacto de partículas (corrosión) que son transportadas por el viento y que al estar expuestas frontalmente se originan cavidades más o menos interconectas entre sí, de diámetros que varían desde 1 centímetro hasta los 20 centímetros.



Foto 19. Alveolos o picaduras de corrosión en rocas piroclásticas de la Secuencia Volcánica Atozaico. Coordenadas: E:766277; N:9210427; Cota: 3617 m.s.n.m.

### 3.3.3. Geología estructural

La presente investigación se ubica en la Cordillera Occidental del norte de Perú, conformadas por estructuras regionales con una orientación NW-SE, no obstante, hacia la zona norte sufre un cambio de dirección a E-W formando parte de la llamada deflexión de Cajamarca (Navarro et al., 2010).

La deflexión de Cajamarca se formó durante el desarrollo del Ciclo Andino entre el Campaniano durante la fase tectónica Peruana y el Mioceno tardío de la fase tectónica Quechua II, alcanzando su máxima deformación en la fase tectónica Inca II (Bazán, 2016). Durante el Paleoceno en la etapa tectónica Inca I, se intensificó la compresión, caracterizada por un intenso plegamiento con una orientación NW – SE y fallamiento con orientación NE en las rocas sedimentarias cretácicas, con una sucesiva depositación del volcánico Llama. La fase tectónica Inca II ocurrió en Eoceno temprano (43-42 Ma) y se caracterizó por una intensa compresión que afectó a la columna sedimentaria del Cretácico (Benavides, 1999), dando lugar a repliegues y fallas inversas que inciden de NW a WNW y la posterior depositación del Grupo Calipuy, específicamente del volcánico Porculla. Según estudios paleomagnéticos de Mitouard, (1992), Esta fase fue crucial en el desarrollo de la deflexión de Cajamarca, ya que la cuenca Cajamarca sufre una rotación en sentido antihorario que

alcanzo los 25° en el Oligoceno, dicha rotación estaría asociada al comportamiento transpresivo sinistral de las transformantes de Hualgayoc y Trujillo.

Centrándose en nuestra área de investigación, los procesos volcánicos se originaron durante el Mioceno, los cuales están relacionados a los procesos tectónicos de la fase Quechua I y Quechua II durante el Mioceno medio y tardío respectivamente (Benavides, 1999), provocando la reactivación de fallas preexistentes, lo que genero fallamiento trasandino de dirección SW- NE que afecta las rocas del Paleógeno y Neógeno temprano, controlando de esta manera el emplazamiento de magmas y la mineralización en el corredor estructural Chicama – Yanacocha (Quiroz, 1997). Es así que, la evolución de la deflexión de Cajamarca controló los procesos magmático – volcánicos en el norte del Perú, afectando en su diferenciación después de cada evento tectónico tanto en términos de emplazamiento (intrusiones, subvolcánicos y volcánicos) como en su composición, originando un arco volcánico que migra continuamente hacia el este y un engrosamiento de la corteza mucho mayor al norte que al sur de la deflexión (Bazán, 2016).

La historia geológica de la cordillera occidental del norte de Perú, específicamente en el distrito minero Yanacocha y los alrededores de Chamis y Colpayoc están relacionados a diversos eventos orogénicos mencionados anteriormente, que marcaron importantes rasgos estructurales, por lo que resulta apropiado hacer mención de las principales estructuras reconocidas en la presente investigación. Representadas por un intenso plegamiento, zonas de falla y diaclasamiento, los cuales se encuentran vinculadas principalmente con las rocas sedimentaras del Cretácico Superior (Pariatambo, Yumagual, Quilquiñam y Cajamarca) y de las rocas volcánicas del Complejo Yanacocha que los rodean.

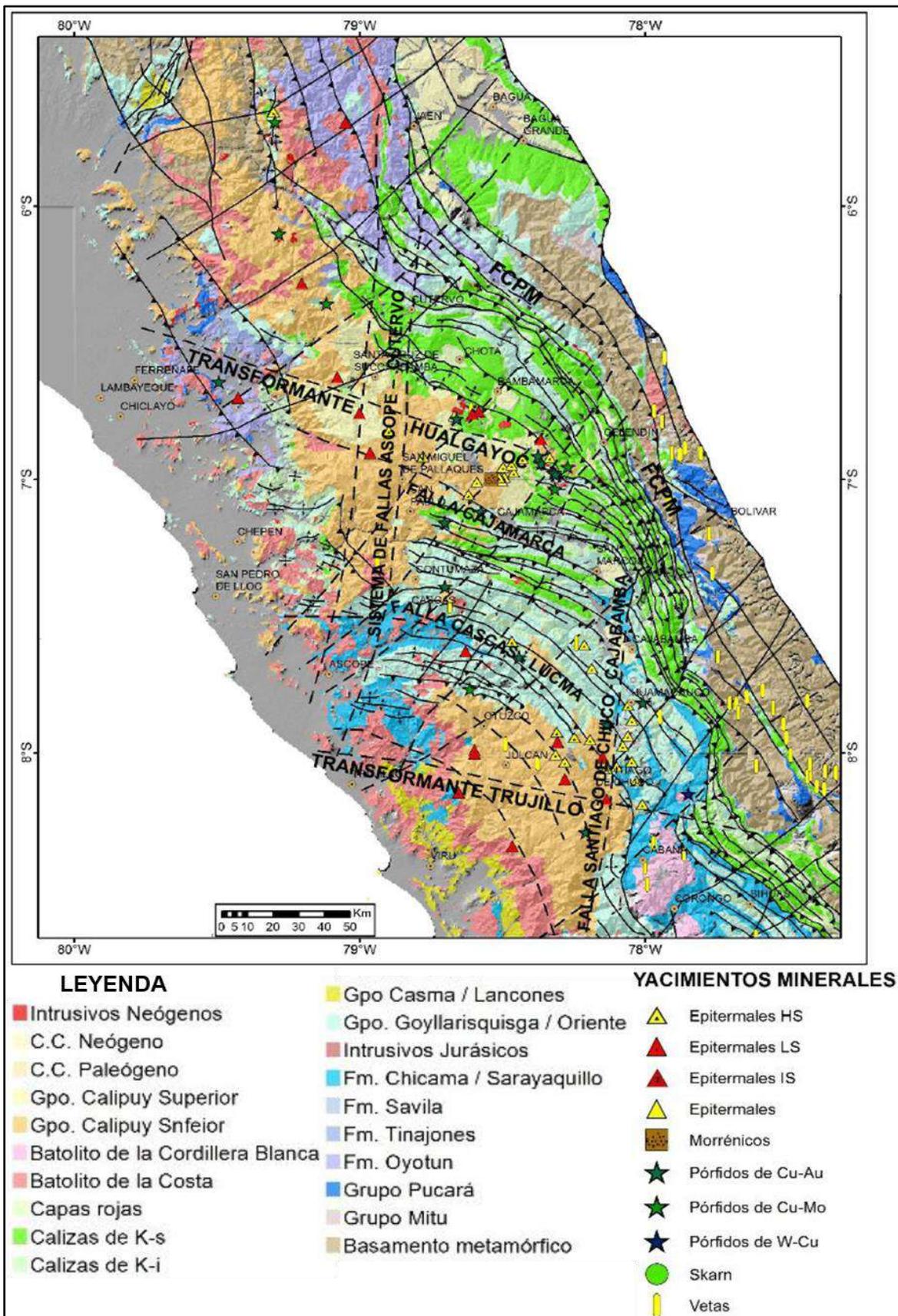


Figura 27. Plano Geológico Regional donde se muestra las principales estructuras de la Deflexión de Cajamarca, que guarda relación con el emplazamiento magmático en el Norte de Perú (Bazán, 2016).

### 3.3.3.1. Plegamientos

La actividad tectónica en el área de estudio ha dejado rasgos estructurales de proporciones variables que muestran su gran intensidad, dejando como producto plegamientos localmente intensos en la serie cretácica. En los alrededores del poblado Quinuayoc afloran rocas sedimentarias calcáreas de las Formaciones Pariatambo, Yumagual, Quilquiñam y Cajamarca, las cuales se encuentran plegadas formando la estructura más representativa del área de estudio, el sinclinal de Colpayoc con una orientación NW-SE y con buzamiento de los flancos que va desde los 45° hasta los 70°. Este a la vez se encuentra cortado por una serie de fallas de rumbo, que posiblemente ha servido de conductos para el emplazamiento de cuerpos magmáticos, volcánicos y subvolcánicos los cuales son objeto de estudio.



Foto 20. Eje del sinclinal de Colpayoc en rocas de la Formación Cajamarca, identificado en los alrededores del centro poblado de Quinuayoc, cuyas Coordenadas fotográficas son las siguientes: E:761471; N:9211850; Cota: 3686 m.s.n.m.

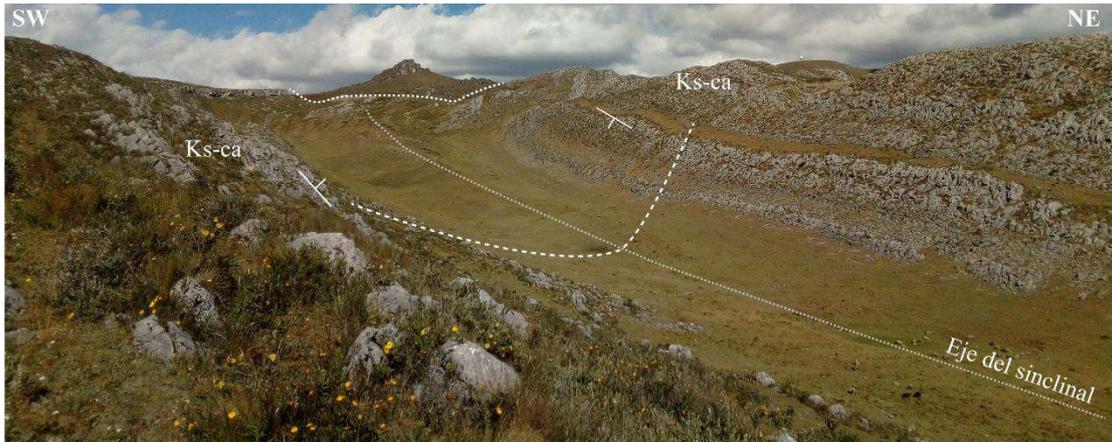


Foto 21. Evidencias de plegamientos en el área de estudio en rocas sedimentarias calcáreas de la Formación Cajamarca. Coordenadas fotográficas: E:761272; N:9212129; Cota: 3691 m.s.n.m.

### 3.3.3.2. Zonas de falla

Las rocas sedimentarias del Cretácico Superior que afloran en el área de estudio muestran una evidencia rica en procesos geodinámicos por los cuales fueron afectadas. Existen fallas regionales que tienen una orientación NW-SE, que en el área de estudio afecta a la Formación Yumagual y la Formación Quilquiñam. También se observa zonas de falla de rumbo dextral con orientación NNW-SE y fallas de rumbo sinistral de dirección SW-NE que afecta a la Formación Cajamarca cortando al sinclinal de Colpayoc. Las fallas de rumbo se desarrollaron durante el mioceno, permitiendo el emplazamiento de cuerpos volcánicos del complejo Volcánico Yanacocha.



Foto 22. Falla normal con componente de rumbo sinistral en rocas calizas de la Formación Cajamarca. Coordenadas: E: 762596; N:9211417; Cota: 3777 m.s.n.m.

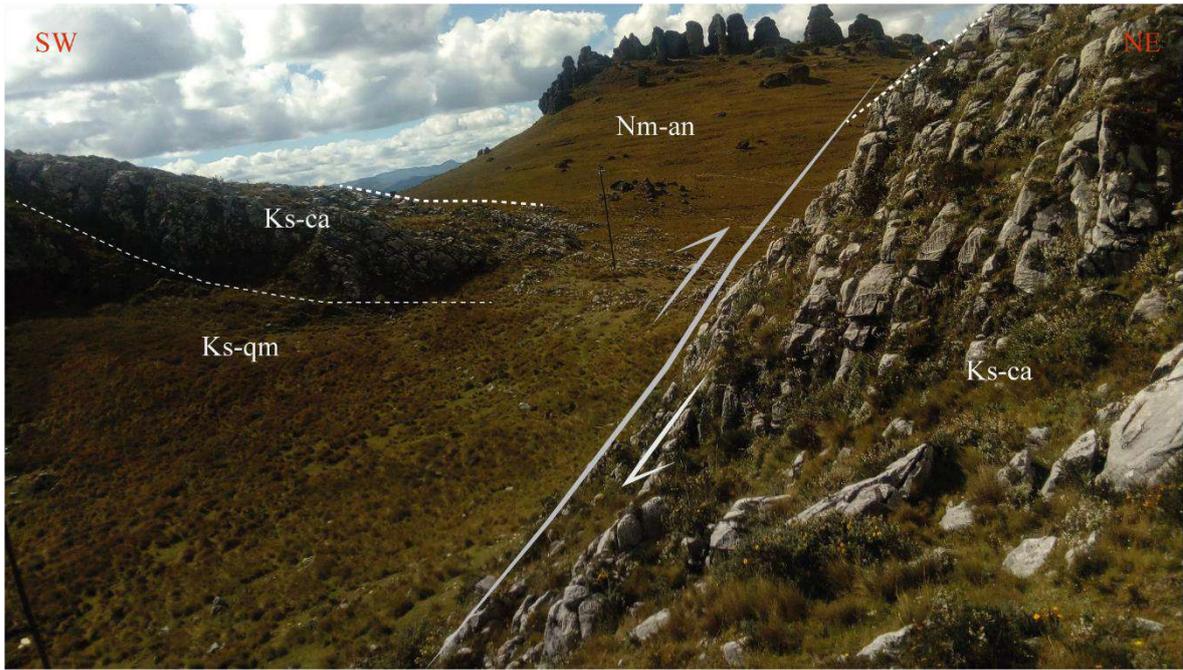


Foto 23. Falla de rumbo con movimiento dextral en rocas calizas de la Formación Cajamarca. Coordenadas: E:762006; N:9210732; Cota: 3813 m.s.n.m.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA

La caracterización petrográfica de las rocas volcánicas del Grupo Calipuy- Complejo Volcánico Yanacocha se realizó a escala macroscópica y microscópica. El estudio macroscópico consiste en el análisis de 25 muestras seleccionadas, de las cuales 11 muestras corresponden a la Secuencia volcánica Atozaico- Evento 3, en el centro poblado Carhuaquero; y 14 muestras a los afloramientos volcánicos cartografiados en los alrededores del centro poblado Quinuayoc, en los cerros Colpayoc y Apalina Huajchana.

Para la descripción macroscópica se utilizó una lupa geológica de veinte aumentos (20x), un rayador imantado y ácido clorhídrico, con el objeto de estimar las características físicas y texturales de las rocas y el contenido modal de los principales constituyentes (minerales esenciales, minerales accesorios, minerales máficos y minerales secundarios para la clasificación de rocas volcánicas y subvolcánicas; y componentes piroclásticos para la clasificación de las rocas piroclásticas), los cuales son plasmados y analizados en el formato petrográfico de descripción macroscópica propuesto por Arapa (2020), (ver anexo I).

Para determinar el nombre de las rocas piroclásticas se utilizó como instrumento a los diagramas propuestos por Fisher (1966) y Schmid (1981), y para determinar el nombre de las rocas volcánicas, subvolcánicas y la composición de las rocas piroclásticas se utilizó el diagrama QAPF propuesto por Streckeisen (1979) como lo describe Le Maitre et al, (2002).

La descripción petrográfica microscópica consiste en el estudio de 04 muestras representativas, la muestra TG-05 de la Secuencia Volcánica Atozaico - Evento 3, la muestra TG-14 y TG-20 del Cerro Colpayoc y la muestra TG-25 del Cerro Apalina Huajchana, pertenecientes a los afloramientos volcánicos cartografiados en la presente investigación; los cuales se realizaron mediante el análisis en sección delgada, utilizando un microscopio petrográfico de luz transmitida, bajo el respaldo de la empresa **Mine Metallurgy S.A.C.**, especializada en servicios de Geología, y Caracterización Geometalúrgica.

Tabla 15. Clasificación de rocas volcánicas piroclásticas del Complejo Volcánico Yanacocha – Secuencia Volcánica Atozaico (Nm-at/E3), según su Genesis, contenido de sílice, minerales máficos “M” y su contenido modal según Streckeisen (1979), Schmid (1981) y Fisher (1966), de muestras de mano extraídas en el Centro Poblado de Carhuaquero.

Muestra	COORDENADAS		CLASIFICACIÓN						Fenocristales/ Fragmentos de cristal	Matriz	Textura
	Este	Norte	Genética	Contenido de sílice	según Índice M	Schmid (1981)	Fisher (1966)	Streckeisen (1979)			
<b>TG-01</b>	766942	9209808	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-02</b>	766942	9209808	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-03</b>	766862	9209804	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-04</b>	766677	9209929	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de ceniza	Dacita	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-05</b>	766545	9210101	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-06</b>	766359	9210288	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-07</b>	766262	9210431	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de ceniza	Dacita	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-08</b>	766125	9210803	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-09</b>	766022	9211026	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de lapilli	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-10</b>	765808	9211038	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de lapilli	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-11</b>	765733	9210729	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de lapilli	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental

Tabla 16. Clasificación de rocas volcánicas piroclásticas, volcánicas efusivas y subvolcánicas del Complejo Volcánico Yanacocha, Domos volcánicos Andesíticos y Dacíticos (Nm-an, Nm-da), según su Genesis, contenido de sílice, minerales máficos “M” y su contenido modal según Streckeisen (1979), Schmid (1981) y Fisher (1966), de muestras de mano extraídas en el Centro Poblado de Quinuayoc.

Muestra	COORDENADAS		CLASIFICACIÓN						Fenocristales/ Fragmentos de cristal	Matriz	Textura
	Este	Norte	Genética	Contenido de sílice	según Índice M	Schmid (1981)	Fisher (1966)	Streckeisen (1979)			
<b>TG-12</b>	762661	9211064	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	Toba cristalina	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-13</b>	762383	9210942	Volcánica - Piroclástica	Intermedia	Hololeucocrática	N.A.	N.A.	Andesita calcoalcalina	ANFs y PLGs	Vi-Cz-PLGs	Porfirítica
<b>TG-14</b>	762105	9211042	volcánica- efusiva	Intermedia	Hololeucocrática	N.A.	N.A.	Andesita calcoalcalina	ANFs y PLGs	Vi-Cz-PLGs	Porfirítica
<b>TG-15</b>	762174	9211155	Volcánica- efusiva	Intermedia	Hololeucocrática	N.A.	N.A.	Andesita calcoalcalina	ANFs y PLGs	Vi-Cz-PLGs	Porfirítica
<b>TG-16</b>	762224	9211237	Volcánica- efusiva	Intermedia	Leucocrática	N.A.	N.A.	Andesita calcoalcalina	ANFs y PLGs	Vi-Cz-PLGs	Porfirítica
<b>TG-17</b>	762218	9211295	Volcánica- efusiva	Intermedia	Hololeucocrática	N.A.	N.A.	Andesita calcoalcalina	ANFs y PLGs	Vi-Cz-PLGs	Porfirítica
<b>TG-18</b>	762374	9211336	Volcánica- efusiva	Intermedia	Hololeucocrática	Toba vítrea	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs y PLGs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-19</b>	762358	9211347	Volcánica- efusiva	Intermedia	Hololeucocrática	Toba vítrea	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs y PLGs	Vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-20</b>	762339	9211262	Volcánica- efusiva	Intermedia	Leucocrática	N.A.	N.A.	Andesita calcoalcalina	ANFs y PLGs	Vi-Cz-PLGs	Porfirítica
<b>TG-21</b>	762336	9211267	Volcánica- efusiva	Intermedia	Hololeucocrática	Toba vítrea	Toba de ceniza	Andesita calcoalcalina	ANFs y PLGs	vidrio volcánico	Fragmental
<b>TG-22</b>	763078	9209809	subvolcánica	Intermedia	Hololeucocrática	N.A.	N.A.	Dacita	ANFs	Microcristales	Porfirítica
<b>TG-23</b>	763068	9209768	Subvolcánica	Intermedia	Hololeucocrática	N.A.	N.A.	Dacita	ANFs	Microcristales	Porfirítica
<b>TG-24</b>	763024	9209735	Subvolcánica	Intermedia	Hololeucocrática	N.A.	N.A.	Dacita	ANFs	Microcristales	Porfirítica
<b>TG-25</b>	763006	9209706	Subvolcánica	Intermedia	Hololeucocrática	N.A.	N.A.	Dacita	ANFs	Microcristales	Porfirítica

Abreviaturas: ANFs: Anfíboles; PLGs: Plagioclasas; Vi: Vidrio Volcánico; Cz: Cuarzo; N.A.: No aplica

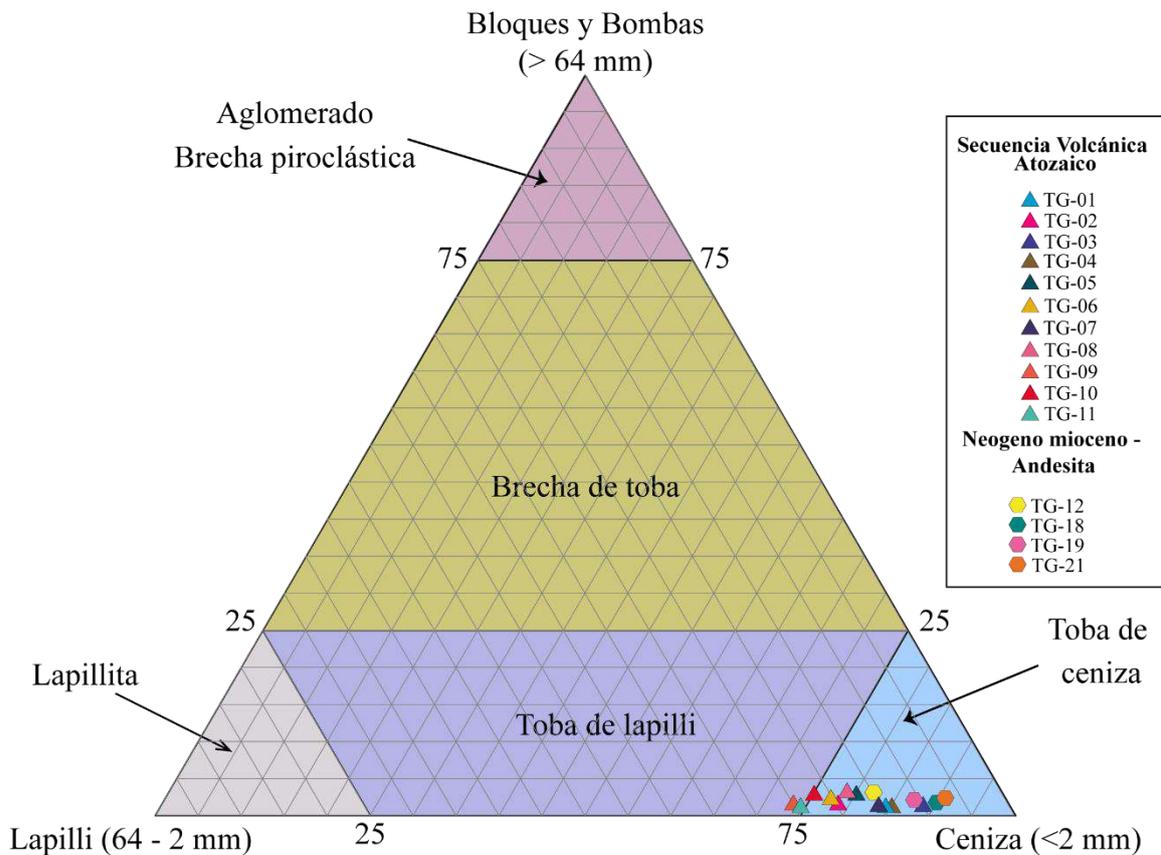


Figura 28. Clasificación de las rocas volcánicas – piroclásticas del Complejo Volcánico Yanacocha- Secuencia volcánica Atozaico- Evento 3 y las rocas piroclásticas muestreadas en el cerro Colpayoc según Fisher (1966). Los resultados obtenidos de las quince (15) muestras analizadas según esta metodología, once (11) corresponden al Evento 3 de la Secuencia Volcánica Atozaico, de las cuales ocho (08) se clasificaron como tobas de ceniza y tres (03) como tobas de lapilli. Las cuatro (04) restantes corresponden a muestras extraídas de los afloramientos cartografiados en el cerro Colpayoc, clasificándolas como tobas de ceniza. La figura muestra que las tobas de ceniza están formadas por más del 75% de componentes piroclásticos con medidas inferiores a 2 mm.

Fuente: Adaptado de Fisher, (1966).

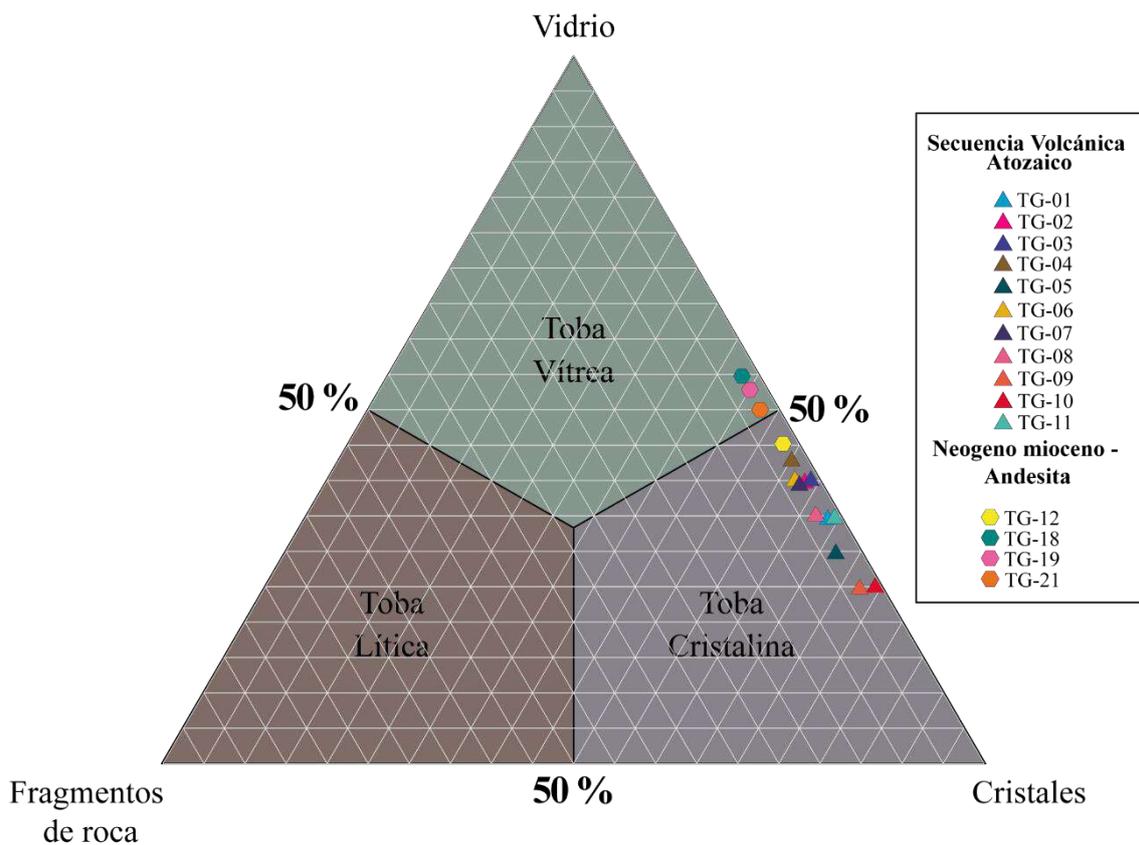


Figura 29. Clasificación de las rocas volcánicas – piroclásticas del Complejo Volcánico Yanacocha- Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3 y las rocas piroclásticas muestreadas en el cerro Colpayoc según Schmid (1981). Los resultados obtenidos de las quince (15) muestras analizadas según esta metodología, once (11) corresponden al Evento 3 de la Secuencia Volcánica Atozaico, las cuales se clasificaron como tobas cristalinas; y cuatro (04) corresponden a muestras extraídas de los afloramientos cartografiados en el cerro Colpayoc, de las cuales tres (03) son tobas vítreas y una (01) como toba cristalina.

Fuente: Adaptado de Schmid, (1981).

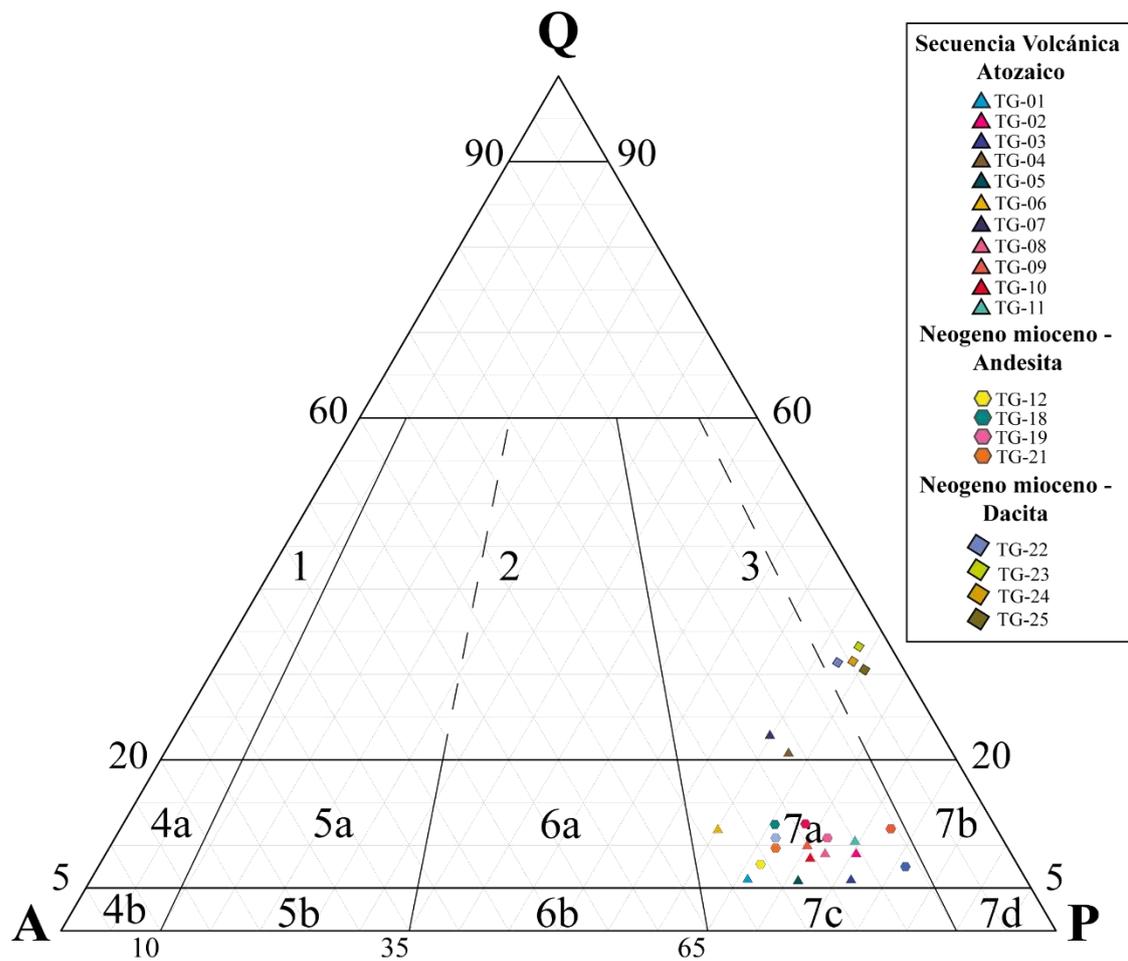


Figura 30. Clasificación de las rocas volcánicas, subvolcánicas y piroclásticas según Streckeisen (1979). De las once (11) muestras de la Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3, nueve (09) son de composición andesítica calcoalcalina y dos (02) de composición dacítica. Las diez (10) muestras analizadas del Cerro Colpayoc se clasifican como andesitas calcoalcalinas, de las cuales seis (06) pertenecen a flujos lávicos o bloques piroclásticos y cuatro (04), corresponden a tobas volcánicas; mientras que las cuatro (04) muestras analizadas en el Cerro Apalina Huajchana, corresponden a rocas subvolcánicas, las cuales se clasificaron como dacitas.

Fuente: Adaptado de Streckeisen, (1979).

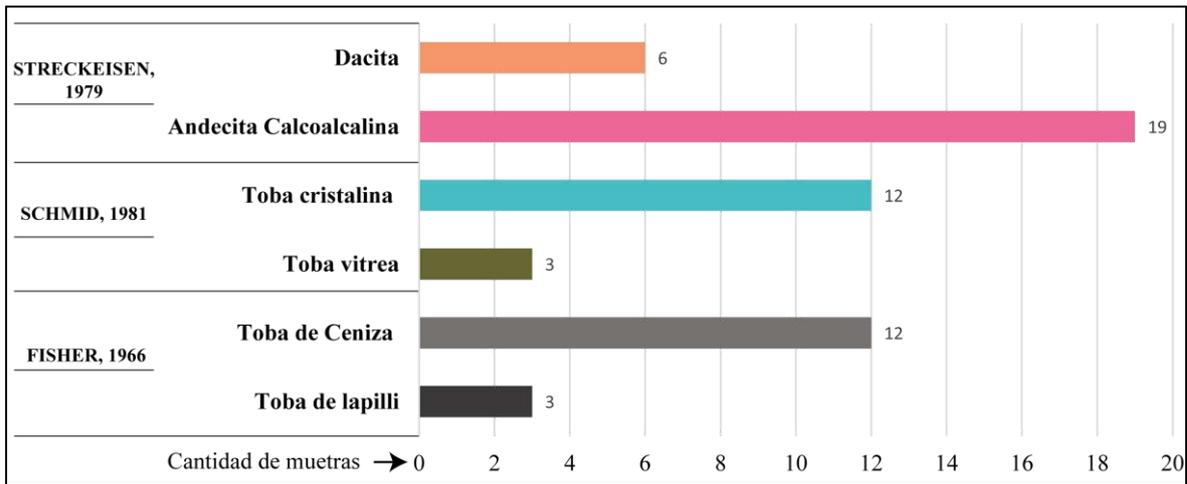


Figura 31. Distribución de las muestras clasificadas según, Fisher (1966); Schmid (1981) y Streckeisen (1979).

#### 4.1.1. Caracterización petrográfica de la Muestra TG-05

##### CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: TOBA CRISTALOVÍTREA

##### 4.1.1.1. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG-05

Roca volcánica con textura fragmental, deleznable y de color gris claro con fragmentos de plagioclasas y minerales ferromagnesianos sostenidos por una matriz de grano muy fino alterada por arcillas. Presentan diseminaciones de pirita dispersas en la matriz. Su densidad es baja y no presenta magnetismo. Efervece levemente al contacto con HCl.

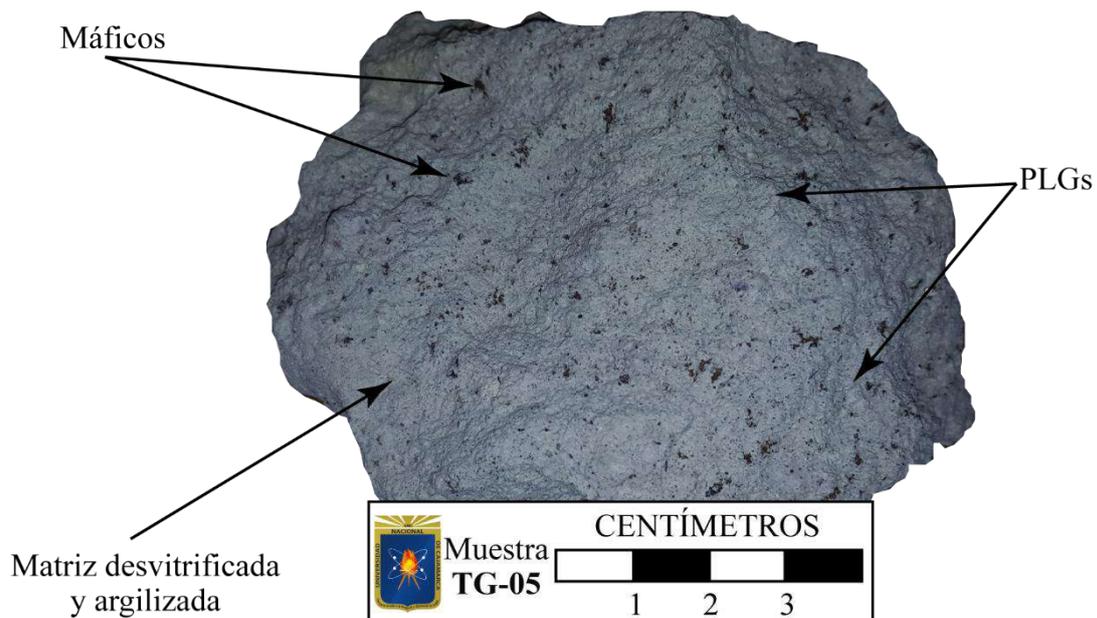
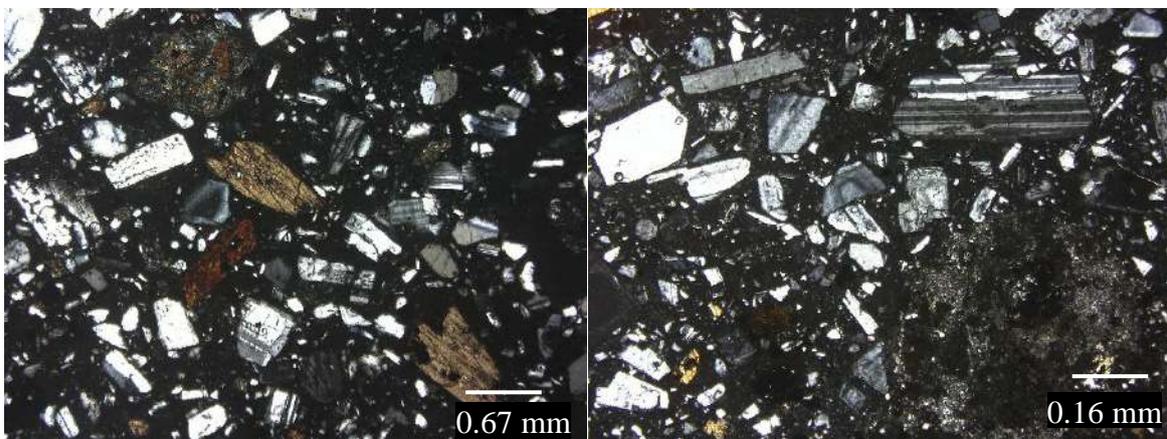


Figura 32. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG- 05.

#### 4.1.1.2. Descripción petrográfica microscópica de la muestra TG-05

Roca piroclástica ligeramente deleznable compuesta por fragmentos de cristales de plagioclasas y escasos fragmentos líticos contenidos en una matriz de vidrio volcánico alterado por feldespato potásico secundario producido por desvitrificación. Las plagioclasas están fracturadas, mientras que los minerales ferromagnesianos están alterados por cloritas y algunos con tintes de óxidos de hierro. La matriz presenta una textura moteada donde los agregados de feldespato potásico secundario están alterados por esmectitas y en algunas zonas con tintes de óxido de hierro. Se reconocen minerales opacos dispersas en la matriz y en algunos están asociadas a los minerales ferromagnesianos.



Microfotografía 1. Secciones delgadas de la muestra TG-05.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).

#### 4.1.1.3. Características Texturales de la muestra TG-05.

Roca es una toba cristalovítrea con textura piroclástica-fragmental, con alteración penetrativa y mineralización diseminada.

La descripción microscópica se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Incipiente (Trazas: < 1%). Débil (1-11%). Moderada (12-49%). Fuerte (>50%)
- El Tipo de alteración hidrotermal esta dado en orden por relación temporal.
- La asociación de minerales está dada por orden de abundancia e intensidad y no por relación temporal.

Tabla 17. Descripción microscópica de los minerales primarios de la muestra TG-05.

	<b>Minerales</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>%</b>
<b>Matriz</b>	Se trata de una matriz vítrea que inicialmente ha pasado por un proceso de desvitrificación formando texturas de aspecto moteado. Presentan feldespato potásico secundario que posteriormente están alterados por esmectitas y localmente presenta tintes de óxidos de hierro.		
	<b>Vidrio volcánico</b> Expuesto como masas criptocristalinas dispersas en la matriz. Están alteradas por feldespato potásico secundario, producido por un proceso de desvitrificación del vidrio volcánico. Localmente se observan texturas moteadas.		30
<b>PRIMARIOS</b>	<b>Plagioclasa I</b> Cristales subhedrales de hábitos tabulares con maclas polisintéticas y algunos cristales con zonación concéntrica. Sus bordes están corroídos por la matriz de la roca. Muchos cristales están rotos.	0.12 a 3.5	37
	<b>Anfiboles</b> Expuesto como cristales subhedrales de hábitos prismáticos y con bordes corroídos por la matriz. Están alterados a cloritas y presentan zonas teñidas por óxidos de hierro. Presenta inclusiones de minerales opacos.	<1.50	8
	<b>Biotita</b> Se trata de agregados escamosos con bordes irregulares y corroídos por la matriz. Están siendo reemplazadas por cloritas y algunos están teñidos por óxidos de hierro.	<2.80	3
	<b>Roca porfirítica fuertemente alterada.</b> Se trata de fragmentos con formas subredondeadas con bordes poco definidos y corroídos por la matriz. Están constituidos por fantasmas de feldespatos alterados por esmectitas con tintas de óxidos de hierro, contenidos por una matriz microcristalina de cuarzo.	<2.60	2
<b>Accesorios</b>	<b>Zircón</b> Grano con formas subredondeada incluido en cristal de plagioclasa.	<0.03	Traza

Tabla 18. Descripción de minerales secundarios y minerales opacos de la muestra TG-05.

<b>Minerales</b>		<b>Tamaño(mm)</b>	<b>%</b>
<b>secundarios</b>	<b>Cloritas</b>		
	Agregados microescamosos que reemplazan a los anfíboles y biotita primaria.	<0.050	0.5
	<b>Arcillas. (Esmectitas)</b>		
	Agregados criptocristalinos y terrosos que alteran al feldespato potásico secundario en la matriz.		12
	<b>Óxidos de hierro (hematita)</b>		
	Se presentan como agregados terrosos impregnados en algunos cristales de anfíboles, biotita y en algunas zonas en la matriz.		4
<b>Minerales Opacos</b>	Se presentan como cristales subhedrales de hábito cúbico que se encuentra diseminado en la matriz.	0.08 a 0.32	3
	Algunos están incluidos en los minerales ferromagnesianos.		

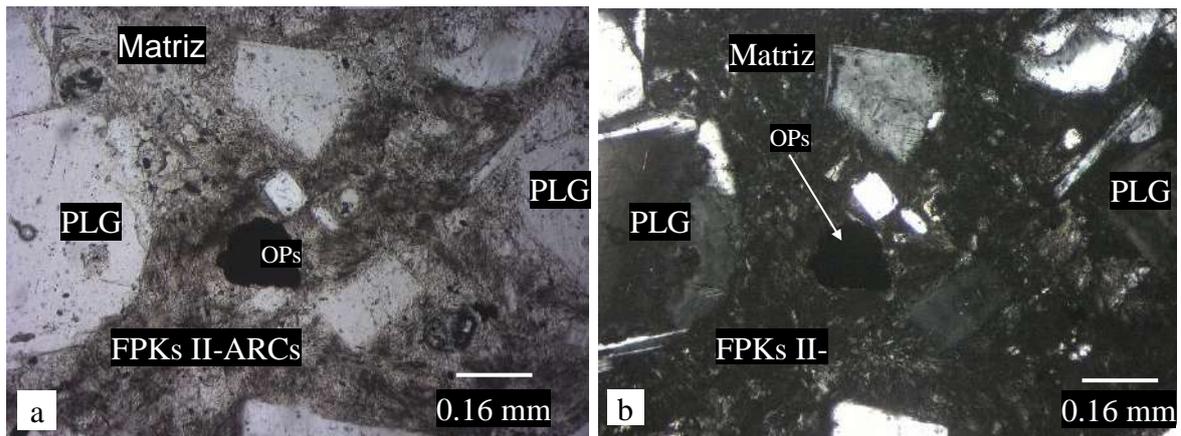
Tabla 19. Tipo de alteración y asociación mineralógica de la muestra TG-05.

<b>Tipo de Alteración</b>	<b>Estilo</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Asociación Mineralógica</b>
Desvitrificación	Penetrativa	Moderada	Feldespato potásico secundario
Cloritización	Penetrativa	Incipiente	Cloritas
Argilización	Penetrativa	Moderada	Esmectitas
Limonitización	Penetrativa	Débil	Hematita

Tabla 20. Secuencia paragenética de la muestra TG-05.

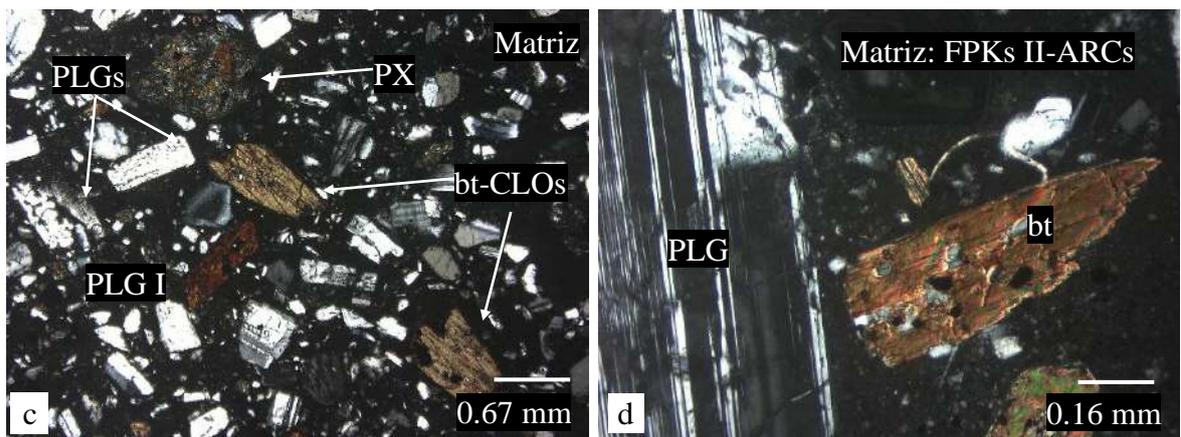
<b>Paragénesis</b>	<b>Tipo de mineral</b>
1. Plagioclasas I	
2. Anfíboles	Fragmentos de cristal
3. Biotita	
4. Roca piroclástica fuertemente alterada	
5. Vidrio volcánico	Fragmentos líticos
6. Feldespato potásico secundario	
7. Zircón	Matriz
8. Cloritas	
9. Esmectitas	
10. Óxidos de hierro (hematita)	
	Primarios (Formadores de rocas)
	Secundarios (Alteración)

#### 4.1.1.4. Secciones delgadas de la muestra TG-05



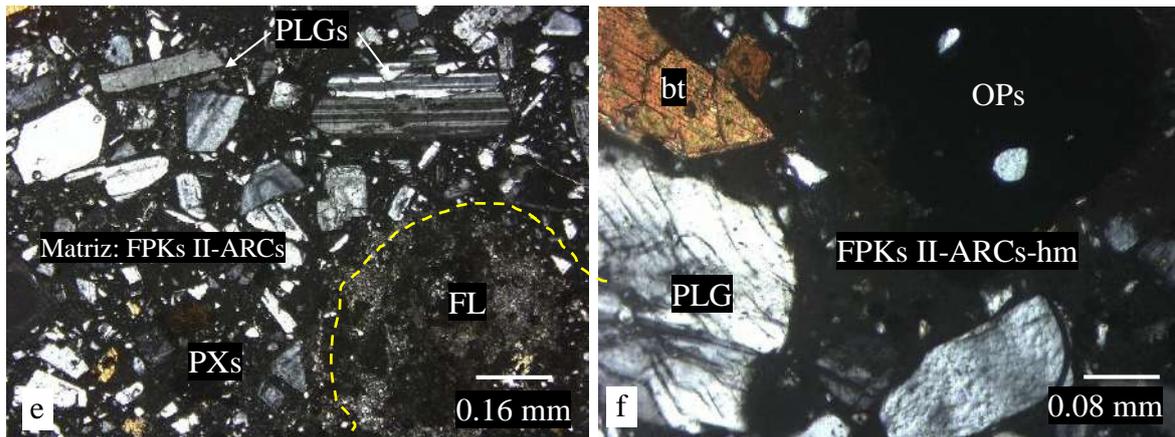
Microfotografía 2. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-05. Cristales rotos de plagioclasas (PLGs) contenido en matriz desvitrificada con agregados moteados de feldespato potásico secundario (FPKs II-ARCs); inclusión de mineral opaco (OPs).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).



Microfotografía 3. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-05, c) Fragmentos de cristales de plagioclasas (PLGs), piroxenos (PX) y biotita (bt) contenidos en una matriz vítrea desvitrificada con feldespato potásico de alteración (vd-FPKs II); d) Plagioclasa con macla polisintética (PLG) y biotita débilmente reemplazada por cloritas (bt-CLOs), contenida en la matriz vítrea desvitrificada (vd-FPKs II).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).



Microfotografía 4. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-05, e) Fragmento lítico (FL) y fragmentos de plagioclasas (PLGs) sostenidos en la matriz desvitrificada (vd-FPKs II); f) Fragmentos rotos de plagioclasas (PLGs) y biotita (bt) sostenido en la matriz de feldespato potásico II con esmectitas y hematita (FPKs II-ARCs-hm).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).

#### 4.1.2. Caracterización petrográfica de la Muestra TG-14

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: PÓRFIDO ANDESITA

##### 4.1.2.1. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG-14.

Roca ígnea hipoabisal compacta de color gris oscuro. Está constituida por fenocristales de plagioclasas, cuarzo y minerales ferromagnesianos sostenidos por una matriz de grano muy fino teñida por óxidos de hierro. Se reconocen escasas diseminaciones de pirita dispersas en la matriz. Su densidad es baja y no presenta magnetismo. Efervece levemente con HCl.

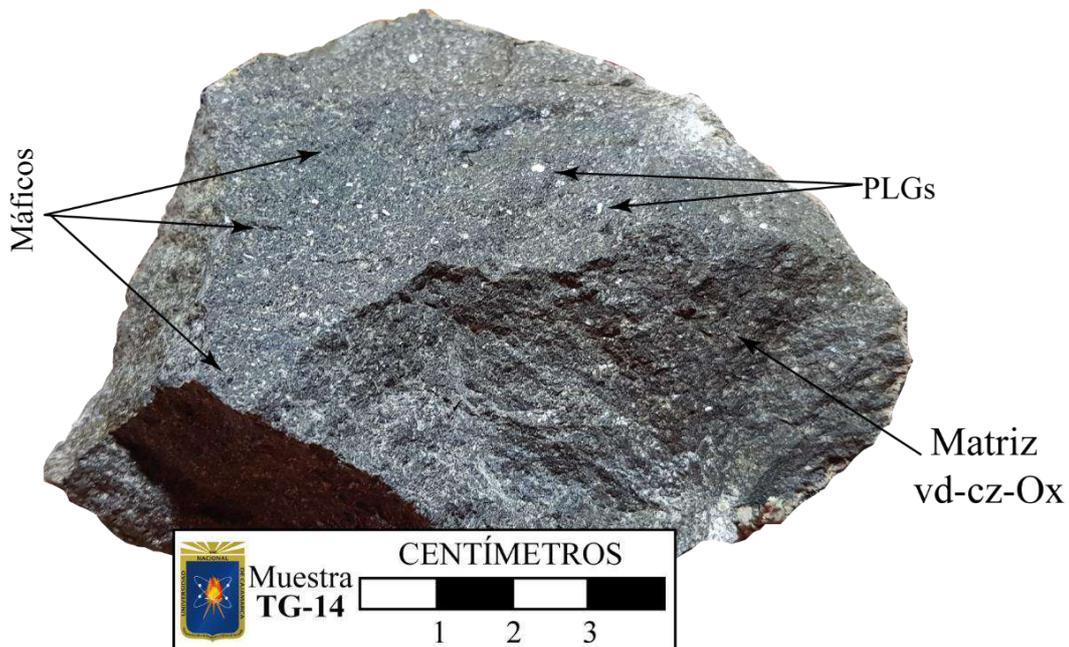
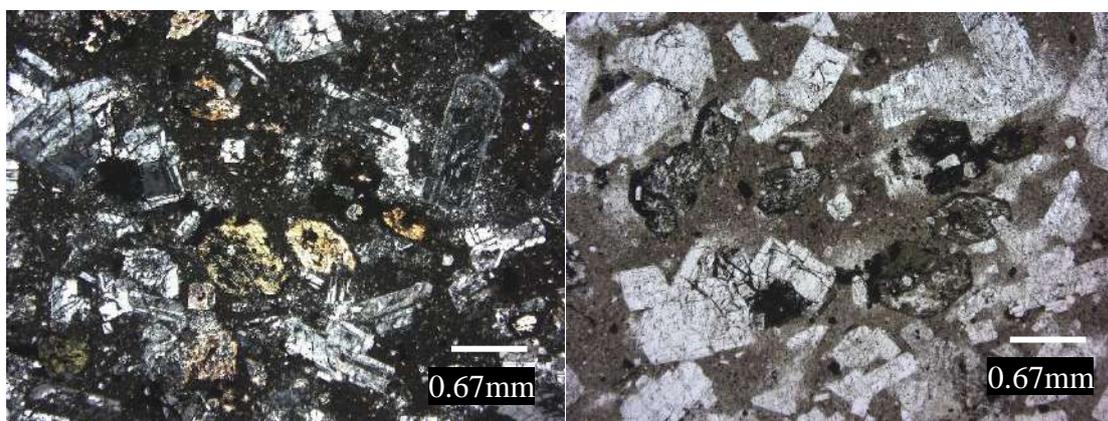


Figura 33. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG- 14.

#### 4.1.2.2. Descripción petrográfica microscópica de la muestra TG- 14

Roca ígnea con textura porfirítica compacta y conformada por fenocristales de plagioclasas I, cuarzo y anfíboles contenidos en una matriz compuesta por masas criptocristalinas de vidrio volcánico acompañada de cuarzo II y agregados microlíticos de plagioclasas II. La matriz está teñida por óxidos de hierro y presenta agregados de carbonatos, desarrollado por alteración de las plagioclasas II. Algunas plagioclasas I, presentan zonación concéntrica, está fracturados y están reemplazados por carbonatos; mientras que los anfíboles están siendo reemplazadas por cloritas y carbonatos. Presenta diseminaciones de minerales opacos dispersos en la matriz.



Microfotografía 5. Secciones delgadas de la muestra TG-14.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).

#### 4.1.2.3. Características texturales de la muestra TG-14.

La muestra presenta textura porfirítica con matriz micro a criptocristalina, con alteración penetrativa y mineralización y diseminada.

La descripción microscópica se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Incipiente (Trazas: < 1%). Débil (1-11%). Moderada (12-49%). Fuerte (>50%)
- El Tipo de alteración hidrotermal esta dado en orden por relación temporal.
- La asociación de minerales está dada por orden de abundancia e intensidad y no por relación temporal.

Tabla 21. Descripción de los minerales primarios y minerales accesorios de la muestra TG-14.

		<b>Minerales</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>%</b>	
<b>PRIMARIOS</b>	<b>Matriz</b>	Se trata de una matriz vítrea con agregados microcristalinos de cuarzo II y algunos agregados microlíticos de plagioclasas II, ligeramente alteradas por carbonatos. En algunas zonas se observan texturas poiquilítica compuestas por agregados moteados de feldespato potásico secundario.			
		<b>Vidrio volcánico</b>			
		Se trata de masas criptocristalinas alteradas por feldespato potásico secundario, producido por la desvitrificación del vidrio volcánico.		14	
		<b>Cuarzo II</b>			
		Expuesto como agregados criptocristalinos intercrecidos con plagioclasas II y masas de vidrio. Están impregnadas por óxidos de hierro.		2	
		<b>Plagioclasa II</b>			
	Expuesto como agregados microlíticos con formas tabulares y con maclas polisintéticas. Están alterados a carbonatos.	<0.05	4		
		<b>Plagioclasa I</b>			
	Presente como cristales subhedrales con hábitos prismáticos con maclas polisintéticas y con bordes corroídos por la matriz. Algunos cristales presentan zonación concéntrica y están alterados selectivamente por cuarzo III. Presentan fracturas rellenas por carbonatos y óxidos de hierro.	0.2 a 3	33		
		<b>Anfíboles</b>			
	Expuesto como cristales subhedrales con hábitos prismáticos y con cortes basales hexagonales y romboidales. Algunos cristales se encuentran reemplazados por cloritas y carbonatos, y presentan bordes con tintes de óxidos de hierro.	<1	8		
	<b>Cuarzo I</b>				
	Presente como formas relícticas incluidas en la matriz.	0.05 a 0.35	0.5		
	<b>Apatito</b>				
<b>Accesorios</b>	Presente como cristales euhedrales y subhedrales con hábitos prismáticos que se encuentra incluidos en plagioclasas I y anfíboles.	<0.025	Traza		

Tabla 22. Descripción de los minerales secundarios y minerales opacos de la muestra TG- 14.

		<b>Minerales</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>%</b>
<b>Secundarios</b>	<b>Cuarzo III</b>			
		Manifiesto como agregados microcristalinos que reemplazan selectivamente algunos moldes de plagioclasas I.	<0.050	3
	<b>Cloritas</b>			
		Agregados microescamosos que reemplazan a los anfíboles. Están intercrecidos con carbonatos.	<0.50	5
	<b>Carbonatos</b>			
	Expuesto como agregados microcristalinos y formas anhedrales que rellenan fracturas en plagioclasas I y alteran a los anfíboles. Se encuentran dispersos en la matriz, desarrollado por alteración del feldespato potásico secundario y los microlitos de plagioclasas II.	<0.8	10	
<b>Óxidos de hierro (hematita)</b>				
	Ocurren como agregados criptocristalinos y terrosos que se encuentran relleno de fracturas en las plagioclasas I.	<1	14	
<b>Minerales Opacos</b>		Se presentan como cristales euhedrales de hábito cúbico que se encuentra diseminado en la matriz, algunos se encuentran teñidos de óxidos de hierro.	0.03 a 1.2	6

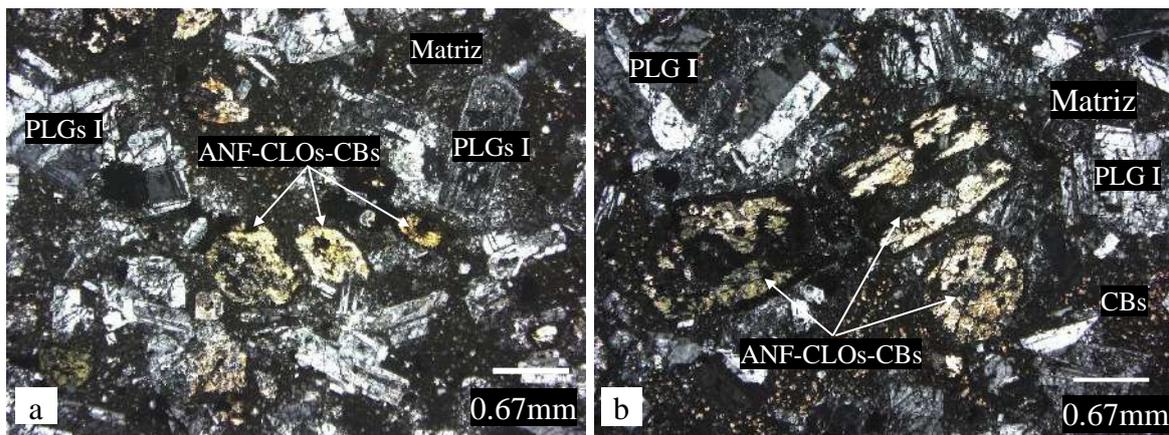
Tabla 23. Tipo de alteración y asociación mineralógica de la muestra TG-14

<b>Tipo de Alteración</b>	<b>Estilo</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Asociación Mineralógica</b>
Sub- propilítica	Penetrativa	Moderada	Carbonatos - Cloritas
Limonitización	Penetrativa	Moderada	Hematita

Tabla 24. Secuencia paragenética de la muestra TG-14.

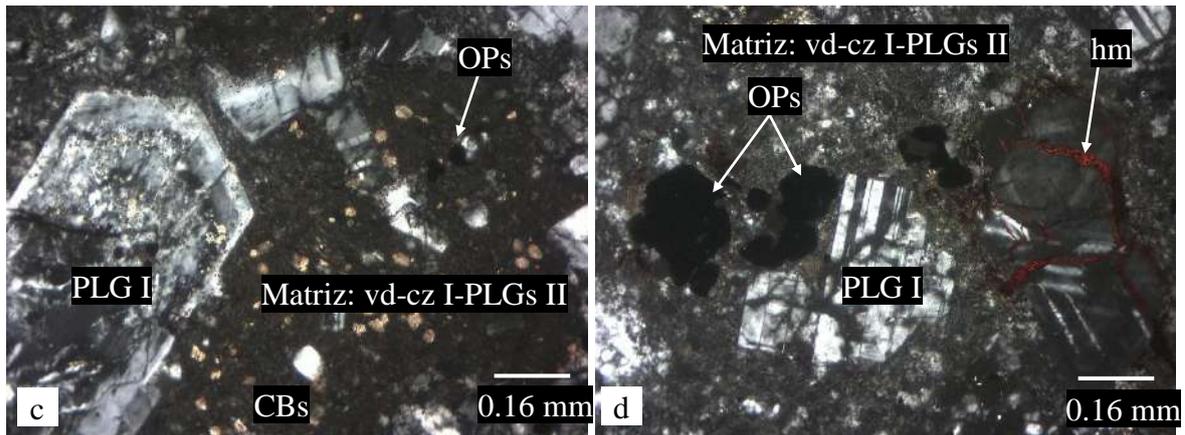
Paragénesis		Tipo de mineral
1. Plagioclasas I	Fenocristales	Primarios (Formadores de rocas)
2. Anfíboles		
3. Cuarzo I		
4. Vidrio Volcánico		
5. Cuarzo II	Matriz	
6. Plagioclasas II		
7. Apatito		
8. Cuarzo III		
9. Cloritas		
10. Carbonatos		
11. Óxidos de hierro (hematita)		

#### 4.1.2.4. Secciones delgadas de la muestra TG-14



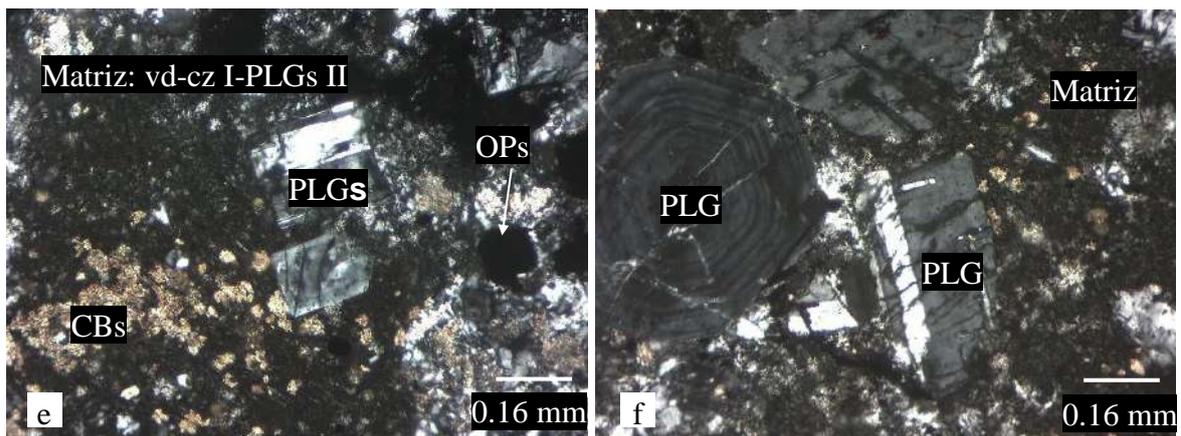
Microfotografía 6. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-14, a) Fenocristales de plagioclasas I (PLGs I) y anfíboles alterados por cloritas (CLOs) y carbonatos (CBs); están sostenidas en una matriz vítrea con cuarzo II y plagioclasas II (vd-cz II-PLGs II); b) Fenocristales de anfíboles alterados por cloritas con carbonatos (ANFs-CLOs-CBs) y plagioclasas I (PLGs I) con bordes corroídos por la matriz.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).



Microfotografía 7. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-14, c) Fenocristal de plagioclasa I zonada con bordes corroídos por la matriz; d) Fenocristales de plagioclasas I (PLGs I) con fracturas rellenas por hematita (hm); están sostenidas por una matriz vítrea con cuarzo y microlitos de plagioclasas II (vd-cz I-PLGs II).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).



Microfotografía 8. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-14, e) Matriz compuesta por vidrio volcánico (vd) con cuarzo II (cz II) y microlitos de plagioclasas II (PLGs II); están alterados por agregados de carbonatos (CBs); f) Fenocristales de plagioclasas I (PLGs I) con maclas polisintéticas. Presentan bordes corroídos por la matriz que está compuesta por agregados moteados de feldespatos potásicos secundarios, producido por la desvitrificación del vidrio volcánico.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).

### 4.1.3. Caracterización petrográfica de la Muestra TG-20

#### CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: PÓRFIDO ANDESITA

##### 4.1.3.1. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG-20

Roca ígnea hipoabisal compacta de color marrón rojizo oscuro. Está constituida por fenocristales de plagioclasas y minerales ferromagnesianos sostenidos por una matriz de grano muy fino teñida por óxidos de hierro. Su densidad es baja y presenta magnetismo débil localmente. Efervece levemente al contacto con HCl.

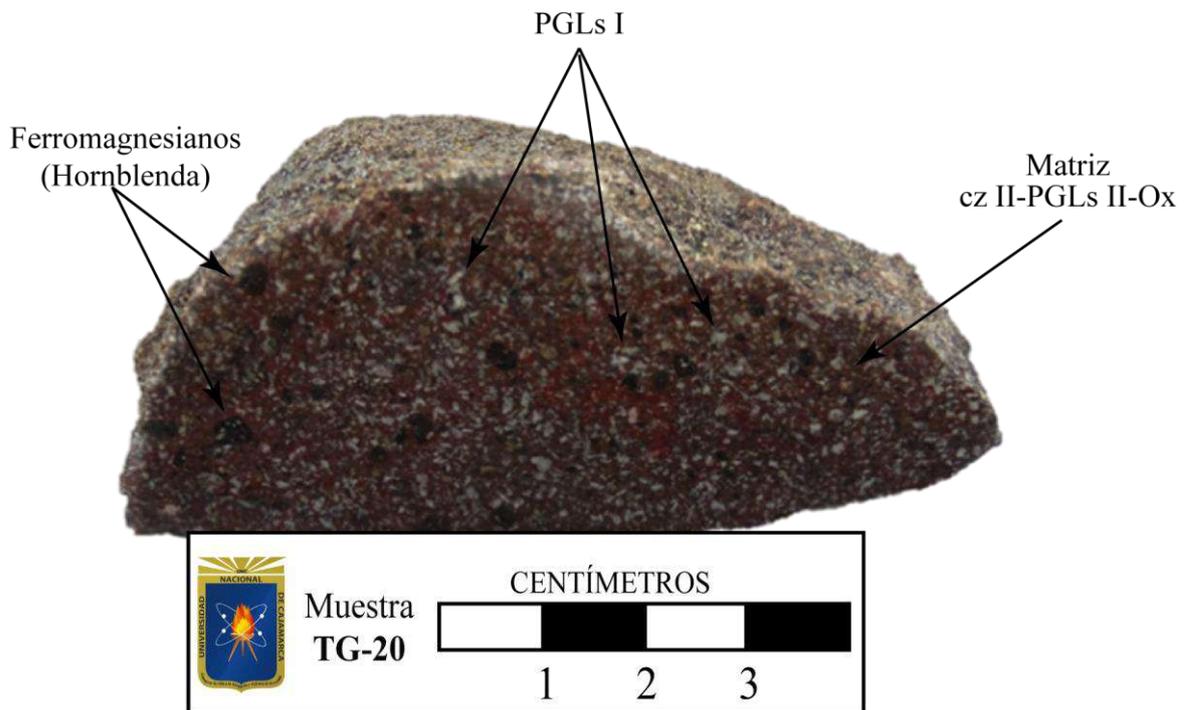
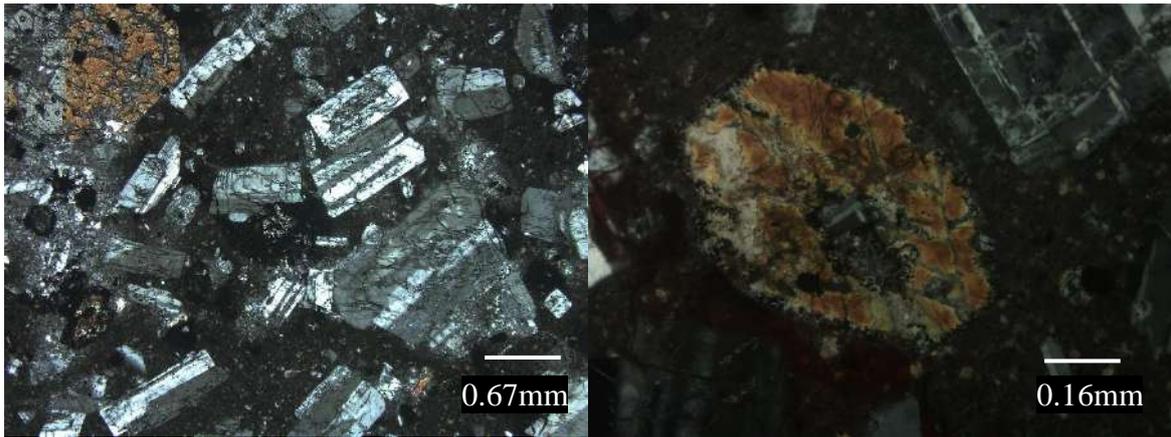


Figura 34. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG- 20.

##### 4.1.3.2. Descripción petrográfica microscópica de la muestra TG- 20.

Roca ígnea con textura porfirítica compacta y conformada por fenocristales de plagioclasas I, cuarzo I y anfíboles contenidos en una matriz compuesta por masas criptocristalinas de vidrio volcánico acompañada de cuarzo II y agregados microlíticos de plagioclasas II. La matriz está teñida por óxidos de hierro y presenta agregados de carbonatos, desarrollados por alteración de las plagioclasas II. Algunas plagioclasas I, presentan zonación concéntrica, y están fracturadas. Presenta diseminaciones de minerales opacos dispersos en la matriz y en las fracturas de anfíboles.



Microfotografía 9. Secciones delgadas de la muestra TG-20.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).

#### **4.1.3.3. Características texturales de la muestra TG-20**

Roca volcánica con textura porfirítica con matriz micro a criptocristalina, con alteración penetrativa y mineralización diseminada.

La descripción microscópica se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Incipiente (Trazas: < 1%). Débil (1-11%). Moderada (12-49%). Fuerte (>50%)
- El Tipo de alteración hidrotermal esta dado en orden por relación temporal.
- La asociación de minerales está dada por orden de abundancia e intensidad y no por relación temporal.

Tabla 25. Descripción de los minerales primarios y minerales accesorios de la muestra TG- 20.

	<b>Minerales</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>%</b>
<b>PRIMARIOS</b>	Se trata de una matriz vítrea de cuarzo II criptocristalino y algunos agregados microlíticos de plagioclasas II, alteradas por carbonatos. En algunas zonas se observan texturas micropoikilíticas compuestas por agregados moteados de feldespato potásico secundario.		
	<b>Vidrio volcánico</b>		
	Se trata de masas criptocristalinas alteradas por feldespato potásico secundario, producido por la desvitrificación del vidrio volcánico. Presenta impregnaciones de óxidos de hierro.		10
	<b>Cuarzo II</b>		
	Está presente como agregados criptocristalinos intercrecidos con plagioclasas II y masas de vidrio volcánico.		6
	<b>Plagioclasa II</b>		
	Expuesto como agregados microlíticos con formas tabulares y con maclas polisintéticas. Están alterados a carbonatos.	<0.05	8
	<b>Plagioclasa I</b>		
	Presente como cristales euhedrales a subhedrales de hábitos prismáticos con maclas polisintéticas y con bordes corroídos por la matriz. Algunos cristales presentan zonación concéntrica y están alterados selectivamente por cuarzo III. Presenta fracturas rellenas por carbonatos y óxidos de hierro.	0.2 a 2.5	33
	<b>Cuarzo I</b>		
Presente como formas relícticas incluidas en la matriz.	0.05 0.10	a traza	
<b>Anfíboles</b>			
Expuesto como cristales subhedrales con hábitos prismáticos en cortes basales hexagonales y romboidales, y con maclas simples. Presentan inclusiones de apatito, y en las fracturas están rellenas por carbonatos, cristales de plagioclasas y minerales opacos. Algunos son reemplazados por cuarzo III.	0.4 a 1.5	10	
<b>Apatito</b>			
Presente como cristales euhedrales y subhedrales con hábitos prismáticos incluidos en plagioclasas I y anfíboles. En plagioclasas I, cristales pequeños de 0.02 mm, y en anfíboles se encuentran en sección basal y lateral, cristales de mayor tamaño (0.07-0.10 mm).	0.07 0.10	a 2	

Tabla 26. Descripción de los minerales secundarios y minerales opacos de la muestra TG-20.

	<b>Minerales</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>%</b>
<b>Secundarios</b>	<b>Cuarzo III</b>		
	Manifiesto como agregados microcristalinos que reemplazan selectivamente a fenocristales de, plagioclasas y ferromagnesianos	<0.020	4
	<b>Carbonatos</b>		
	Expuesto como agregados microcristalinos y formas anhedrales que rellenan fracturas en plagioclasas I y alteran a los anfíboles. Se encuentran dispersos en la matriz, desarrollado por alteración del feldespato potásico secundario y los microlitos de plagioclasas II.	<0.1	8
	<b>Óxidos de hierro (hematita)</b>		
	Ocurren como agregados criptocristalinos y terrosos que se encuentran relleno de fracturas en las plagioclasas I, como halos de los minerales opacos y en los intersticios de la matriz.	<0.1	12
<b>Minerales Opacos</b>	Se presentan como cristales euédricos de hábito cúbico en la matriz, en las fracturas y en los bordes de los anfíboles como partículas de menor tamaño, Posiblemente sean magnetita, por el magnetismo de la muestra de mano.	0.02 - 0.4	6

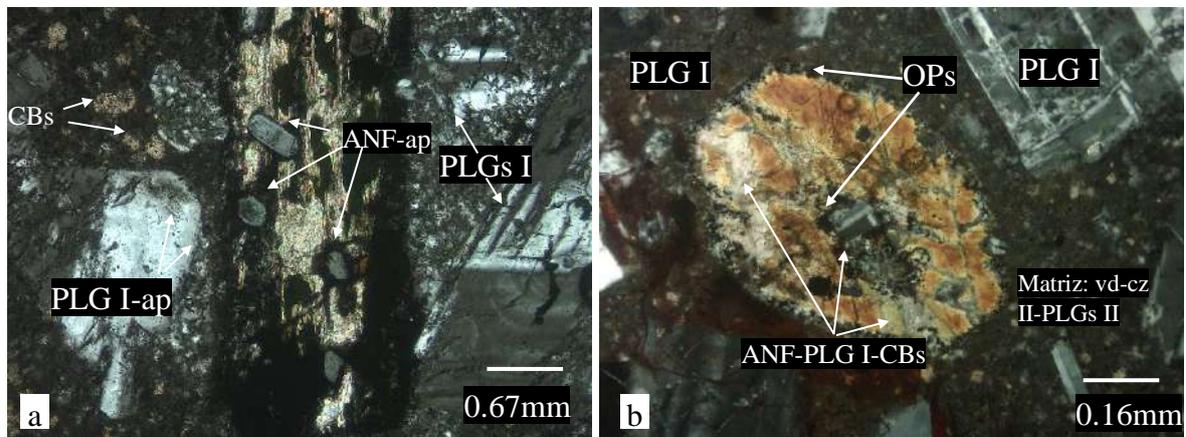
Tabla 27. Tipo de alteración y asociación mineralógica de la muestra TG-20.

<b>Tipo de Alteración</b>	<b>Estilo</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Asociación Mineralógica</b>
Silicificación	Penetrativa	Débil	Cuarzo
Carbonatación	Penetrativa	Débil	Carbonatos
Limonitización	Penetrativa	Moderada	Hematita

Tabla 28. Secuencia paragenética de la muestra TG-20.

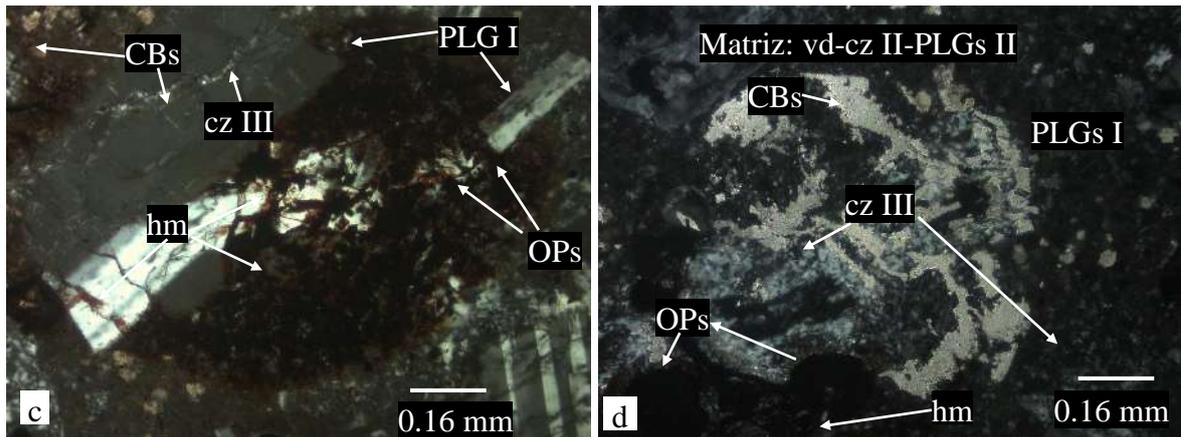
Paragénesis		Tipo de mineral	
1. Plagioclasas I		Primarios (Formadores de rocas)	
2. Anfíboles	Fenocristales		
3. Cuarzo I			
4. Vidrio Volcánico			
5. Cuarzo II	Matriz		
6. Plagioclasas II			
7. Apatito			
8. Cuarzo III		Secundarios (Alteración)	
9. Cloritas			
10. Carbonatos			
11. Óxidos de hierro (hematita)			

#### 4.1.3.4. Secciones delgadas de la muestra TG-20



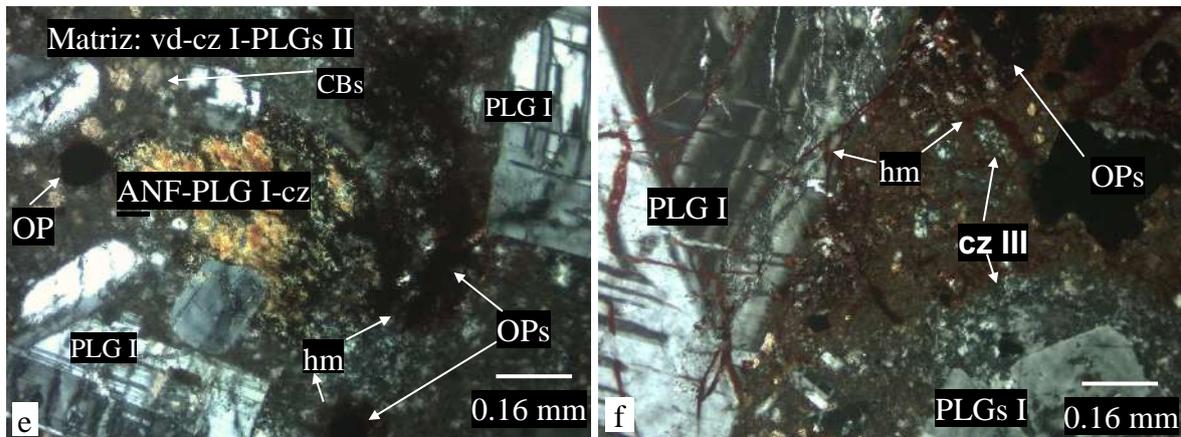
Microfotografía 10. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-20, a) Fenocristales de plagioclasas I (PLGs I y anfíbol alterado a carbonatos (CBs) con inclusiones de apatito (ANF-ap), y carbonatos en la matriz (CBs); b) Plagioclasa I (PLG I) y anfíbol (ANF) corroído por la matriz de vidrio con cuarzo II y plagioclasas II (vd-cz II-PLGs II);

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).



Microfotografía 11. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-20, c) Fenocristales de plagioclasas I (PLGs I) con zonas teñidas por hematita (hm) con minerales opacos (OPs); d) Fenocristales de plagioclasas I (PLGs I) reemplazadas por cuarzo III con alteración de carbonatos en los bordes (CBs); minerales opacos (OPs), carbonatos (CBs) y hematita (hm) en la matriz.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).



Microfotografía 12. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-20, e) Plagioclasas I (PLGs I) y anfíbol (ANF) con inclusión de plagioclasa I (PLG I), parcialmente reemplazado por cuarzo (cz III); minerales opacos (OPs) y hematita (hm) en la matriz; f) Fenocristal de plagioclasa I con maclas polisintéticas y con fracturas teñidas por hematita (hm).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).

#### 4.1.4. Caracterización petrográfica de la Muestra TG-25

##### CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: PÓRFIDO DACITA

#### 4.1.4.1. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG-25

Roca ígnea con textura porfirítica compacta y de color gris claro. Está conformada por fenocristales de plagioclasas y minerales ferromagnesianos (hornblenda) contenidos en una matriz de grano muy fino. Presenta diseminación de pirita en la matriz. Está cortada por venillas semirectas de cuarzo de color gris claro. Su densidad es media y carece de magnetismo.

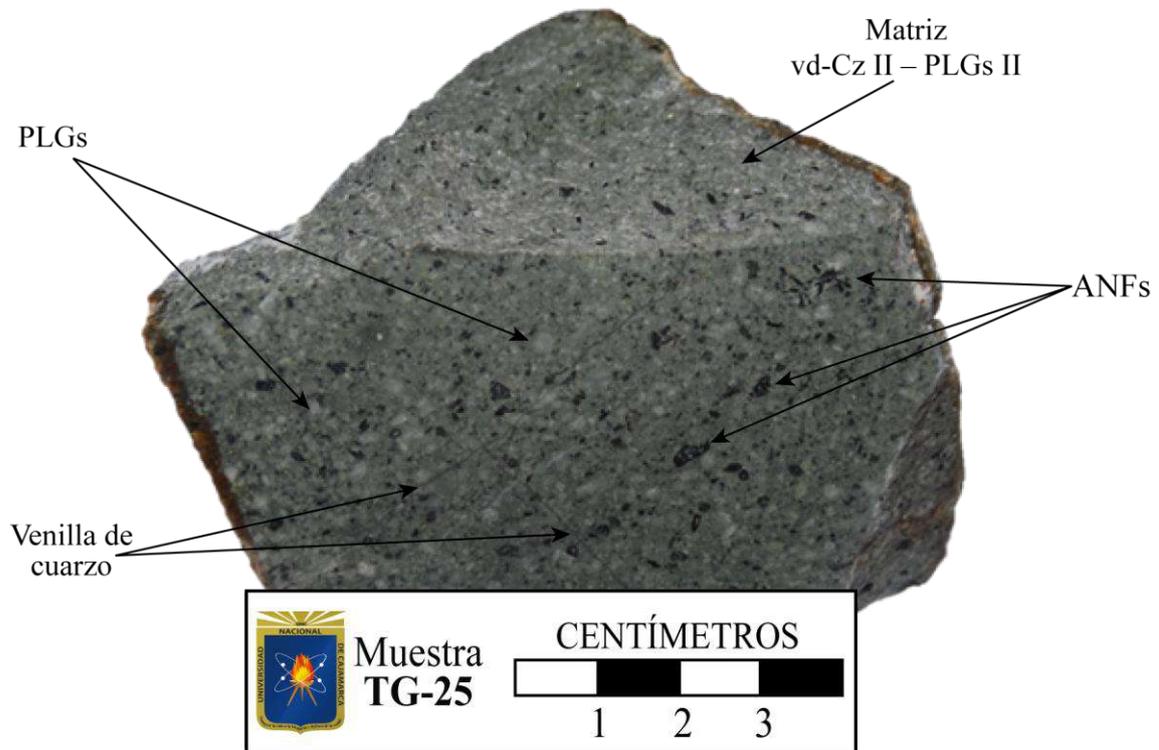
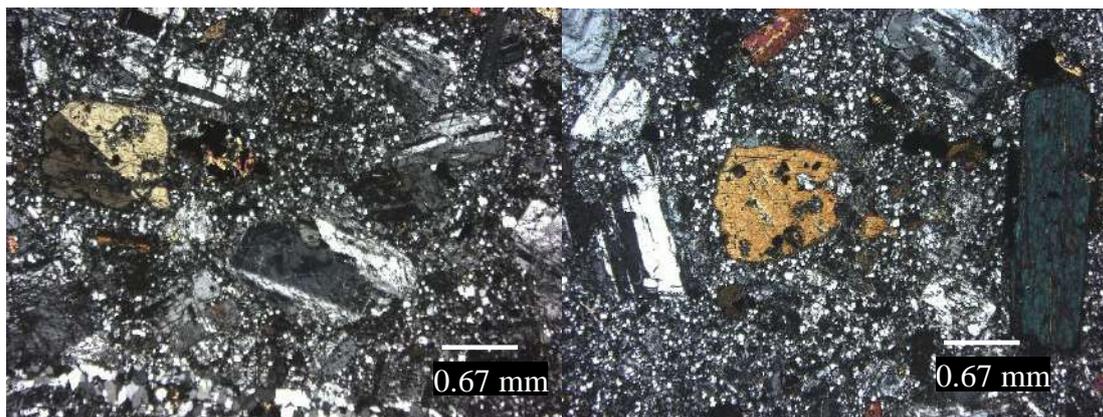


Figura 35. Descripción petrográfica macroscópica de la muestra TG- 25.

#### 4.1.4.2. Descripción petrográfica microscópica de la muestra TG-25

Roca ígnea hipoabisal conformada por fenocristales de plagioclasas I, anfíboles y piroxenos contenidos en una matriz microcristalina compuesta por agregados de cuarzo II con microlitos de plagioclasas. Las plagioclasas I, están fracturados y rellenos de carbonatos; mientras que los anfíboles y piroxenos están parcialmente alterados a cloritas I y carbonatos. Están acompañados con agregados de epidota. Presenta diseminaciones de minerales opacos I y está cortada por venillas rellenas de cuarzo III con suturas rellenas de cloritas II; con diseminaciones de minerales opacos II.



Microfotografía 13. Secciones delgadas de la muestra TG-25.

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).

#### **4.1.4.3. Características texturales de la muestra TG-25**

Roca volcánica con textura porfirítica con matriz microcristalina, con alteración penetrativa y mineralización diseminada.

La descripción microscópica se realizó teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Incipiente (Trazas: < 1%). Débil (1-11%). Moderada (12-49%). Fuerte (>50%)
- El Tipo de alteración hidrotermal esta dado en orden por relación temporal.
- La asociación de minerales está dada por orden de abundancia e intensidad y no por relación temporal.

Tabla 29. Descripción de los minerales primarios y minerales accesorios de la muestra TG-25.

Minerales		Tamaño (mm)	%
PRIMARIOS	La matriz es microcristalina y está compuesta por cristales de cuarzo II con microlitos de plagioclasas II. Sostienen a los fenocristales y presentan minerales opacos dispersos.		
	<b>Cuarzo II</b>		
	Matriz Presente como agregados microcristalinos con bordes corroídos. Está acompañado con cristales de plagioclasas II. Es el principal constituyente de la matriz.	0.03-0.1	17
	<b>Plagioclasa II</b>		
	Agregados microlíticos tabulares con maclas polisintéticas. Están parcialmente alterados por carbonatos	0.02 - 0.05	13
	<b>Plagioclasa I</b>		
	Cristales subhedrales de hábito prismático con maclas polisintéticas y algunos con zonación concéntrica. Sus bordes están corroídos por la matriz. Se encuentran fracturados con agregados de carbonatos ocupando dichas fracturas. Localmente se encuentran como agregados.	1.3 - 2.2	30
	<b>Piroxenos</b>		
	Fenocristales Expuestos como cristales subhedrales con hábitos prismáticos y formas lamelares con maclas simples. Están alterándose a cloritas.	<1.80	0.5
	<b>Anfíboles</b>		
Es el principal constituyente de minerales ferromagnesianos. Están compuestos por cristales euhedrales y subhedrales con hábitos prismáticos y cortes basales con sección romboidal con halos de alteración. Presentan maclas simples y lamelares. Están reemplazándose a cloritas y localmente por carbonatos. Contienen inclusiones de apatito y zircón.	0.14 - 4.5	10	
<b>Apatito</b>			
Accesorios Se observan como cristales prismáticos con bordes rectos y subredondeados incluidos en cristales de plagioclasas y anfíboles.	<0.08	Traza	
<b>Zircón</b>			
Granos subredondeados incluidos en algunos fenocristales de anfíbol.	<0.03	Traza	

Tabla 30. Descripción de los minerales secundarios y minerales opacos de la muestra TG-25.

	<b>Minerales</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>%</b>
<b>Secundarios</b>	<b>Epidota</b>		
	Expuesto como agregados granulares con formas hexagonales y bordes subredondeados. Están alterando a las plagioclasas. Se encuentran intercrecidos con cloritas y carbonatos.	<0.050	5
	<b>Cloritas I</b>		
	Presente como agregados microescamosos y halos con texturas fibrosas que están reemplazando a los minerales ferromagnesianos. Están acompañadas con carbonatos y epidota. Se reconocen agregados en algunas zonas de la matriz.	<0.50	10
	<b>Carbonatos</b>		
	Se observan como formas anhedrales y agregados terrosos. Están alterando a los minerales ferromagnesianos y rellenan fracturas en cristales de plagioclasas I.	<0.80	6
	<b>Venillas mineralizadas</b>		
	Se trata de venillas con diseminaciones de minerales opacos con formas ligeramente sinuosas y con espesores entre 0.12 a 0.32mm- Están compuestas por cuarzo III con cloritas.		
	<b>Cuarzo III</b>	0.1 - 0.2	3.5
	Presente como agregados microcristalinos con formas equigranulares. En sus intersticios se reconocen agregados de cloritas II.		
	<b>Cloritas II</b>	<0.45	Traza
	Agregados microescamosos ocupando suturas entre los cristales de cuarzo III.		
	<b>Minerales Opacos II</b>	0.01 - 0.08	0.5
	Dispuestos como cristales subhedrales de hábitos cúbicos con bordes rectos a subredondeados. Están asociados al cuarzo III.		
<b>Minerales Opacos I</b>	Presente como cristales subhedrales con hábitos cúbicos dispersos en la matriz. Están contenidos en algunos cristales de plagioclasas I y anfíboles. Posiblemente se traten de pirita según lo observado macroscópicamente.	0.1 - 0.25	4

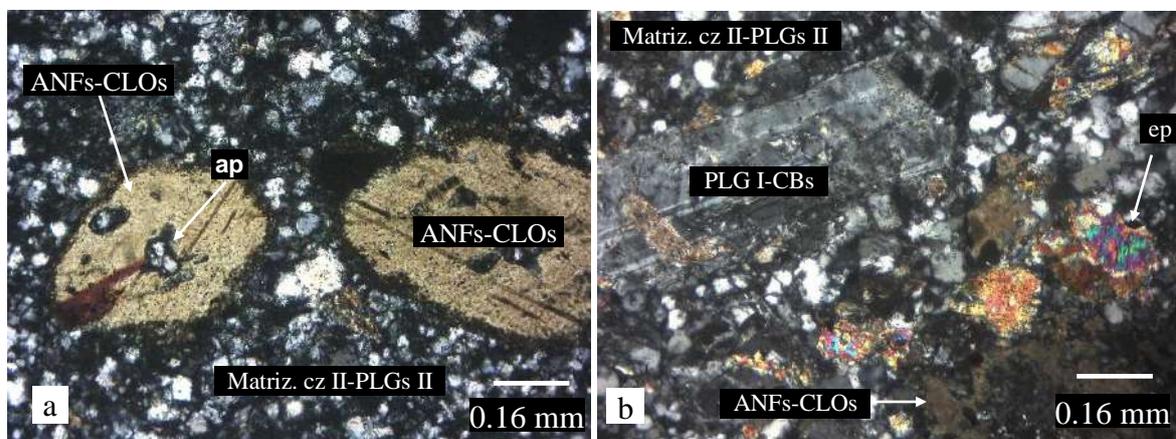
Tabla 31. Tipo de alteración y asociación mineralógica de la muestra TG-25.

Tipo de Alteración	Estilo	Intensidad	Asociación Mineralógica
Propilítica	Penetrativa	Débil	Cloritas I, carbonatos, epidota

Tabla 32. Secuencia paragenética de la muestra TG-25.

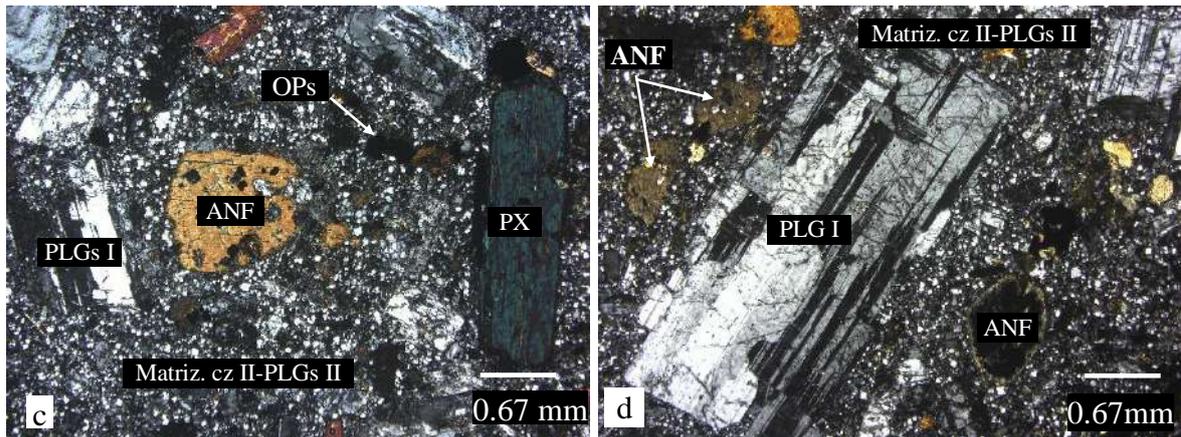
Paragénesis	Tipo de mineral	
1. Plagioclasas I	Primarios (Formadores de rocas)	
2. Piroxenos		
3. Anfíboles		
4. Cuarzo II		
5. Plagioclasas II		
6. Zircón		
7. Apatito		
8. Epidota		
9. Cloritas I		Secundarios (Alteración)
10. Carbonatos		
11. Venillas de cuarzo III- cloritas II - Ops		

#### 4.1.4.4. Secciones delgadas de la muestra TG-25



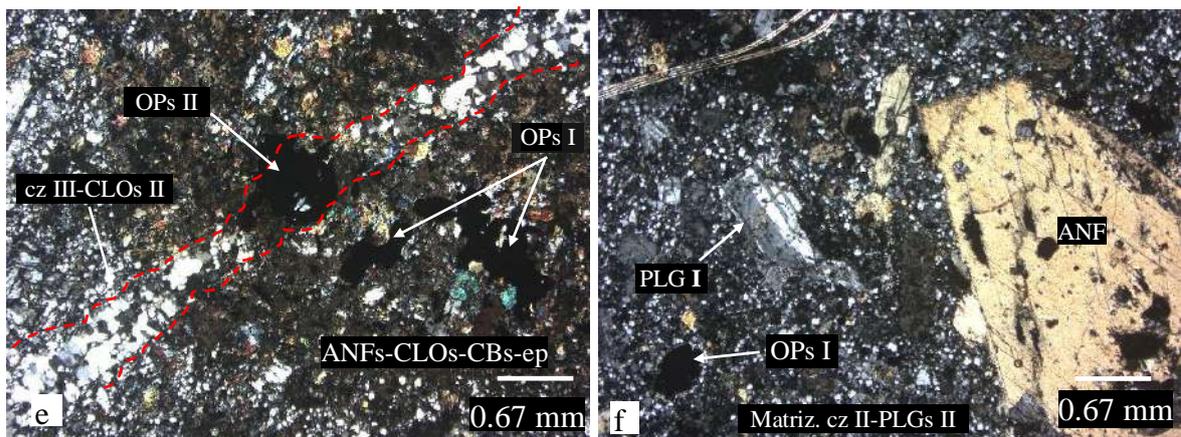
Microfotografía 14. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-25, a) Fenocristales de anfíboles (ANFs) alterándose a cloritas (CLOs) y con inclusión de apatito (ap); b) Fenocristal de plagioclasa I (PLG I) y relicto de anfíbol (ANF), alterado por cloritas (CLOs) y con granos de epidota (ep); están sostenidos en la matriz de cuarzo II-plagioclasas II (cz II-PLGs II).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).



Microfotografía 15. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-25, c) Fenocristales de plagioclasas (PLGs), anfíbol (ANF) y piroxeno (PX) con un halo de alteración de cloritas (CLOs), la matriz está compuesta por cuarzo II con plagioclasas II (cz II-PLGs II); d) Fenocristal de plagioclase (PLG I) y anfíboles (ANFs) sostenidos en la matriz (cz II-PLGs II).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).



Microfotografía 16. Descripción microscópica en sección delgada de la muestra TG-25, e) Venilla rellena de cuarzo III (cz III) con suturas de cloritas (CLOs II) y disseminaciones de minerales opacos II (OPs II); agregados de anfíboles alterados por cloritas I, carbonatos y acompañado con epidota (ANFs-CLOs I-CBs-ep); f) Fenocristal de anfíbol y plagioclase I (PLG I) en una matriz microcristalina de cuarzo II con plagioclasas II (cz II-PLGs II).

Fuente: Mine Metallurgy S.A.C., (2022).

## 4.2. ESTUDIO MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La tabla muestra los minerales constituyentes de la muestra TG-05 identificadas mediante esta técnica. Se resalta, del grupo de las plagioclasas, la presencia de Andesina y Labradorita y del grupo de los feldespatos alcalinos la presencia de sanidina, siendo estas especies minerales característicos de rocas de composición intermedia.

Tabla 33. Resultados de los análisis por Difracción de Rayos X (DRX) de la muestra TG-05 de la Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3, destacándose la presencia de andesina, labradorita y sanidina.

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Labradorita	$\text{Na}_{0.45}\text{Ca}_{0.55}\text{Al}_{1.5}\text{Si}_{2.5}\text{O}_8$	59.30
Sanidina	$(\text{K}, \text{Na}) (\text{Si}_3\text{Al}) \text{O}_8$	16.84
Andesina	$\text{Na}_{0.622}\text{Ca}_{0.368}\text{Al}_{1.29}\text{Si}_{2.71}\text{O}_8$	6.60
Goethita	$\text{Fe}^{+3} \text{O}(\text{OH})$	6.06
Forsterita	$\text{Mg}_2\text{Si O}_4$	4.54
Moscovita	$\text{KAl}_3\text{Si}_3 \text{O}_{10}(\text{OH})_2$	3.14
Actinolita	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_5\text{Si}_8 \text{O}_{22}(\text{OH})_2$	2.51
Pargasita	$\text{Na}_{3.38}\text{Ca}_{1.7}\text{Mg}_{3.34}\text{Fe}_{1.77}(\text{Al}_{1.8} \text{Si}_{6.2}) \text{O}_{23}(\text{OH})$	0.54
Ortoclasa	$\text{K}(\text{AlSi}_3) \text{O}_8$	0.49

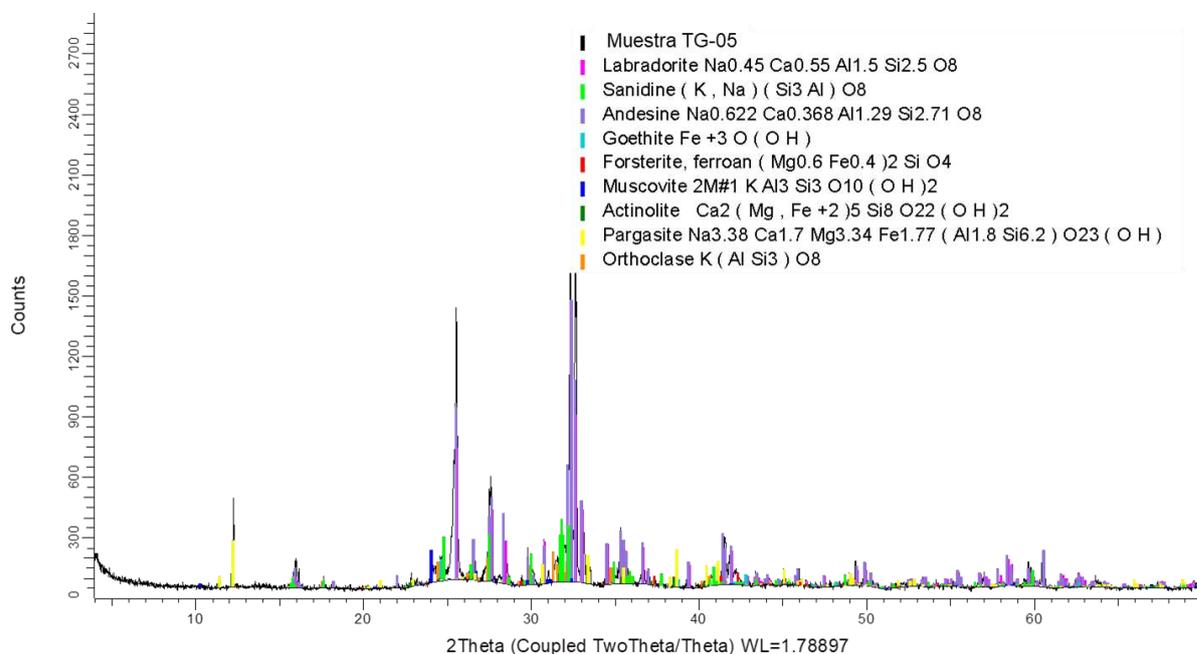


Figura 36. Difractograma de la Muestra TG-05 mostrando los minerales identificados.

### **4.3. CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

#### **4.3.1. Texturas y estructuras**

El estudio realizado en las rocas volcánicas, subvolcánicas y volcánicas - piroclásticas que afloran entre los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, se determinó que la petrografía de la Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3, se caracteriza por presentar rocas piroclásticas de composición andesítica calcoalcalina y dacítica, compuesta por fragmentos de cristales de plagioclasas, hornblenda y escasos fragmentos líticos contenidos en una matriz de vidrio volcánico alterado por feldespatos potásicos secundario producido por desvitrificación.

Los afloramientos volcánicos cartografiados en el Cerro Colpayoc se determinó depósitos de flujos de lava de composición andesítica calcoalcalina, conformadas por fenocristales de plagioclasas, cuarzo y anfíboles incrustados en una matriz compuesta por masas criptocristalinas de vidrio volcánico acompañada de agregados microlíticos de cuarzo y plagioclasas; y flujos piroclásticos conformados por ceniza, lapilli y bloques de composición andesítica; por las características expuesta se puede decir, que el afloramiento corresponden a un domo volcánico que ha colapsado en pleno desarrollo, generando así, rocas volcánicas lávicas como también rocas piroclásticas, donde resalta principalmente los bloques de composición andesítica con diámetros que superan los 1.2 metros.

Finalmente, los afloramientos cartografiados en el cerro Apalina Huajchana se caracteriza por presentar flujos de lava de composición dacítica, conformada por fenocristales de plagioclasas, anfíboles y piroxenos contenidos en una matriz microcristalina compuesta por agregados de cuarzo y microlitos de plagioclasas.

Se determinó las características texturales de las rocas, evidenciándose en todas las muestras analizadas, una textura inequigranular conformada por cristales de dimensiones variables entre 1 y 10 milímetros. Las muestras de la Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3, presenta una textura fragmental- porfirítica, donde resaltan los fragmentos de cristal de hornblenda de dimensiones que varían entre los 3 y 10 milímetros incluidos en una matriz de ceniza de tamaños inferiores a 2 milímetros. Las muestras de los afloramientos volcánicos del Cerro Colpayoc, presenta textura porfírica, conformado por fenocristales de Anfíboles y plagioclasa, incluidos en una matriz criptocristalina a microcristalina de cristales de plagioclasa y cuarzo. Del mismo modo, Las muestras de los afloramientos volcánicos del Cerro Apalina Huajchana, presenta textura porfírica, conformado por fenocristales de

hornblenda, piroxeno y plagioclasa, incluidos en una matriz de microcristales de plagioclasa y cuarzo.

#### **4.3.2. Componentes mineralógicos**

Las unidades litológicas estudiadas presentan mayor proporción de cristales de plagioclasa en relación al cuarzo y feldespato alcalino. Las rocas que componen a la Secuencia Volcánica Atozaico-Evento 3 y de los afloramientos volcánicos del Cerro Colpayoc presenta como minerales primarios a cristales de plagioclasa de proporciones variables entre 30 y 45%, expuestos como cristales subhedrales con dimensiones que oscilan entre 0.12 y 3.5 mm, cuarzo con proporciones modales inferiores al 8%, presentándose como agregados criptocristalinos intercrecidos con plagioclasas y masas de vidrio volcánico; y feldespato alcalino (sanidina) con proporciones modales que generalmente varía entre los entre 5 y 10%, salvo caso excepcionales, también se presentan como minerales primarios cristales de hornblenda con contenido modal de hasta 10% de dimensiones de hasta 10 mm, expuestos como cristales subhedrales y biotita, sobre todo rocas piroclásticas como agregados laminares con bordes irregulares con medidas inferiores a 2.80 milímetros. Los Minerales accesorios identificados en el análisis microscópico son Zircón con formas subredondeadas incluidos en cristales de plagioclasa y apatito como cristales euhedrales y subhedrales, los cuales se presentan como minerales traza. El contenido de minerales secundarios oscila entre 10 y 20%, estando representados principalmente por cloritas, arcillas, carbonatos y óxidos de hierro. Con respecto a la composición mineralógica del Cerro Alpina Huajchana varia respecto al contenido de cuarzo, con proporciones modales que varían entre 17 y 25% de dimensiones inferiores a 0.5 milímetros, presentándose como agregados microcristalinos con bordes corroídos, siendo el principal constituyente de la matriz de las rocas dacíticas analizadas. Además, es importante indicar que se identificó en las secciones delgadas minerales de piroxeno con formas subhedrales alterándose a cloritas con dimensiones de hasta 1.80 milímetros.

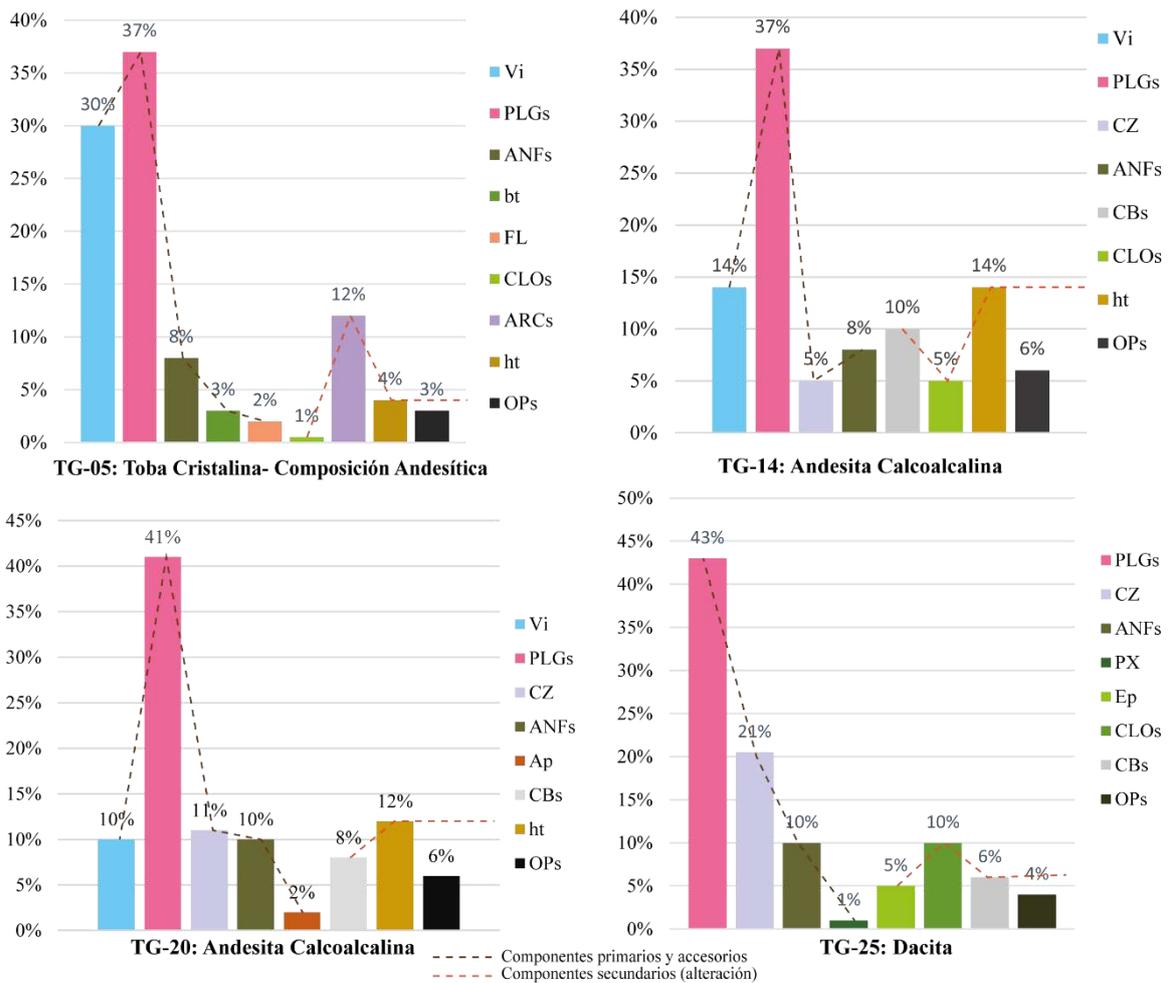


Figura 37. Diagramas de los componentes mineralógicos de las muestras analizadas en la descripción microscópica de láminas delgada, mediante luz transmitida.

En la figura se observa que la muestra TG-05, correspondiente al Evento 3 de la Secuencia Volcánica Atozaico, tiene como componentes primarios a vidrio volcánico, plagioclasa, anfíboles, biotita y fragmentos líticos; la muestra TG-14 y TG-20, tienen como componentes primarios a minerales de plagioclasa, cuarzo, hornblenda y vidrio volcánico, mostrando similitud en cuando a su composición genética. La muestra TG-25 corresponde al domo volcánico localizado en el Cerro Apalina Huajchana, la cual está formada por minerales primarios de plagioclasas, cuarzo, piroxenos y anfíboles (hornblenda).

En todas las muestras analizadas se observa que el constituyente mayoritario son los cristales de plagioclasa con proporciones que oscilan entre los 30 y 45 %, mostrando una variación importante en cuanto al constituyente vítreo en la muestra TG-05 con 30 % con respecto a las muestras TG-14 y TG-20 que presentan 10 y 14% respectivamente. En cuanto al cuarzo, las muestras TG-14 y TG-20 presentan 5 y 11% respectivamente, notándose una marca diferencia con la muestra TG-25 que presenta un 21%, siendo un componente determinante

para su clasificación petrográfica (dacita). Finalmente, como minerales primarios máficos todas las muestras analizadas por microscopio petrográfico presentan cristales de anfíboles con proporciones que varían desde los 8 a 10%, a excepción de la muestra, TG-05 que presenta 3% de biotita y la muestra TG-25 que contiene microcristales de piroxenos con valores cercanos al 1%.

Todas muestras han sufrido un cierto grado de alteración, dando así, origen a minerales secundarios, los cuales son tratados en el siguiente apartado.

#### **4.3.3. Alteraciones y remplazamiento mineralógico**

Mediante el análisis microscópico de luz transmitida, se determinó que la muestra TG-05, correspondiente a la Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3, presenta cuatro tipos de alteración, desvitrificación, con un estilo penetrativo de intensidad moderada, donde el vidrio volcánico se ha alterado a feldespato potásico secundario; cloritización, con un estilo penetrativo de intensidad incipiente, donde los minerales ferromagnesianos, principalmente anfíboles (hornblenda), se han alterado a minerales del grupo de las cloritas; argilización, con estilo penetrativo e intensidad moderada, donde los feldespatos se han alterado a minerales de arcilla, principalmente esmectita; y Limonitización, con estilo penetrativo e intensidad débil, alterados principalmente a hematita. Las muestras del domo volcánico localizado en el cerro Colpayoc, la muestra TG-14 presenta alteración Sub- propilítica de estilo penetrativo e intensidad moderada, con una asociación mineralógica de carbonatos y cloritas; mientras tanto, la muestra TG-20, presentan silicificación y carbonatación de estilo penetrativo e intensidad débil, con asociación mineralógica de minerales de cuarzo y carbonatos. Cabe indicar que ambas muestras presentan Limonitización de estilo penetrativo y de intensidad moderada, con presencia de óxidos de hierro, principalmente hematita. Finalmente, la muestra TG-25, correspondiente al domo volcánico de composición dacítica localizado en el Cerro Apalina Huajchana, presenta alteración del tipo propilítica, de estilo penetrativo e intensidad débil, marcado por la asociación mineralógica de cloritas I, epidota y carbonatos.

Es importante precisar que la identificación de alteración se realizó en base a los siguientes parámetros: Incipiente (Trazas: < 1%). Débil (1-11%). Moderada (12-49%). Fuerte (>50%); el tipo de alteración hidrotermal está dado en orden por relación temporal; y la asociación de minerales está dada por orden de abundancia e intensidad y no por relación temporal, en base a análisis realizados por Mine Metallurgy S.A.C.

#### **4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En la investigación titulado, Geología del Grupo Calipuy (Volcanismo Cenozoico) – segmento Santiago de Chuco, norte del Perú, de Navarro et al. (2010), obtuvo como resultado que los depósitos de flujos de lava tienen una composición andesítica y andesítica basáltica, las cuales se caracterizan por presentar textura porfirítica, afanítica y microlítica, con una paragénesis conformada por minerales de plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, óxidos de Fe-Ti y eventualmente anfíbol y ortopiroxeno. Las rocas formadas a partir de flujos piroclásticos presentan una composición andesítica, dacítica y riolítica, con textura porfirítica y vitroclástica; las cuales se caracterizan por presentar una paragénesis mineral conformada por plagioclasa, clinopiroxeno, magnetita, anfíbol y raramente biotita, olivino y ortopiroxeno. Además, indica que los depósitos piroclásticos que han sido formados a partir de calderas están constituidos por fenocristales de cuarzo, biotita y anfíbol. Por lo tanto, estos afloramientos volcánicos muestran características similares a las que se identificó en los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, tanto en composición mineralógica, características texturales como en la posible secuencia paragenética de las muestras analizadas. En cuanto al estudio titulado Centros volcánicos oligo-miocénicos (Grupo Calipuy) en la zona sur de Cajamarca, de Navarro et al. (2008), indica que el complejo volcánico Yanacocha se ha formado durante el mioceno mediante dos etapas eruptivas. Una primera etapa constituida por depósitos de flujos piroclásticos de bloques, cenizas y pómez de composición riolítica y depósitos de flujos de lava de composición andesítica, en los que observa rocas con texturas afanítica y fragmentos líticos de texturas porfídicas; y una segunda etapa generada por eventos explosivos, que han dado lugar a depósitos piroclásticos de pómez y cenizas de composición dacítica y fragmentos líticos lávicos porfiríticos y monomíticos, por lo que el presente estudio, difiere en ciertos aspectos y agrega características petrográficas específicas del Evento 3 de la Secuencia Volcánica Atozaico de la primera etapa eruptiva del Complejo Volcánico Yanacocha, el cual está constituido por flujos piroclásticos de ceniza y lapilli de composición andesítica y dacítica, con textura fragmental- porfirítica, determinándose además domos volcánicos los cuales están formados tanto por rocas de composición andesítica, como por rocas de composición dacítica, las cuales presentan texturas equigranulares, esencialmente porfirítica. Es preciso indicar que acuerdo a las dataciones radiométricas los afloramientos volcánicos estudiados pertenecen a la edad del Mioceno (14.53-11.2 Ma), el cual de acuerdo a la columna estratigráfica regional corresponde al Volcánico Huambos.

#### **4.5. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Los resultados obtenidos en cuanto al estudio petrográfico realizado a las rocas volcánicas que afloran en las proximidades de los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, permitió determinar que la composición de las rocas volcánicas presenta un porcentaje de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) entre 52% y 65%, clasificándole como rocas intermedias, las cuales están conformadas por minerales esenciales de plagioclasa, cuarzo, sanidina y hornblenda (anfíbol). Además, se comprobó la existencia de rocas andesitas que se ha originado desde un magma de composición calcoalcalina con contenido de minerales máficos, con hasta 15% de hornblenda y hasta 30% de matriz vítrea; rocas piroclásticas, clasificadas según el diagrama de Schmid, como tobas cristalinas y tobas vítreas, y según el diagrama de Fisher, como tobas de ceniza y tobas de lapilli, las cuales presentan textura fragmental- porfirítica, con fragmentos de cristal de hornblenda incluidos en una matriz vítrea desvitrificada a feldespatos alcalinos secundarios. Sin embargo, también se determinó rocas de composición dacítica con contenido modal de cuarzo que supera el 20%. las rocas andesitas y dacíticas presentan textura porfirítica debido a que tienen fenocristales de anfíboles, piroxenos y plagioclasas incluidos en una matriz de cristales más pequeños y masa vítrea, con lo cual se contrasta con la hipótesis planteada.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

Las rocas volcánicas, subvolcánicas y volcánicas - piroclásticas que afloran entre los centros poblados de Carhuaquero y Quinuayoc, se determinó que la petrografía de la Secuencia volcánica Atozaico- Evento 3, se caracteriza por presentar rocas piroclásticas de composición andesítica calcoalcalina y dacítica; los afloramientos volcánicos cartografiados en el Cerro Colpayoc, presentan depósitos de flujos de lava y flujos piroclásticos conformados por ceniza, lapilli y bloques de composición andesítica calcoalcalina, mientras que los afloramientos cartografiados en el cerro Apalina Huajchana se caracteriza por presentar flujos de lava de composición dacítica.

En el cartografiado geológico a escala 1/15000, se determinó dos afloramientos volcánicos que no aparecen plasmados en los principales planos geológicos.

Las características texturales de las rocas, evidencian que, en todas las muestras analizadas presentan una textura inequigranular conformada por cristales de dimensiones variables entre 1 y 10 mm. La Secuencia Volcánica Atozaico- Evento 3, presenta una textura fragmental- porfírica, donde resaltan los fragmentos de cristal de hornblenda de dimensiones que varían entre los 3 y 10 mm, incluidos en una matriz de ceniza de tamaños inferiores a 2 mm. Mientras que los domos volcánicos de composición dacítica y andesítica, presenta textura porfirítica, conformado por fenocristales de Anfiboles, piroxenos y plagioclasa, incluidos en una matriz criptocristalina o microcristalina de cristales de plagioclasa y cuarzo.

Las 25 muestras de roca analizadas presentan como minerales esenciales a cristales subhedrales de plagioclasa de proporciones variables entre 30 y 45%, con dimensiones que oscilan entre 0.12 y 3.5 mm; feldespato alcalino (sanidina) con proporciones modales que generalmente varía entre los 5 y 10%; cuarzo con proporciones modales inferiores al 8% presentándose como agregados criptocristalinos intercrecidos con plagioclasas y masas de vidrio volcánico, cristales subhedrales de hornblenda con contenido modal de hasta 10% con dimensiones de hasta 10 mm, biotita como agregados laminares con dimensiones inferiores a 2.8 mm, y

crisales de piroxenos con dimensiones de hasta 1.8 mm, identificados en rocas dacíticas con proporciones inferiores a 1%.

Los Minerales accesorios identificados en el análisis microscópico son Zircón con formas subredondeadas incluidos en crisales de plagioclasa; y apatito, como crisales euhedrales y subhedrales, los cuales se presentan en la mayoría de casos como minerales traza. El contenido de minerales secundarios oscila entre 10 y 20%, estando representados principalmente por cloritas, epidota, arcillas, carbonatos y óxidos de hierro.

Las muestras analizadas presentan alteraciones, tales como, desvitrificación, cloritización, argilización, limonitización, carbonatación, silicificación, alteración Sub-propilítica y propilítica.

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y a empresas mineras, realizar estudios de dataciones Geocronológicas para determinar la edad exacta de los afloramientos volcánicos cartografiados en la presente investigación, debido a que es una zona de importante interés económico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazán, O. 2016. Evolución Geotectónica de la Deflexión de Cajamarca y su Implicancia en la Metalogenia del Norte del Perú. Cajamarca: Sociedad Geológica del Perú.
- Benavides, V. 1999. Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean cycle. Society of Economic Geologists, Special Publication 7, p. 61-107.
- Castro, A. 2015. Petrografía de las rocas ígneas y metamórficas. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Chavez, L. 2016. Estratigrafía y geoquímica del Grupo Calipuy en la Cordillera Negra (8°45'S – 9°45'S) y su relación con los yacimientos minerales. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Chumbe, M; Cereceda, C; Cerpa, L; Condorhuaman, A; Muñoz, L; Martinez, J.; Torres, D. 2012. Estudio petrográfico de las rocas volcánicas cenozoicas en el sur del Perú y sus implicancias con la mineralización. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, INGEMMET.
- Ecoexploratorio. (s.f.). Tipos de volcanes y erupciones. Obtenido de Ecoexploratorio: Museo de Ciencias de Puerto Rico: <https://ecoexploratorio.org/amenazas-naturales/volcanes/tipos-de-volcanes-y-erupciones/#prettyPhoto>
- Ehlers, E; Blatt, H. 1982. Petrology: Igneous, sedimentary, and metamorphic. San Francisco: W.H. Freeman and Company.
- Espelucín, J. 2017. Caracterización petrológica de la Formación Porculla (Grupo Calipuy), Cumbemayo, Cajamarca . Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Frost, R; Frost, C. 2014. Essentials of Igneous and Metamorphic Petrology. New York: Cambridge University Press.
- González, P. 2008. Textura de los cuerpos ígneos. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina.
- Hernández , C. 2011. Estudio mineralógico, petrográfico y geoquímico de las rocas ígneas aflorantes en el cerro el mirador (vía Mogotes – San Joaquín, Departamento de Santander). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

- Higgins , D. 2006. Quantitative Textural Measurements in Igneous. New York: Cambridge University Press.
- Huang, W. 1968. Petrology. Mexico D.F.: Unión Tipográfica Editodial Hispano - Americana.
- Le Maitre, R; Streckeisen, A; Zanettin, B; Le Bas, M; et al. 2002. Igneous rocks: A classification and glossary of terms. New York: Cambridge University Press.
- Llamoga, G; Navarro, P; Pajuelo, D; Anastacio, A; Ordoñez, E. 2014. Petrografía de las rocas volcánicas del centro de emisión Condorsenga (Grupo Calipuy), provincias de Cajatambo-Oyón. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Longo, A. 2005. Evolution of volcanism and hidrothermal activity in the Yanacocha mining district, Northem Perú. Oregon- U.S.A.: Oregon State University.
- Lopez, P; Bellos, I. 2006. Texturas y estructuras de las rocas igneas: Significado petrológico e implicancias en las condiciones de formación de las rocas. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.
- Mackenzie, W; Donaldson, C; Guilford, C. 1996. Atlas de rocas ígneas y sus texturas. Barcelona, España: MASSON. S.A.
- MacKenzie, W; Adams, A. 1997. Atlas en color de rocas y minerales en lamina delgada. Barcelona: Manson Publishing Ltd.
- Martínez, J. 2020. Tipología de Magmas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- NASA. (National Aeronautics and Space Administration). 2019. ¿Qué es un Volcán? Obtenido de NASA Science space place: <https://spaceplace.nasa.gov/volcanoes2/en/>
- Navarro , P; Monge, R; Flores, A. 2008. Centros volcánicos oligo-miocénicos (Grupo Calipuy) en la zona sur de Cajamarca. Lima: XIV Congreso Peruano de Geología.
- Navarro, P; Rivera, M; Monge, R. 2009. Nuevos aportes sobre el Volcanismo Cenozoico del Grupo Calipuy en La Libertad y Ancash: geocronología y geoquímica. Lima: Sociedad Geológica del Perú (SGP).
- Navarro, P; Rivera, M; Monge, R. 2010. Geología del Grupo Calipuy (Volcanismo Cenozoico) – segmento Santiago de Chuco, norte del Perú. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

- Pajuelo, D. 2015. Magmatismo, petrografía y estratigrafía de los depósitos Volcánicos Cenozoicos (Grupo Calipuy), en el segmento cordillera negra, sector Sur – Ancash. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Quiroz, A. 1997. El corredor estructural Chicama – Yanacocha y su importancia en la metalogenia del norte del Perú. . IX Congreso Peruano de Geología, Sociedad Geológica del Perú, 149-154.
- Rivera, R. 2007. Características metalogénicas de los yacimientos asociados al Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el norte del Perú, región Cajamarca. Lima: Instituto Geológico Minero Y Metalúrgico (INGEMMET).
- Rodríguez, H. 2022. Erupciones volcánicas: qué efectos tienen y por qué son tan peligrosas. Obtenido de National Geographic España: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/erupciones-volcanicas-que-efectos-tienen-y-por-que-son-tan-peligrosas\\_18153](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/erupciones-volcanicas-que-efectos-tienen-y-por-que-son-tan-peligrosas_18153)
- Rojas, A. 2017. Rocas Ígneas: Criterios texturales de clasificación, descripción macroscópica y tipo de roca ígnea. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- SERNAGEOMIN. (Servicio Nacional de Geología y Minería).2018. Chile: territorio volcánico. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- SGM(Servicio Geológico Mexicano).2017. Museo Virtual de rocas. Obtenido de Introducción: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Introduccion-rocas.html#>
- Sieron, K. 2017. Vulcanismo. Obtenido de Universidad veracruzana: <https://www.uv.mx/apps/vulcanismo/>
- Soto, M. 2005. Texto universitario de Petrología. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Toselli, A. 2010. Elementos básicos de petrología ígnea. Tucuman: Universidad Nacional de Tucuman.
- Tyrrell, G. 1963. Principios de petrología: Introducción al estudio de la ciencia de las rocas. Mexico D.F.: Compañía Editorial Continental, S. A.

- Urza, I; Grecco, L; Delpino, S; Arrese, M; Rapela, C. 2011. Petrología y Estructura del Complejo Ígneo-Metamórfico Aluminé, provincia de Neuquén, Argentina,. Buenos Aires: Departamento de Geología, Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR), Universidad Nacional del Sur y CONICET.
- USGS. (United States Geological Survey).2000. ¿Cuáles son las Amenazas o Peligros Volcánicos? Virginia: Servicio Geológico de los Estados Unidos.
- Winter, J. 2014. Principles of Igneous and Metamorphic Petrology (Second Edition ed.). Edinburgh Gate, Harlow: Pearson Education Limited.

## **ANEXOS**

### **ANEXO I – RESULTADOS PETROGRÁFICOS**

A- Formatos petrográficos

### **ANEXO II – PLANOS**

Plano N° 1 – Plano de Ubicación

Plano N° 2 – Plano Satelital

Plano N° 3 – Plano Modelo Digital de Elevaciones

Plano N° 4 – Plano de Unidades Morfogenéticas

Plano N° 5 – Plano de Elevaciones

Plano N° 6 – Plano Geológico

Plano N° 7 – Columna Estratigráfica

Plano N° 8 – Carta Geológica Nacional 15f-I

**ANEXO I**  
**FORMATOS PETROGRÁFICOS**

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM	
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE
<b>TG-01</b>	<i>Perú</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Carhuaquero</i>	<i>766974</i>	<i>9209907</i>
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico</i>							<i>Nm-at</i>

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Blanquecina</i>	<i>Irregular</i>	<i>3-4</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-3mm)</i>

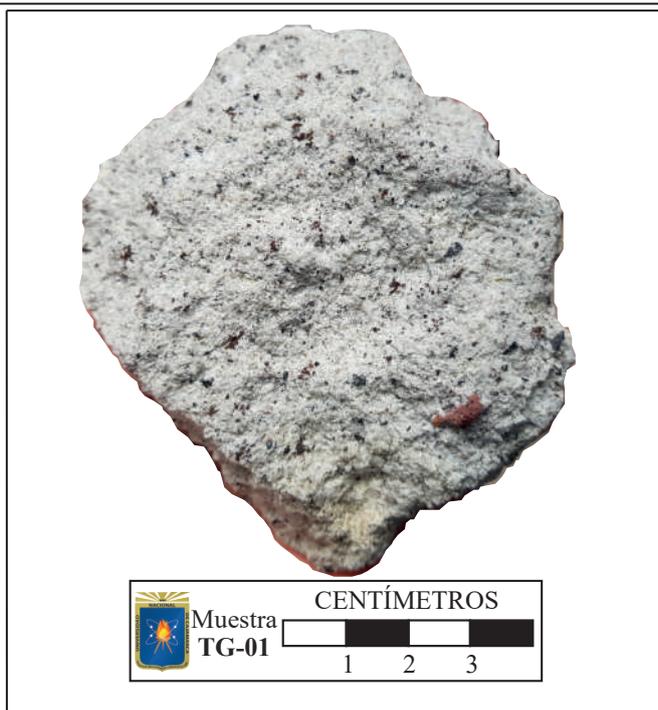
##### 3.3. Forma de los cristales

*Subhedral o Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
<i>3%</i>	<i>35%</i>	<i>15%</i>	<i>ANFs</i>	<i>40%</i>	<i>-</i>	<i>Carbonatos</i>
<i>Qc=5.66%</i>	<i>Pc=66.04%</i>	<i>Ac=28.3%</i>	<i>7%</i>			<i>Oxidos de hierro</i>

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>85%</i>	<i>14%</i>	<i>1%</i>	<i>35%</i>	<i>64%</i>	<i>1%</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita Calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *Presenta pequeños fragmentos líticos de coloración rosado y fragmentos de cristal de anfíbol.*

Abreviaturas: *N.A: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-02</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Carhuaquero	766942	9209808	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico							Nm-at	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Blanquecina	Irregular	3-4	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
Subfanerítica	Inequigranular	Grano medio (1mm-2mm)

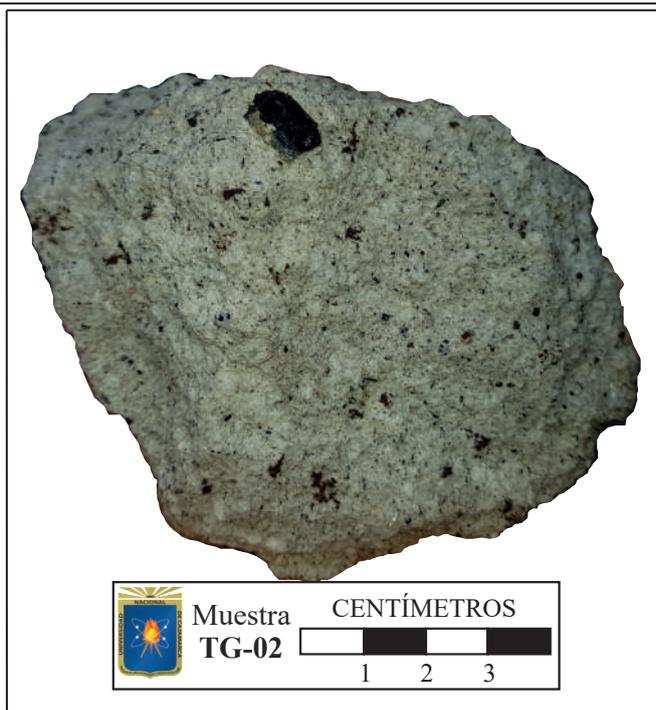
##### 3.3. Forma de los cristales

*Automorfos- Subautomorfos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomorficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfíritica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz u otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespató alcalino (A)				
5%	40%	8%	5%	42%	-	<i>Clorita carbonatos</i>
<i>Qc=9.43%</i>	<i>Pc=75.5%</i>	<i>Ac=15.10%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
78%	20%	2%	40%	58%	2%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita Calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *Fragmentos de cristal de hornblenda de hasta 1 centimetro de diametro, en algunos casos alterados a clorita.*

Abreviaturas: *N.A: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM	
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE
<b>TG-03</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Carhuaquero	766862	9209804
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico</i>							<i>Nm-at</i>

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Blanco a gris claro</i>	<i>Irregular</i>	<i>3-4</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-2mm)</i>

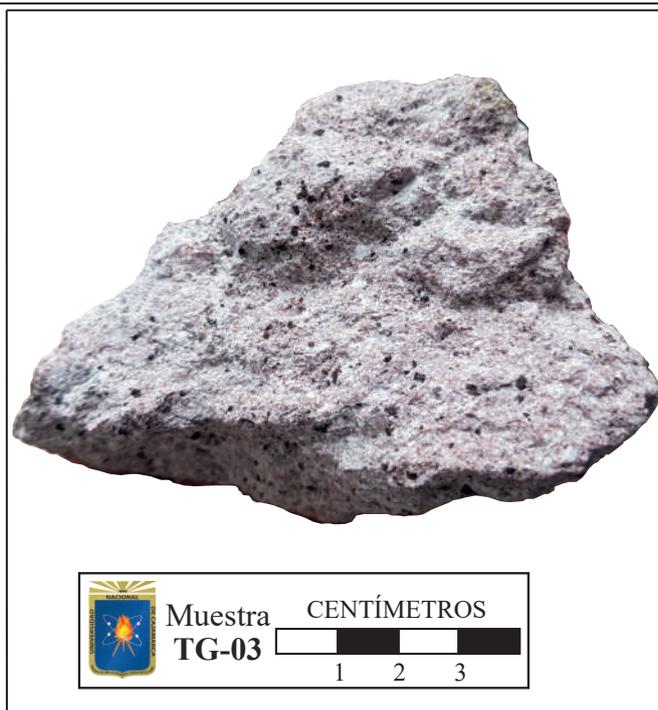
##### 3.3. Forma de los cristales

*Subhedral o Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfíritica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespató alcalino (A)				
3%	42%	10%	5%	40%	-	<i>Carbonatos</i>
<i>Qc=5.45%</i>	<i>Pc=76.36%</i>	<i>Ac=18.18%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
88%	10%	2%	40%	59%	1%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *Fragmentos de cristal de hornblenda y feldespató alcalino*

Abreviaturas: *N.A: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-04</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Carhuaquero	766677	9209929	
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico</i>							<i>Nm-at</i>	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Blanco a gris claro</i>	<i>Irregular</i>	<i>3-4</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-2mm)</i>

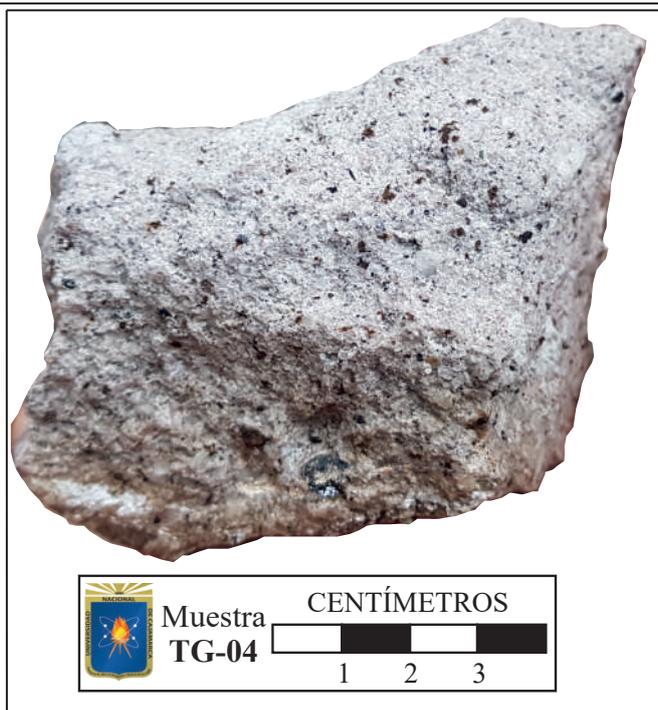
##### 3.3. Forma de los cristales

*Euhedrales - Subhedrales*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomorficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfírtica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespató alcalino (A)				
<i>10%</i>	<i>30%</i>	<i>8%</i>				
<i>Qc=20.83%</i>	<i>Pc=62.49%</i>	<i>Ac=16.66%</i>	<i>7%</i>	<i>45%</i>	<i>-</i>	<i>Carbonatos Epídota</i>

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>85%</i>	<i>14%</i>	<i>2%</i>	<i>43%</i>	<i>55%</i>	<i>2%</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Dacita</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *Fragmentos de cristal de anfíbol*

Abreviaturas: *HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-05</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Carhuaquero	766545	9210101	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico							Nm-at	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Blanquecina	Irregular	3-4	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-2mm)</i>

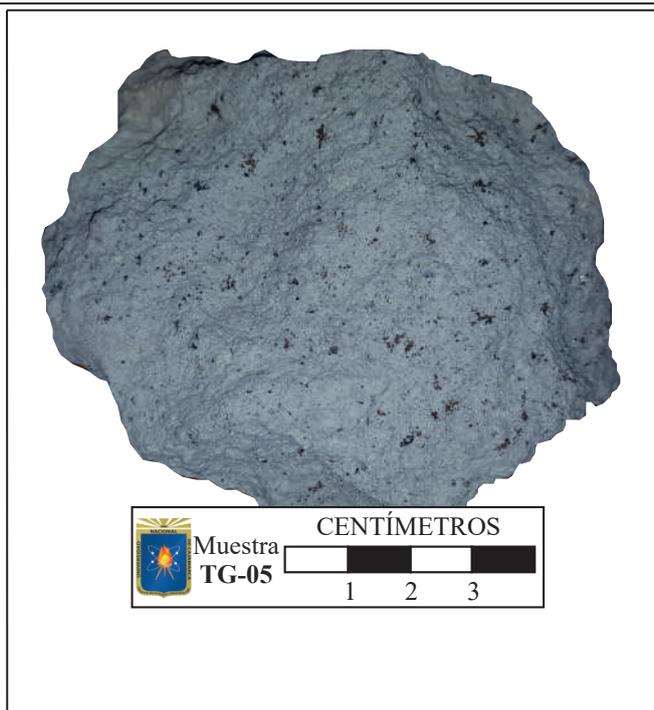
##### 3.3. Forma de los cristales

*Subhedral o Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
3%	37%	12%	5%	43%	-	<i>carbonatos arcillas clorita</i>
<i>Qc=5.76%</i>	<i>Pc=71.15%</i>	<i>Ac=23.07%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
80%	17%	3%	30%	67%	3%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *Presenta fragmentos de cristal de hornbenda, alterandose a clorita.*

Abreviaturas: *HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM	
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE
<b>TG-06</b>	<i>Perú</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Carhuaquero</i>	<i>766359</i>	<i>9210288</i>
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico</i>							<i>Nm-at</i>

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Blanquecina</i>	<i>Irregular</i>	<i>3-4</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-2mm)</i>

##### 3.3. Forma de los cristales

*Subhedral o Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
<i>3%</i>	<i>15%</i>	<i>7%</i>	<i>3%</i>	<i>72%</i>	<i>-</i>	<i>Carbonatos</i>
<i>Qc=12%</i>	<i>Pc=60%</i>	<i>Ac=28%</i>				<i>óxidos de hierro</i>

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>78%</i>	<i>20%</i>	<i>3%</i>	<i>40%</i>	<i>57%</i>	<i>3%</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *Presenta fragmentos líticos de color rosado.*

Abreviaturas: *N.A: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-07</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Carhuaquero	766262	9210431	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico							Nm-at	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Blanco a gris claro	Irregular	3-4	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
Subfanerítica	Inequigranular	Grano medio (1mm-2mm)

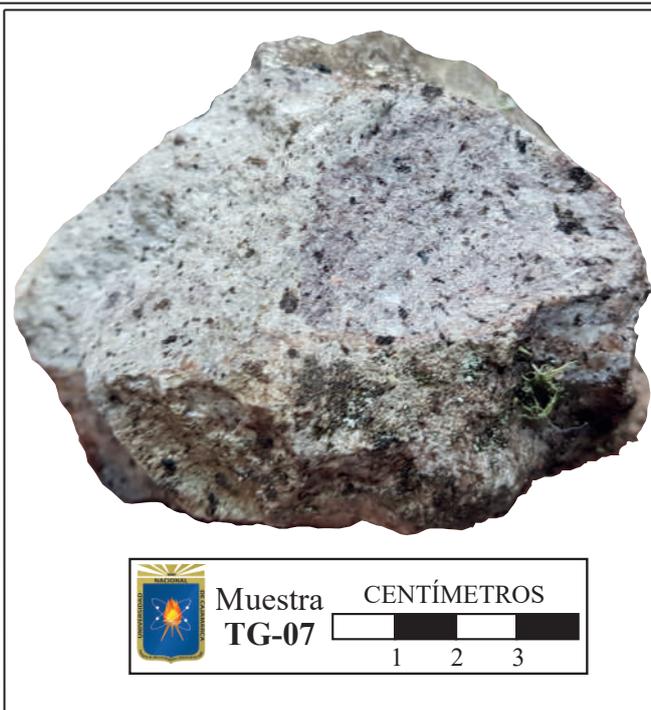
##### 3.3. Forma de los cristales

*Idiomórficos - Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
10%	25%	7%				
$Qc=23.83\%$	$Pc=59.52\%$	$Ac=16.66\%$	10%	48%	-	<i>Carbonatos oxidos de hierro</i>

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
84%	15%	2%	35%	57%	2%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Dacita</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *Presenta fragmentos de cristal de hornblenda.*

Abreviaturas: *HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-08</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Carhuaquero	766125	9210803	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico							Nm-at	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Blanquecina	Irregular	3-4	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-2mm)</i>

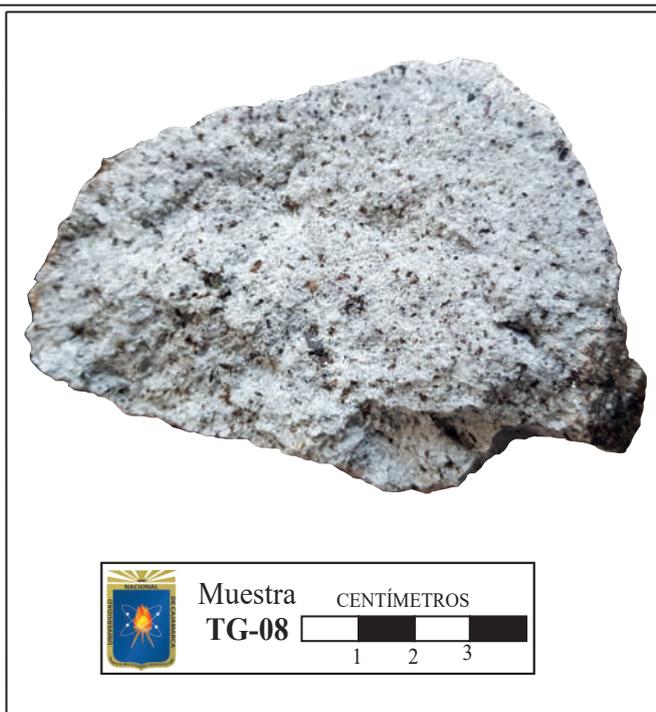
##### 3.3. Forma de los cristales

*Subhaciales o Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
5%	40%	10%	15%	30%	-	<i>Carbonatos</i> <i>Óxidos de hierro</i>
<i>Qc=9.1%</i>	<i>Pc=72.72%</i>	<i>Ac=18.18%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
80%	17%	3%	30%	67%	3%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Leucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *Presenta fragmentos de cristal de hornblenda y plagioclasa.*

Abreviaturas: *HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-09</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Carhuaquero	766022	9211026	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico							Nm-at	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Blanca a gris claro	Irregular	3-4	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-3mm)</i>

##### 3.3. Forma de los cristales

*Idiomórficos - Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespatos alcalinos (A)				
5%	35%	10%	15%	30%	-	<i>Carbonatos Óxidos de hierro</i>
<i>Qc=10%</i>	<i>Pc=70%</i>	<i>Ac=20%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
73%	25%	2%	25%	72%	3%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de lapilli</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *La muestra presenta fragmentos de cristal de hornblenda y feldespatos alcalinos*

Abreviaturas: *N.A.: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM	
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE
<b>TG-10</b>	<i>Perú</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Carhuaquero</i>	<i>765808</i>	<i>9211038</i>
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacocha-Secuencia Volcánica Atozaico</i>							<i>Nm-at</i>

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Blanca</i>	<i>Irregular</i>	<i>3-4</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-mm)</i>

##### 3.3. Forma de los cristales

*Subhedral o Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespatos alcalinos (A)				
<i>5%</i>	<i>40%</i>	<i>12%</i>	<i>7%</i>	<i>36%</i>	<i>-</i>	<i>Carbonatos</i>
<i>Qc=3%</i>	<i>Pc=3%</i>	<i>Ac=3%</i>				<i>Clorita</i>

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>75%</i>	<i>22%</i>	<i>3%</i>	<i>25%</i>	<i>74%</i>	<i>1%</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita Calcoalcalina</i>	<i>Toba de lapilli</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *Presenta fragmentos de cristal de plagioclasa y hornblenda.*

Abreviaturas: *N.A.: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-11</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Carhuaquero	765733	9210729	
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacochoa-Secuencia Volcánica Atozaico</i>							Nm-at	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Blanquecina</i>	<i>Irregular</i>	<i>3-4</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-4mm)</i>

##### 3.3. Forma de los cristales

*Automorfos -Subautomorfos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomorficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespatos alcalinos (A)				
5%	35%					
<i>Qc=10.43%</i>	<i>Pc=74.46%</i>	<i>Ac=14.89%</i>	10%	43%	-	<i>Clorita Carbonatos</i>

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
74%	25%	1%	35%	64%	1%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de lapilli</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *La muestra presenta fragmentos de cristal de plagioclasa, feldespatos alcalinos y hornblenda.*

Abreviaturas: *HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM	
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE
<b>TG-12</b>	<i>Perú</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Quinuayoc</i>	<i>762661</i>	<i>9211064</i>
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Andesítico</i>							<i>Nm-an</i>

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Blanco a marrón claro</i>	<i>Irregular</i>	<i>3-4</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-3mm)</i>

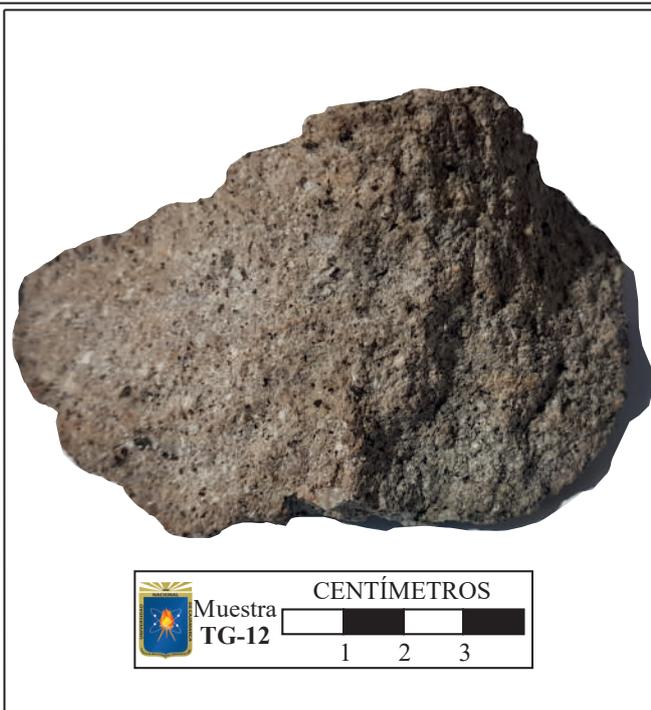
##### 3.3. Forma de los cristales

*Idiomórficos - Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
<i>3%</i>	<i>25%</i>	<i>10%</i>				
<i>Qc=7.9%</i>	<i>Pc=65.8%</i>	<i>Ac=26.3%</i>	<i>5%</i>	<i>57%</i>	<i>-</i>	<i>Óxidos de hierro Carbonatos</i>

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>83%</i>	<i>15%</i>	<i>2%</i>	<i>40%</i>	<i>58%</i>	<i>2%</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba cristalina</i>

Observaciones: *La muestra presenta fragmentos de cristal de plagioclasa y minerales ferromagnesianos alterados.*

Abreviaturas: *HCl: Ácido Clorhídrico.*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM	
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE
<b>TG-13</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Quinuayoc	762383	9210942
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Andesítico							Nm-an

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Marrón claro	Irregular	5-6	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-3mm)</i>

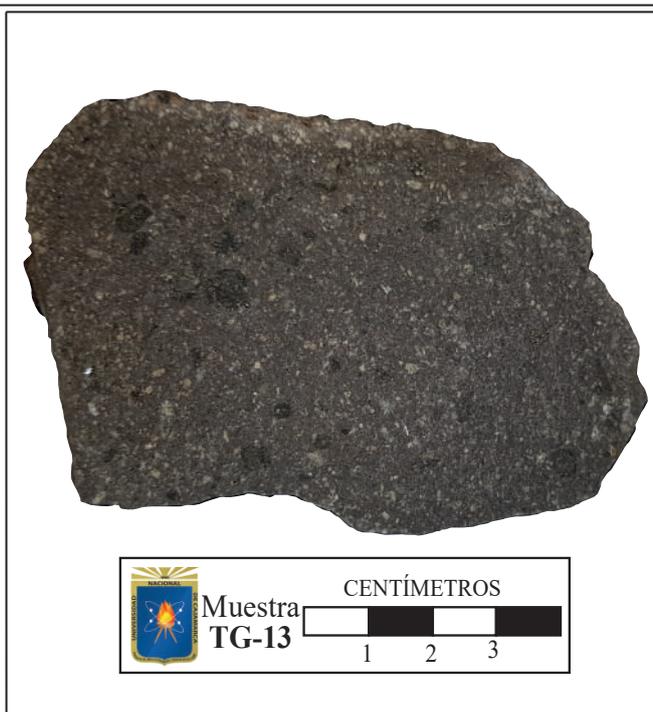
##### 3.3. Forma de los cristales

*Idiomórficos - Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
5%	25%	7%	5%	58%	-	<i>Carbonatos Clorita</i>
<i>Qc=13.51% Pc=67.56% Ac=18.91%</i>						

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Bloques y bombas piroclásticas</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita Calcoalcalina</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>

Observaciones: *Presenta fenocristales de hornblenda y plagioclasa.*

Abreviaturas: *N.A.: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-14</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Quinuayoc	762105	9211042	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocho-Domo Pórfido Andesítico							Nm-an	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Gris oscuro a negro	Irregular	5-6	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
Subfanerítica	Inequigranular	Grano medio (1mm-3mm)

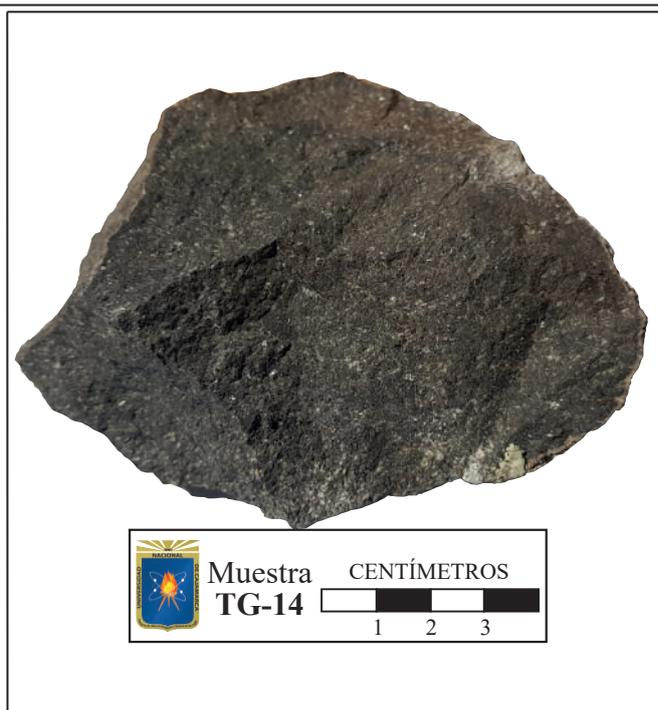
##### 3.3. Forma de los cristales

*Subhedral o Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
5.5%	37%	5%	ANFs	vd-cz II-PGLs II	Apatito	clorita carbonatos hematita
<i>Qc=11.57%</i>	<i>Pc=77.89%</i>	<i>Ac=10.53%</i>	8%	44.5%		

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Volcánica efusiva</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita Calcoalcalina</i>	N.A.	N.A.

Observaciones: *La muestra presenta fenocristales de plagioclasa y hornblenada.*

Abreviaturas: N.A: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico ANFs: Anfíboles

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-15</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Quinuayoc	762174	9211155	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Andesítico							Nm-at	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Gris claro a marrón	Irregular	5-6	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-3mm)</i>

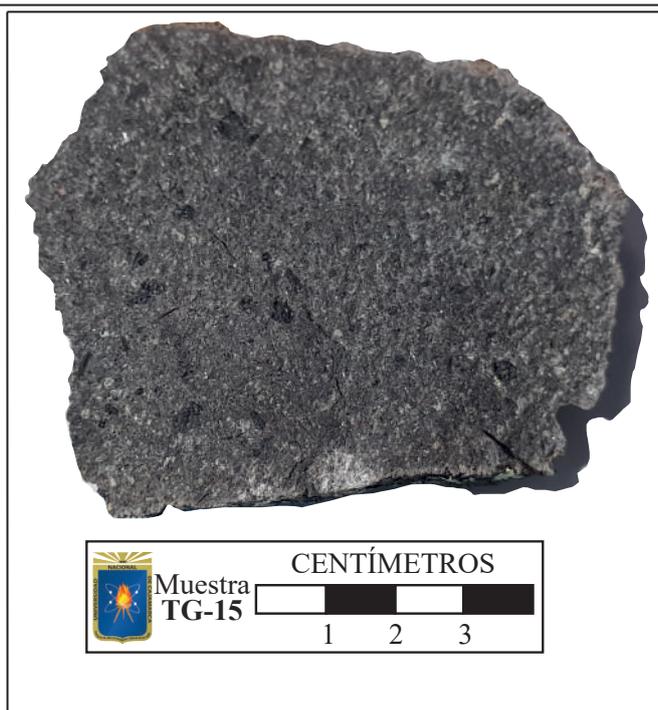
##### 3.3. Forma de los cristales

*Automorfos- Subautomorfos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespató alcalino (A)				
5%	30%	10%	7%	48%	-	Óxidos de hierro Carbonatos
<i>Qc=11.1%</i>	<i>Pc=66.7%</i>	<i>Ac=22.2%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Bloques y bombas piroclásticas</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>

Observaciones: *La muestra presenta fenocristales de hasta 1 cm de hornblenda.*

Abreviaturas: *N.A.: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM	
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE
<b>TG-16</b>	<i>Perú</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Carhuaquero</i>	<i>762224</i>	<i>9211237</i>
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Andesítico</i>							<i>Nm-an</i>

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Marron a gris claro</i>	<i>Irregular</i>	<i>5-6</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización o cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-3mm)</i>

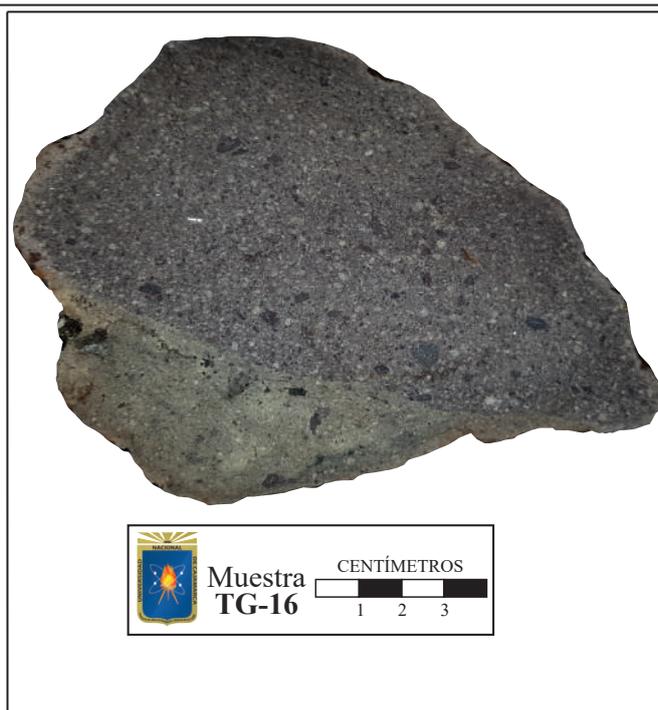
##### 3.3. Forma de los cristales

*Euhedrales - Subhedrales*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
<i>3%</i>	<i>30%</i>	<i>7%</i>	<i>10%</i>	<i>50%</i>	<i>-</i>	<i>Óxidos de hierro Carbonatos</i>
<i>Qc=7.5%</i>	<i>Pc=75%</i>	<i>Ac=17.5%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Leucocrática</i>	<i>Bloques y bombas piroclásticas</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>

Observaciones: *La muestra presenta fenocristales de anfíboles y plagioclasas.*

Abreviaturas: *N.A.: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-17</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Quinuayoc	762218	9211295	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Andesítico							Nm-an	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Negro	Irregular	5-6	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-2mm)</i>

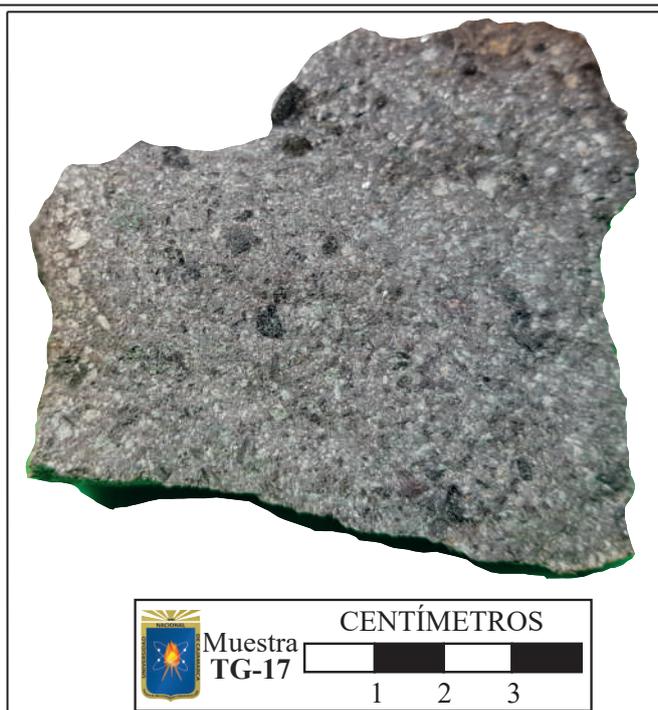
##### 3.3. Forma de los cristales

*Automorfos - Subautomorfos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomorficos*

Texturas macroscópicas: *Porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespatos alcalinos (A)				
3%	35%	5%	N.I.	57%	-	Óxidos de hierro Carbonatos
<i>Qc=6.32%</i>	<i>Pc=81.39%</i>	<i>Ac=11.62%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Bloques y bombas piroclásticas</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	N.A.	N.A.

Observaciones: *La muestra presenta fenocristales de plagioclasa de hasta 2 mm.*

Abreviaturas: *N.A.: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico N.I.: No identificado.*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-18</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Quinuayoc	762374	9211336	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocho-Domo Pórfido Andesítico							Nm-an	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Gris calro	Irregular	3-4	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
Subfanerítica	Inequigranular	Grano fino (1mm)

##### 3.3. Forma de los cristales

*Subidiomórficos - Alotriomórfico*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespató alcalino (A)				
3%	15%	5%	5%	<i>m=55%</i> <i>o=17%</i>	-	<i>Hematita</i> <i>Epidota</i> <i>Clorita</i> <i>Carbonatos</i>
<i>Qc=13.04%</i>	<i>Pc=65.21%</i>	<i>Ac=21.73%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
90%	8%	2%	55%	43%	2%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba vitrea</i>

Observaciones: *La muestra presenta fragmentos de cristal de plagioclasa.*

Abreviaturas: *HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-19</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Quinuayoc	762358	9211347	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Andesítico							Nm-an	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Gris claro	Irregular	3-4	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
Subfanerítica	Inequigranular	Grano fino (<1mm)

##### 3.3. Forma de los cristales

*Subautomórficos - xenomorfos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomorficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
3%	20%	5%	7%	65%	-	<i>Clorita Epidota Carbonatos</i>
<i>Qc=10.71%</i>	<i>Pc=71.42%</i>	<i>Ac=17.85%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
88%	10%	2%	53%	45%	2%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba vitrea</i>

Observaciones: *La muestra presentan fragmentos de cristal de plagioclasa y minerales máficos en proceso de alteración.*

Abreviaturas: *N.A.: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-20</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Quinuayoc	762339	9211262	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Andesítico							Nm-an	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Marrón rojizo	Irregular	5-6	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización o cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
Subfanerítica	Inequigranular	Grano medio (1mm-3mm)

##### 3.3. Forma de los cristales

*Idiomorficos -Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomorficos*

Texturas macroscópicas: *Porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
6%	41%	8%	ANFs			
<i>Qc=10.9%</i>	<i>Pc=74.5%</i>	<i>Ac=14.4%</i>	10%	35%	<i>Apatito</i>	<i>Carbonatos oxidos de hierro</i>

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>N.A</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Leucocrática</i>	<i>Bombas y bloques piroclasticos</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita Calcoalcalina</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>

Observaciones: *Presenta fenocristales de Anfiboles y Plagioclasas.*

Abreviaturas: *N.A: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico ANFs: Anfiboles*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-21</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Quinuayoc	762336	9211267	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Andesítico							Nm-an	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Gris claro	Irregular	3-4	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
Subfanerítica	Inequigranular	Grano fino (1mm)

##### 3.3. Forma de los cristales

*Subhedral o Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
3%	20%	7%	7%	63%	-	<i>Clorita Carbonatos</i>
<i>Qc=9.9%</i>	<i>Pc=66.6%</i>	<i>Ac=23.3%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
90%	7%	3%	50%	48%	2%

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Flujos piroclástica de Ceniza y lapilli</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Andesita calcoalcalina</i>	<i>Toba de ceniza</i>	<i>Toba vítrea</i>

Observaciones: *La muestra presenta fragmentos de cristal de hornblenda en proceso de alteración.*

Abreviaturas: *HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-22</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Carhuaquero	763078	9209809	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacochoa-Domo Pórfido Dacítico							Nm-da	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Blanquecina	Irregular	6-7	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
Subfanerítica	Inequigranular	Grano medio (1mm-2mm)

##### 3.3. Forma de los cristales

*Euhedrales - Subhedrales*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespato alcalino (A)				
15%	30%	3%	7%	45%	-	<i>Epidota Clorita Óxidos de hierro</i>
<i>Qc=31.24%</i>	<i>Pc=62.5%</i>	<i>Ac=6.24%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Domos volcánicos</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Dacita</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>

Observaciones: *Presnta fenocristales de hornblenda en una matriz de microcristales visibles con ayuda de la lupa 30X.*

Abreviaturas: *N.A: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM	
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE
<b>TG-23</b>	<i>Perú</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Quinuayoc</i>	<i>763068</i>	<i>9209768</i>
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Dacítico</i>							<i>Nm-da</i>

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Gris a verde claro</i>	<i>Irregular</i>	<i>5-6</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Hipocristalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Subfanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-2mm)</i>

##### 3.3. Forma de los cristales

*Automorfos - Subautomorfos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomorficos*

Texturas macroscópicas: *Fragmental - porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespatos alcalinos (A)				
<i>18%</i>	<i>35%</i>	<i>2%</i>				
<i>Qc=32.7%</i>	<i>Pc=63.7%</i>	<i>Ac=3.6%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Hololeucocrática</i>	<i>Domos volánicos</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Dacita</i>	<i>N.A.</i>	<i>N.A.</i>

Observaciones: *La muestra presenta fenocristales de anfíbol; también presenta pirita diseminada.*

Abreviaturas: *N.A.: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM		
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE	
<b>TG-24</b>	Perú	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Quinuayoc	763024	9209735	
<b>Unidad Geológica:</b> Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Dacítico							Nm-da	

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
Gris claro	Irregular	5-6	Si

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Holocrystalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
Subfanerítica	Inequigranular	Grano medio (1mm-4mm)

##### 3.3. Forma de los cristales

*Subhedral o Subidiomórficos*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomórficos*

Texturas macroscópicas: *Porfírica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespató alcalino (A)				
20%	40%	3%	12%	25%	-	óxidos de hierro clorita Carbonatos
<i>Qc=31.7%</i>	<i>Pc=63.5%</i>	<i>Ac=4.8%</i>				

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Leucocrática</i>	<i>Domos volcánicos</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Dacita</i>	N.A.	N.A.

Observaciones: *La muestra presenta fenocristales de hornblenda. Presencia de piritita diseminada.*

Abreviaturas: *N.A.: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

## FORMATO PETROGRÁFICO DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

### PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA

#### I. LOCALIZACIÓN Y CÓDIGO DE LA MUESTRA

CÓDIGO	UBICACIÓN					Coordenadas UTM	
	País	Región	Povincia	Distrito	CC.PP.	ESTE	NORTE
<b>TG-25</b>	<i>Perú</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Cajamarca</i>	<i>Quinuayoc</i>	<i>763006</i>	<i>9209706</i>
<b>Unidad Geológica:</b> <i>Complejo Volcanico Yanacocha-Domo Pórfido Dacítico</i>							<i>Nm-da</i>

#### II. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Color superficie Fresca	Fractura	Dureza	Reacción HCl
<i>Gris claro</i>	<i>Irregular</i>	<i>5-6</i>	<i>Si</i>

#### III. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

##### 3.1. Grado de cristalización y cristalinidad

*Holocrystalina*

##### 3.2. Tamaño de los cristales

Grado de visibilidad	Dimensiones relativas	Dimensiones absolutas
<i>Fanerítica</i>	<i>Inequigranular</i>	<i>Grano medio (1mm-4mm)</i>

##### 3.3. Forma de los cristales

*Euhedrales a Subhedrales*

##### 3.4. Relaciones mutuas de los cristales

*Hipidiomorficos*

Texturas macroscópicas: *Porfirítica*



#### IV. COMPONENTES MINERALÓGICOS

Minerales esenciales			Minerales máficos (M)	Matriz y otros	Minerales accesorios	Minerales secundarios
Cuarzo (Q)	Plagioclasa (P)	Feldespató alcalino (A)				
<i>20%</i>	<i>43%</i>	<i>3%</i>	<i>ANFs</i>	<i>19%</i>	<i>Apatito</i>	<i>Epidota</i>
<i>Qc=30.3%</i>	<i>Pc=65.15%</i>	<i>Ac=4.54%</i>	<i>15%</i>		<i>zircon</i>	<i>Clorita</i>
						<i>Carbonatos</i>

#### V. COMPONENTES PIROCLÁSTICOS

Fisher (1966)			Schmid (1981)		
Ceniza (<2mm)	Lapilli (2mm-64mm)	Bloques y bombas (>64mm)	Vidrio	Cristales	Fragmentos líticos
<i>N.A</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>

#### VI. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS Y SUBVOLCÁNICAS

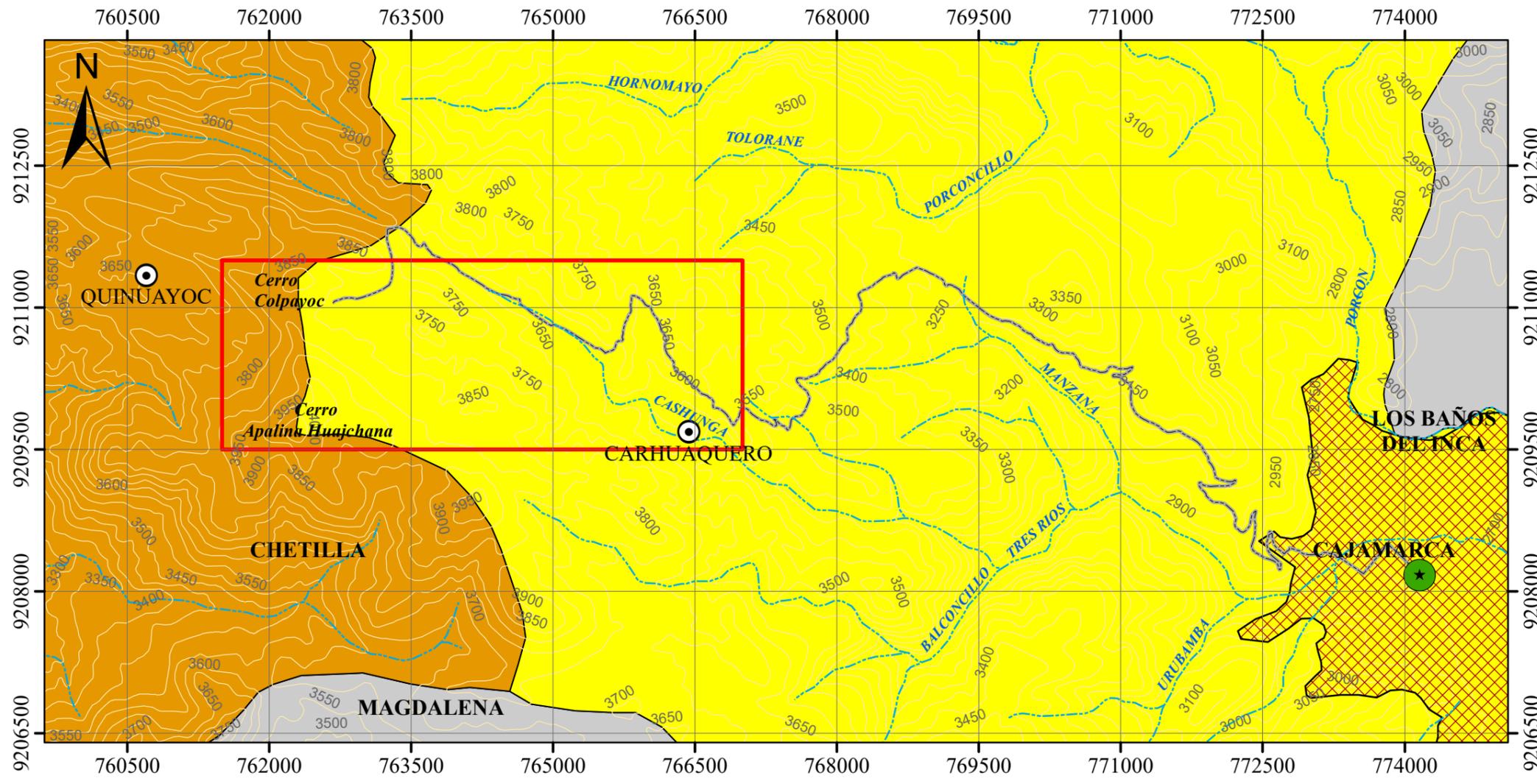
4.1. Según el contenido de sílice	4.2. Según índice de máficos (M)	4.3. Modo de ocurrencia
<i>Intermedia</i>	<i>Leucocrática</i>	<i>Domos volcanicos</i>
4.4. STRECKEISEN (1979)	4.5. FISHER (1966)	4.6. SCHMID (1981)
<i>Dacita</i>	<i>N.A</i>	<i>N.A</i>

Observaciones: *Presenta fenocristales de hornblenda y plagioclasa. presenta pirita diseminada*

Abreviaturas: *N.A: No aplica ; HCl: Ácido Clorhídrico; ANFs: Anfíboles*

Fuente: Adaptado de Arapa, (2020).

**ANEXO II**  
**PLANOS**

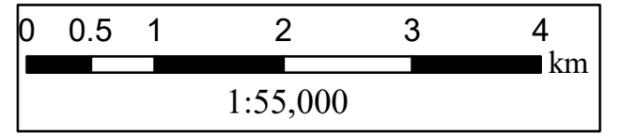
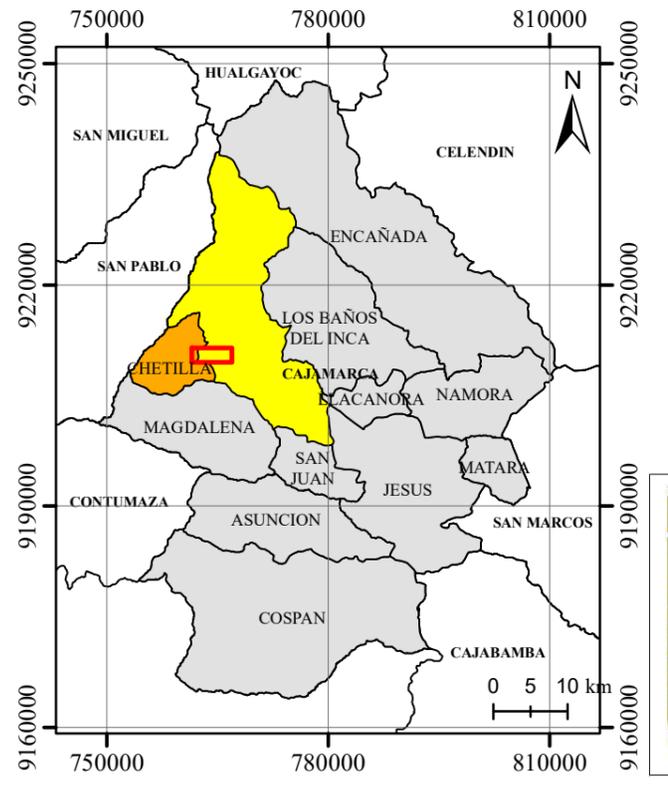
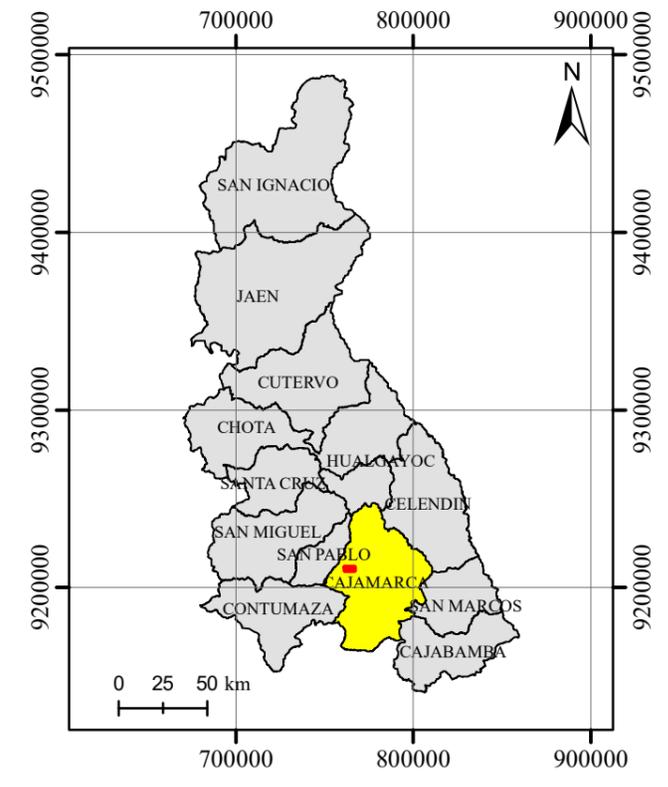
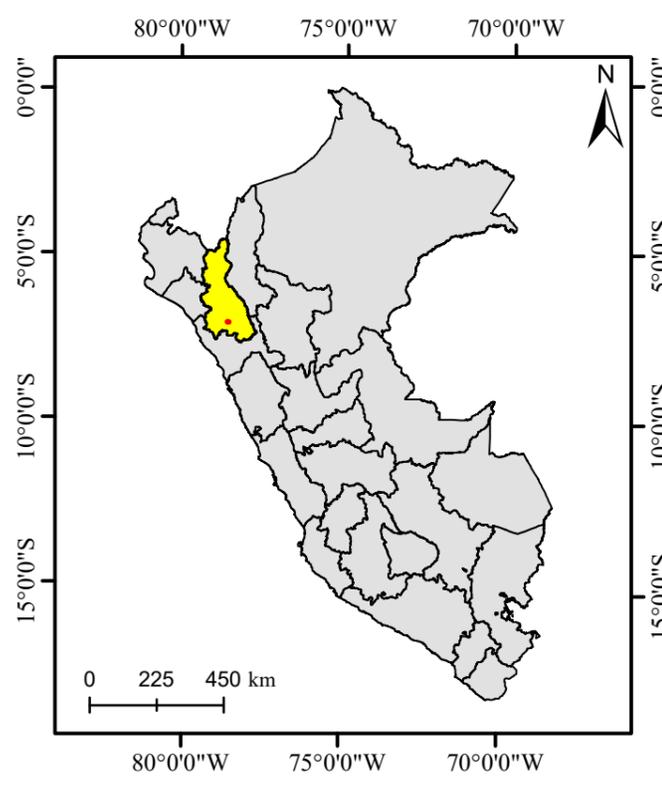


### LEYENDA

- Ciudad
- Capital distrital
- Centro poblado
- Curvas de nivel
- Rios
- Via de acceso
- Area de estudio

#### Ubicación distrital

- Cajamarca
- Chetilla



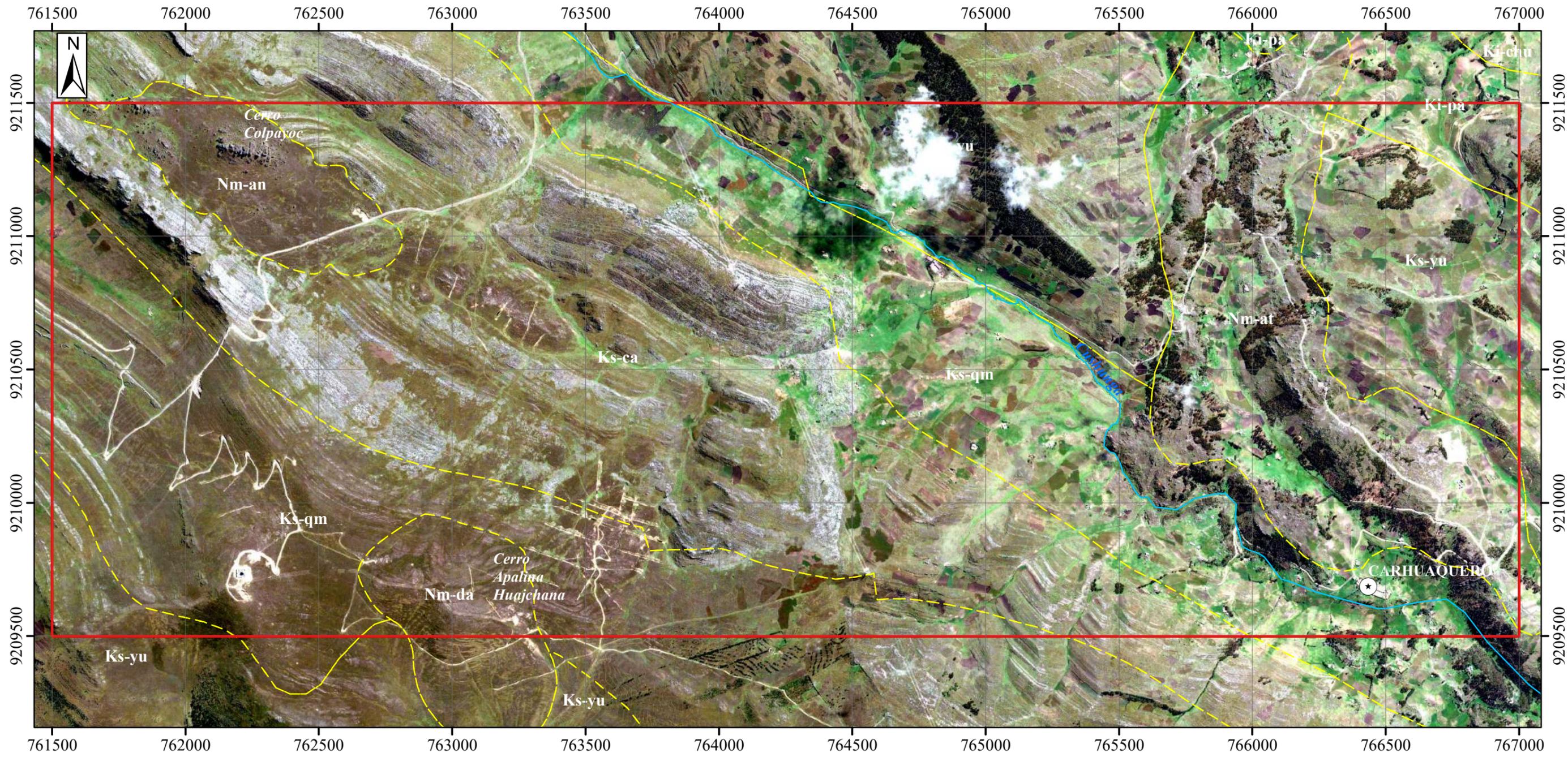
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
Facultad de Ingeniería  
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

TESISTA: ROBERT HUGO VÁSQUEZ CERDÁN

ASESOR: MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VÍLCA

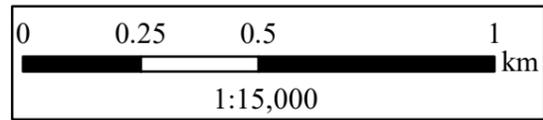
PLANO: UBICACIÓN  
Nº 1

DATUM: WGS-84 | FECHA: 14/12/2022 | ESCALA: 1/55,000



**SIMBOLOGÍA**

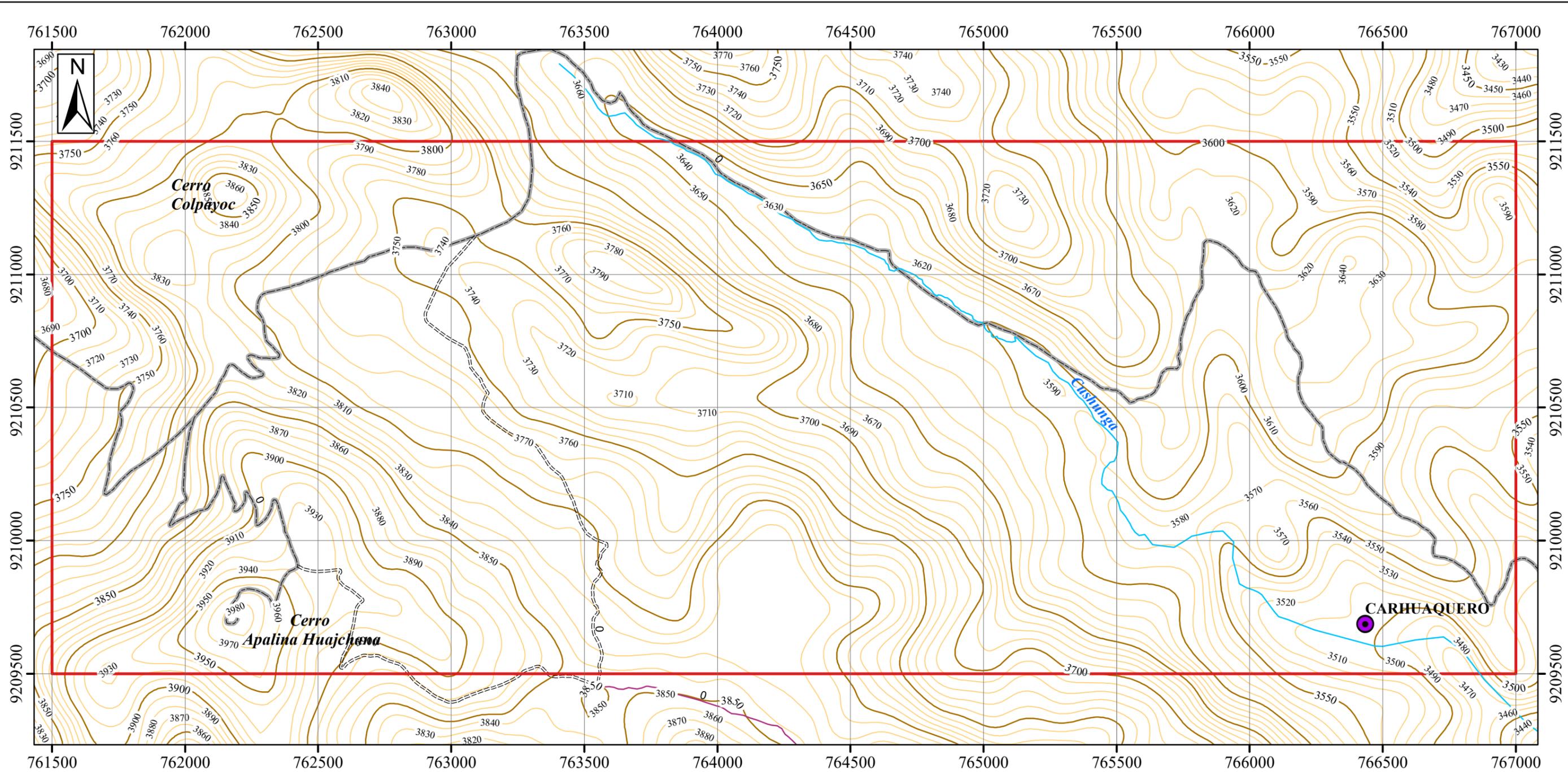
- ⊙ Centro Poblado
- Río Cushunga
- - - Contacto Litológico
- ▭ Area de estudio



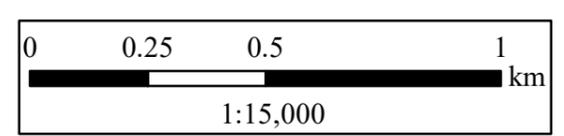
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
Facultad de Ingeniería		
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
TESIS:	PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA - CAJAMARCA.	
TESISTA:	ROBERT HUGO VÁSQUEZ CERDÁN	
ASESOR:	Mcs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VÍLCA	
PLANO:	No 2 IMAGEN SATELITAL	
DATUM:	WGS-84	FECHA: 14/12/2022 ESCALA: 1/15,000



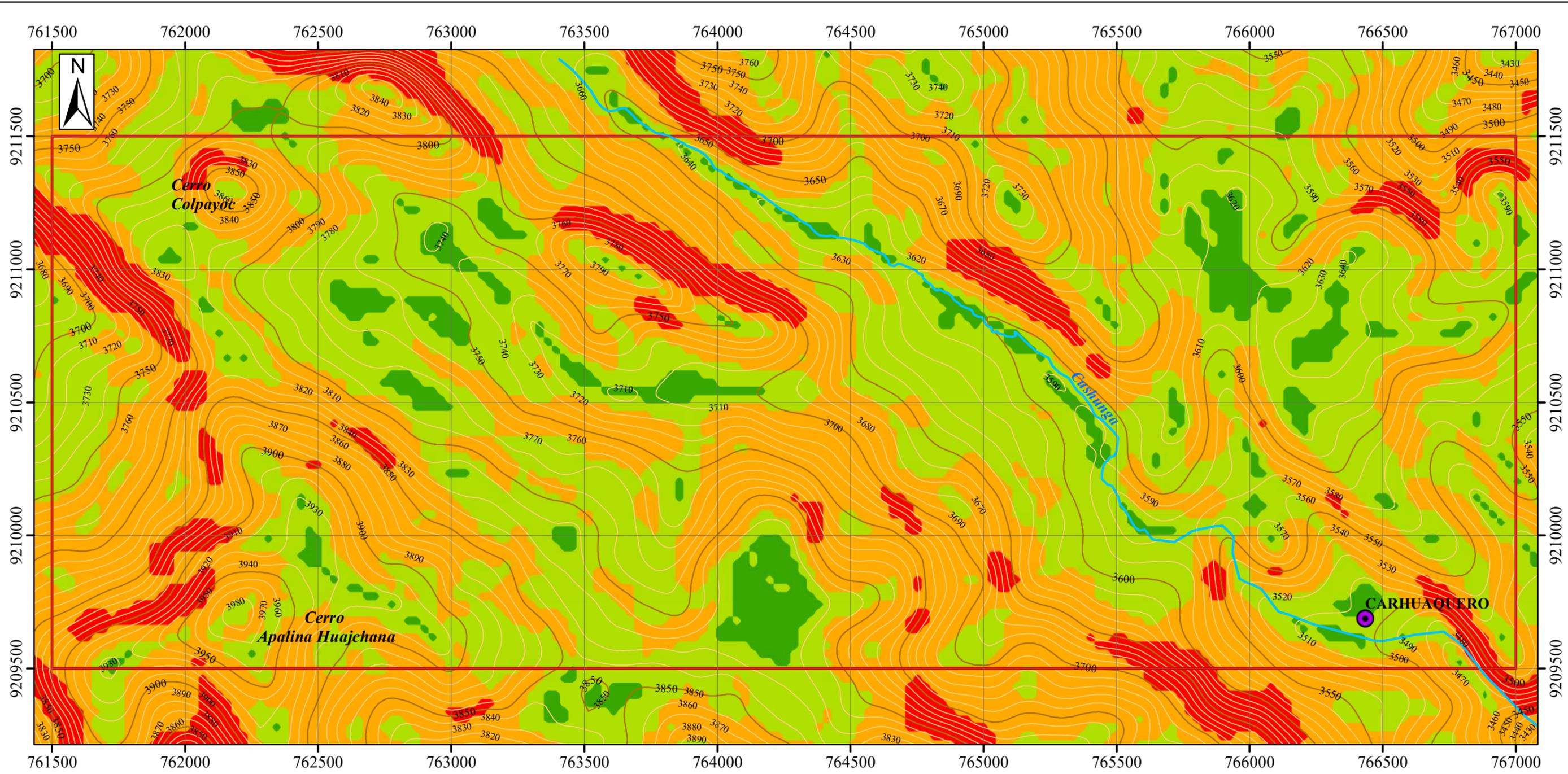
SIMBOLOGÍA		
	Centro Poblado	<b>Vías de acceso</b>
	Area de estudio	
<b>Drenaje</b>		
	Rio Cushunga	
	<b>Curvas de nivel</b>	
		Curvas / 50 mts
		Curvas / 10 mts



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
Facultad de Ingeniería		
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
TESIS:	PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA- CAJAMARCA.	
TESISTA:	ROBERT HUGO VÁSQUEZ CERDÁN	
ASESOR:	MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VÍLCA	
PLANO: Nº 3	MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES	
DATUM:	WGS-84	FECHA: 14/12/2022   ESCALA: 1/15,000

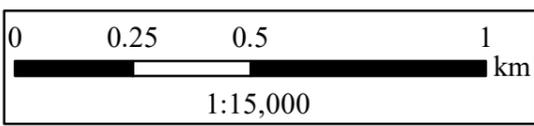


**SIMBOLOGÍA**

- Centro Poblado
- Area de estudio
- Drenaje**
- Rio Cushunga
- Curvas de nivel**
- Curvas /50 mts
- Curvas / 10 mts

**UNIDADES MORFOGENÉTICAS**

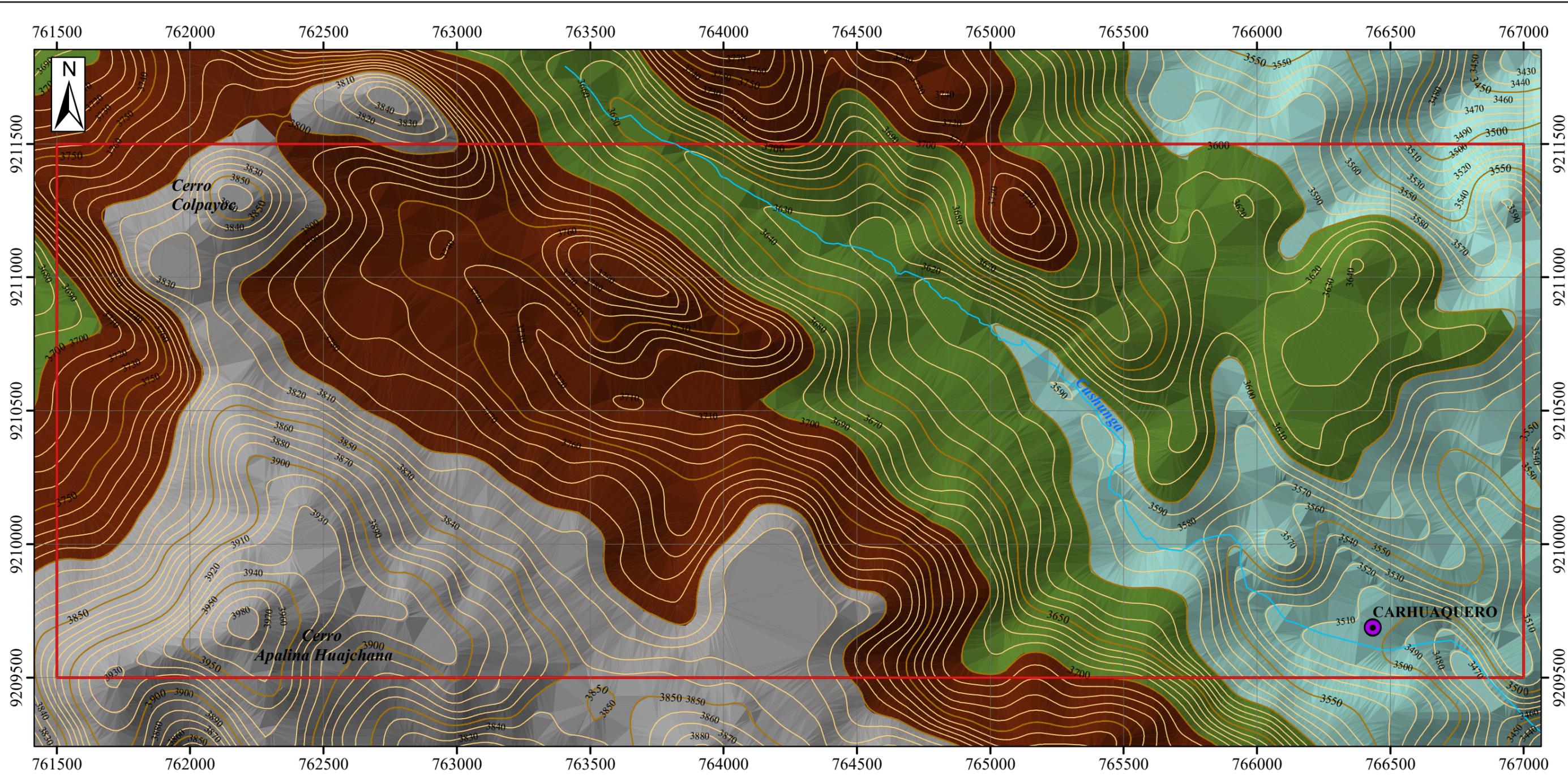
- 0° - 8° Planicies
- 8° - 20° Lomas
- 20° - 50° Laderas
- >50° Escarpes



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S  
Projection: Transverse Mercator  
Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
Facultad de Ingeniería		
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
TESISTA:	PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA- CAJAMARCA.	
TESISTA:	ROBERT HUGO VÁSQUEZ CERDÁN	
ASESOR:	MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VÍLCA	
PLANO: Nº 4	UNIDADES MORFOGENÉTICAS	
DATUM:	WGS-84	FECHA: 14/12/2022 ESCALA: 1/15,000



**SIMBOLOGÍA**

- Centro Poblado
- Area de estudio

**Drenaje**

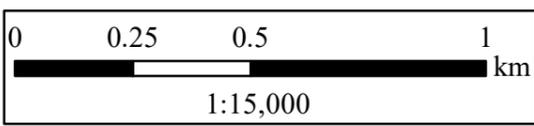
- Rio Cushunga

**Curvas de nivel**

- Curvas /50 mts
- Curvas / 10 mts

**Elevaciones (m.s.n.m.)**

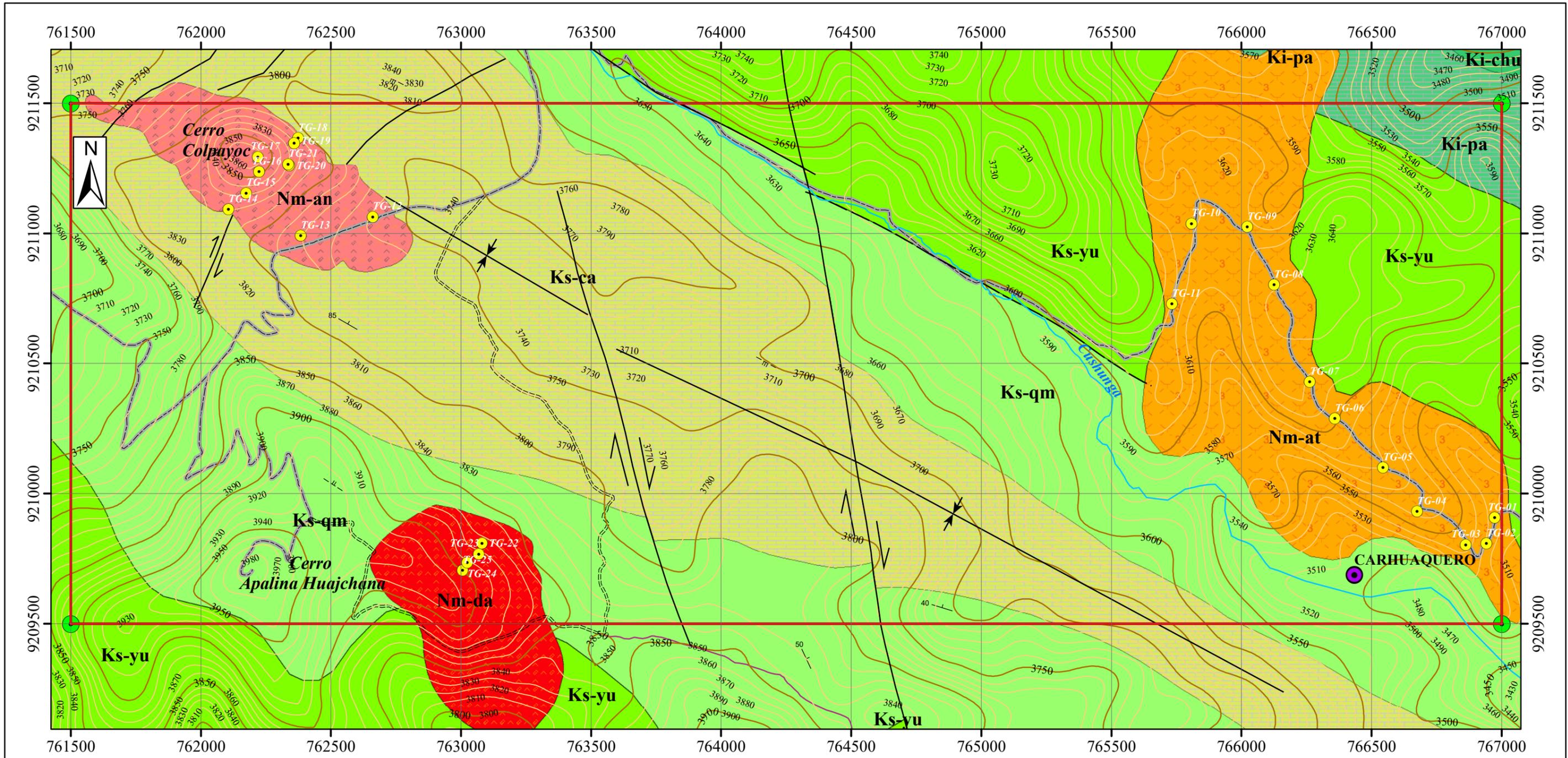
- 3800 - 3980
- 3700 - 3800
- 3600 - 3700
- 3350 - 3600



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
Facultad de Ingeniería		
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
TESISTA:	PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA- CAJAMARCA.	
TESISTA:	ROBERT HUGO VÁSQUEZ CERDÁN	
ASESOR:	MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VÍLCA	
PLANO: Nº 5	GEOMORFOLÓGICO- ALTITUDINAL	
DATUM:	WGS-84	FECHA: 14/12/2022   ESCALA: 1/15,000



**SIMBOLOGÍA**

- Centro Poblado
- Muestras analizadas
- Area de estudio

**Drenaje**

- Rio Cushunga

**Curvas de nivel**

- Curvas /50 mts
- Curvas / 10 mts

**Vías de acceso**

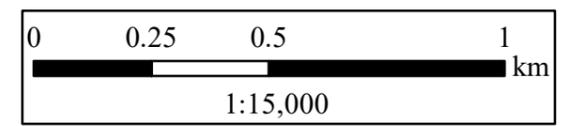
- Via afirmada
- Camino de herradura

**LEYENDA GEOLÓGICA**

- Nm-an
- Nm-da
- Nm-at
- Ks-ca
- Ks-qm
- Ks-yu
- Ki-pa

**LEYENDA ESTRUCTURAL**

- Sinclinal
- Falla
- Falla de rumbo
- Falla inferida



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
Facultad de Ingeniería		
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
TESIS:	PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUAYOC, DISTRITO DE CHETILLA- CAJAMARCA.	
TESISTA:	ROBERT HUGO VÁSQUEZ CERDÁN	
ASESOR:	MCs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VÍLCA	
PLANO: Nº 6	GEOLÓGICO	
DATUM:	WGS-84	FECHA: 14/12/2022
		ESCALA: 1/15,000

Tiempo Ma.	ERA	PERIODO	ÉPOCA	EDAD	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	ESPESOR	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
2.58	CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		VOLCÁNICO HUAMBOS	15 m		Depósitos aluviales, fluvio-aluviales, coluviales y coluvio-aluviales
210 m							Consta de flujos piroclásticos de ceniza y lapilli de color gris claro y blanquecino. Las rocas tienen textura fragmental, con fragmentos de cristales de plagioclasas y minerales ferromagnesianos sostenidos por una matriz de grano muy fino alterada por arcillas.	
90 m							Caracterizado por estar conformado por depósitos de lava andesítica de color gris claro a verdosos ricos en cristales, estos sobreyacen a flujos piroclásticos de bloques y cenizas gris verdosas porfiríticos y monolíticos.	
14.21	NEOGENO	MIOCENO	LANGHIANO	VOLCÁNICO HUAMBOS	Complejo Volcánico Yanacocha	200 m		Se caracteriza por presentar depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas de color gris verdoso, monomicticos de textura porfirítica.
14.52							Consiste en depósitos de flujos de lava, constituido por rocas andesitas compactas de color verde a gris oscuro, y marrón con tonalidades rojizas; y afloramientos de depósitos de bloques y cenizas de color blanquecino con fragmentos líticos de composición andesítica, porfiríticos con cristales de plagioclasa y hornblenda	
15.50							Consiste en flujos lávicos, constituidos por rocas dacíticas con textura porfirítica compacta de color verde a gris claro, con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y piroxeno, contenidos en una matriz de grano muy fino de cristales de cuarzo y plagioclasa.	

**CONSIDERACIONES**  
 La Columna Estratigráfica se ha realizado en base a la Carta Geológica Nacional a escala 1:50000, realizado por INGEMMET, (2008), donde propone nuevas denominaciones a las Unidades Litoestratigráficas a las ya existentes mencionadas en el boletín N°31.  
 Con respecto a la geocronología, las dataciones absolutas se ha tomado de investigaciones realizadas por Longo, (2005) y Navarro et al.,(2008) para el INGEMMET.

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
	Facultad de Ingeniería		
	Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
	TESIS:	PETROGRAFÍA DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS ENTRE LOS CENTROS POBLADOS DE CARHUAQUERO Y QUINUA YOC, DISTRITO DE CHETILLA- CAJAMARCA.	
	TESISTA:	ROBERT HUGO VÁSQUEZ CERDÁN	
ASESOR:	Mcs. Ing. VÍCTOR AUSBERTO ARAPA VÍLCA		
PLANO:	N° 7 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA		
DATUM:	WGS-84	FECHA:	14/12/2022
		ESCALA:	1/2100

Fuente: Modificado de Carta 15f-I, INGEMMET (2008).

752000

756000

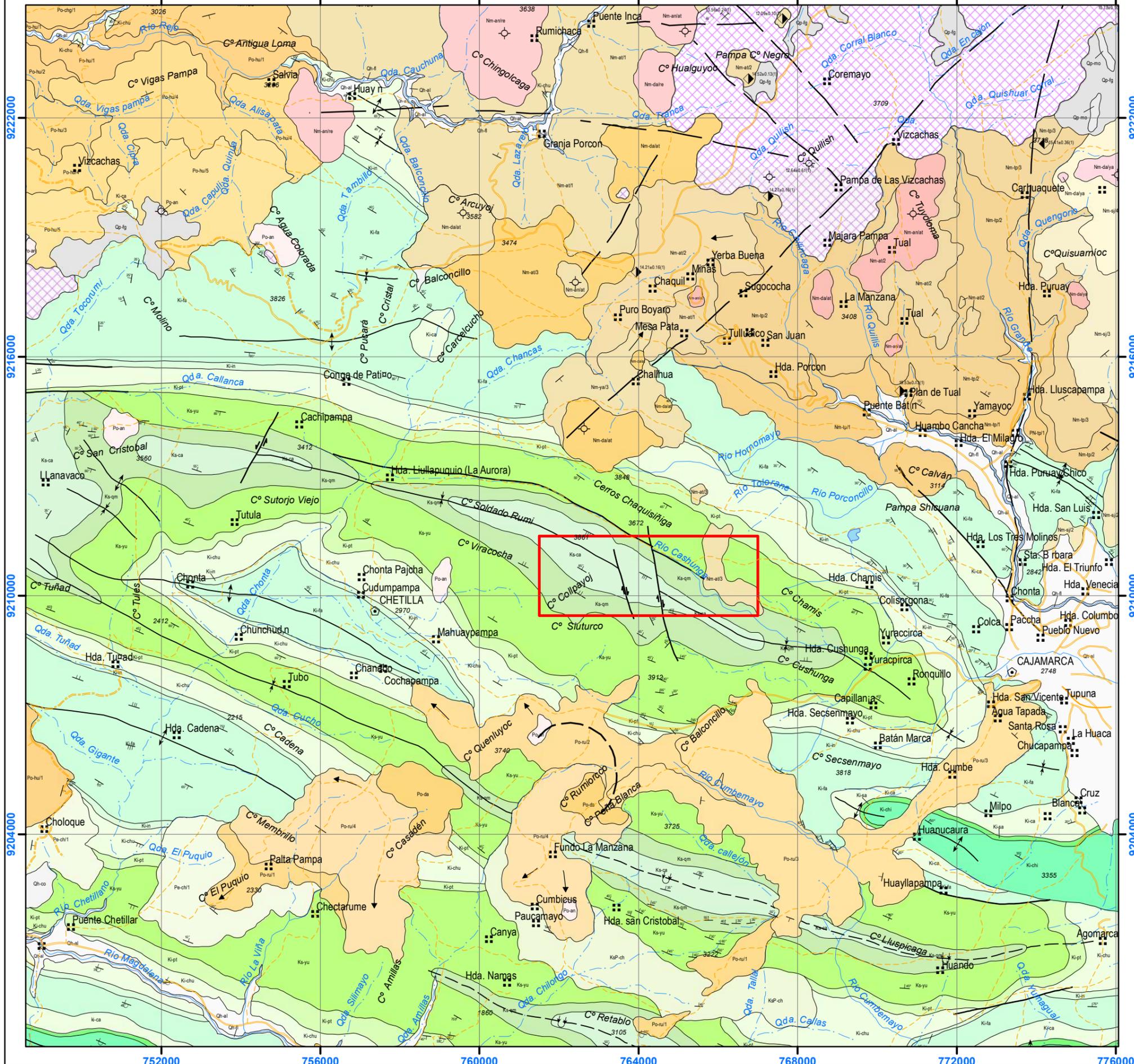
760000

764000

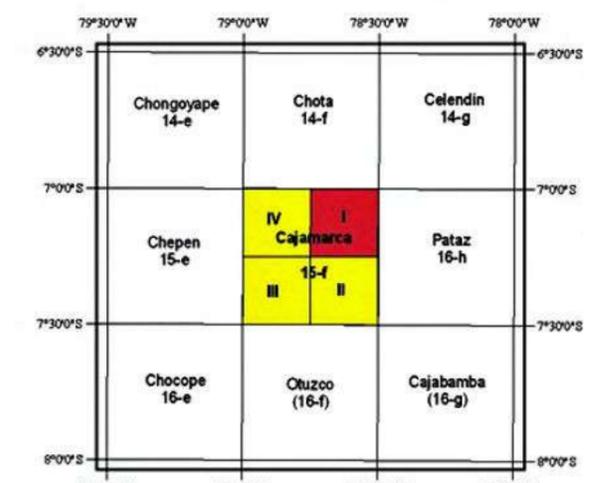
768000

772000

776000



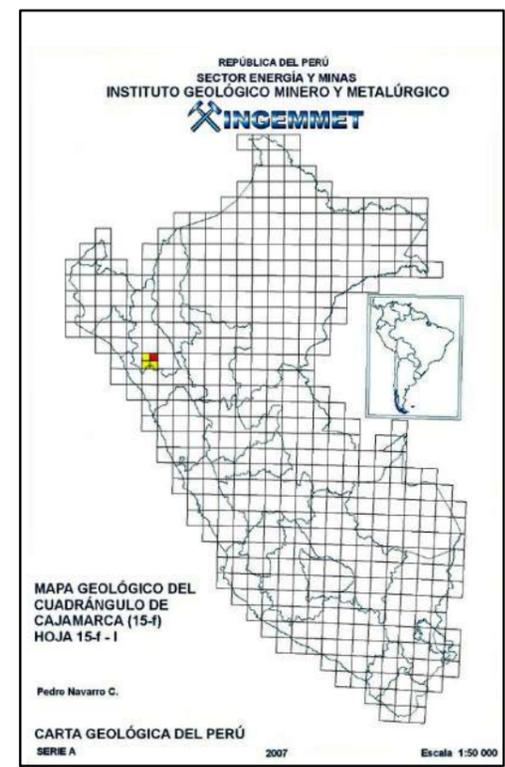
CUADRO DE SITUACIÓN DE LA HOJA CAJAMARCA



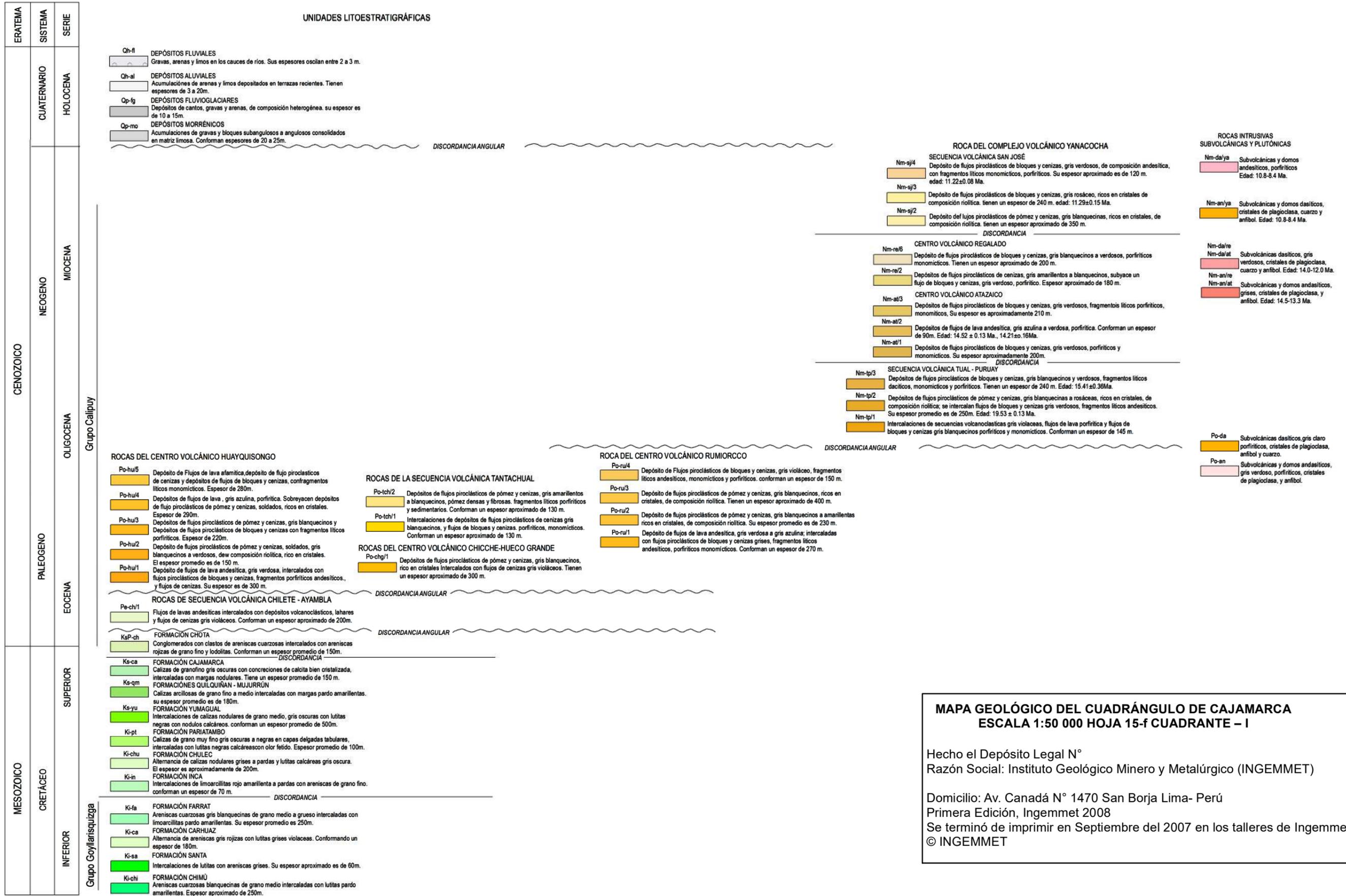
CARTA CAJAMARCA, escala 1:50 000 (Proyección: UTM, Datum: WGS84, Zona: 17 Sur)

**SIMBOLOGIA**

<b>Dataciones</b>	<b>Plegues</b>	<b>Drenaje</b>
◆ Ar/Ar Anfíbol	— Eje de anticlinal	— Quebrada
◆ Ar/Ar Sanidina	— Eje de sincinal	— Río
■ Biotita	— Eje de sincinal invertido	<b>Estructuras</b>
● U/Pb Zircón	— Rumbo y buzamientos de estratos invertidos	— Falla normal
● Ar/Ar Alunita		— Falla Inversa
◆ Ar/Ar Biotita		— Falla Infrida
◆ Ar/Ar Plagioclasa		— Flujos
□ K/Ar No Reportado		— Contactos
■ K/Ar Anfíbol		<b>Zona de Investigación</b>
<b>Lugares</b>	<b>Buzamientos</b>	
⊗ Mina	— Rumbo de estratos con buzamiento suave (10°-30°)	
○ Centro Poblado	— Rumbo de estratos con buzamiento moderada (30°-60°)	
— Cerros		



# LEYENDA: MAPA GEOLÓGICO DEL CUADRÁNGULO DE CAJAMARCA, HOJA 15f- I



**MAPA GEOLÓGICO DEL CUADRÁNGULO DE CAJAMARCA**  
**ESCALA 1:50 000 HOJA 15-f CUADRANTE – I**

Hecho el Depósito Legal N°  
 Razón Social: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET)

Domicilio: Av. Canadá N° 1470 San Borja Lima- Perú  
 Primera Edición, Ingemmet 2008  
 Se terminó de imprimir en Septiembre del 2007 en los talleres de Ingemmet  
 © INGEMMET