

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



**CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LA FORMACIÓN  
PORCULLA (GRUPO CALIPUY), CUMBEMAYO, CAJAMARCA**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo:**

**Presentado por:**

**Bach. JHENNYFER JANE SPELUCÍN ESTELA**

**Asesor:**

**M. Cs. Ing. CRISPIN ZENÓN QUISPE MAMANÍ**

Cajamarca – Perú

2017

## **AGRADECIMIENTO**

**A:**

Dios, que es fuente de esperanza y fuerza para empezar de nuevo.

A los docentes, de la escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica por compartir su conocimiento y experiencia, en especial a un maestro, amigo y asesor **M. Cs. Ing. Zenón Quispe Mamani**, por los consejos y apoyo repartidos durante el desarrollo de la tesis.

A todas aquellas personas que contribuyeron para el logro de mi objetivo.

## DEDICATORIA

*Con infinita gratitud,  
A mis padres, por su  
abnegación y sacrificio de toda  
una vida, por brindarme una  
gran satisfacción: Mi  
profesión.*

*A mi madre, Juana,  
por haberme enseñado que con  
esfuerzo, trabajo y constancia  
todo se consigue.*

*A mi padre, Jorge,  
por haberme inculcado  
disciplina, y a creer  
en mis ideales.*

*A mis hermanos, Mishell, André,  
Cris, Faby y Mia, mis compañeros  
de vida con los que he compartido  
grandes momentos.*

*A Daniel, por ser aliento,  
continuo e indeseable en mi camino.*

*A ellos,  
por quienes cualquier esfuerzo  
nunca será suficiente.*

## CONTENIDO

	<b>PÁG</b>
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
INTRUDUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>3</b>
MARCO TEORICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1 PETROLOGÍA DE ROCAS VOLCÁNICAS.....	5
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	21
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>23</b>
MÉTODOS Y MATERIALES.....	23
3.1 UBICACIÓN.....	23
3.2 ACCESIBILIDAD.....	23
3.3. PROCEDIMIENTO.....	25
3.3.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	25
3.4 ELABORACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	26
3.5. TRATAMIENTO, ANÁLISIS,PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	28
3.6 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	29
3.6.1 GEOMORFOLOGIA.....	29
3.6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	33
3.6.3 ESTRATIGRAFÍA VOLCÁNICA.....	36
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>37</b>
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	37

	PÁG
4.1	PETROLOGIA VOLCÁNICA ..... 37
4.1.1	CLASIFICACIÓN MACROSCÓPICA ..... 37
4.1.2	CLASIFICACIÓN MICROSCÓPICA..... 44
4.2	GEOQUÍMICA ..... 47
4.2.1	CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA..... 49
4.2.2	DISCRIMINACIÓN TECTÓNICA..... 51
4.2.3	GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA Y TIERRAS RARAS ..... 51
4.3	EVOLUCIÓN ERUPTIVA ..... 53
4.3.1	PROCESOS DE FORMACIÓN ..... 53
4.3.2	SECUENCIA ERUPTIVA..... 56
4.3.3	IGNIMBRITA ..... 60
4.3.4	CENTRO ERUPTIVO ..... 62
4.4	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS ..... 65
	<b>CAPÍTULO V</b> ..... 66
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 66
5.1.	CONCLUSIONES ..... 66
5.2.	RECOMENDACIONES ..... 67
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 68
	ANEXOS.....71

<b>Tabla 01:</b> Granulometría de fragmentos piroclásticos. ....	14
<b>Tabla 02:</b> Tipos de cristalinidad en rocas ígneas.....	16
<b>Tabla 03:</b> Tamaños absolutos de cristales.....	16
<b>Tabla 04:</b> Clasificación química de las rocas ígneas volcánicas.....	21
<b>Tabla 05:</b> Vértices del área de trabajo.....	23
<b>Tabla 06:</b> Acceso a la zona de estudio.....	24
<b>Tabla 07:</b> Ubicación de muestras para análisis petrográficos y geoquímicos.....	38
<b>Tabla 08:</b> Descripción petrográfica macroscópica.....	39
<b>Tabla 09:</b> Código de muestras de mano.....	40
<b>Tabla 10:</b> Vista al microscopio Leizt 215x .....	40
<b>Tabla 11:</b> Clasificación de rocas volcánicas.....	41
<b>Tabla 12:</b> Muestras utilizadas para análisis petrográfico, secciones delgadas.....	44
<b>Tabla 13:</b> Descripción de las secciones delgadas.....	45
<b>Tabla 14:</b> Composición modal mineralógica de las secciones delgadas.....	46
<b>Tabla 15:</b> Análisis químico de roca total.....	48
<b>Tabla 16:</b> Análisis químico de tierras raras, por medio de ICP-MS.....	52
<b>Tabla 17:</b> Centros volcánicos presentes en Cajamarca.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

## PÁG

<b>Figura 01:</b> Origen de flujos piroclásticos.....	8
<b>Figura 02:</b> Columna pliniana.....	9
<b>Figura 03:</b> Columna esquemática de depósitos piroclásticos.....	11
<b>Figura 04:</b> Tipos de depósitos de flujo piroclásticos.....	12
<b>Figura 05:</b> Geometría-relación de aspecto de flujos piroclásticos.....	13
<b>Figura 06:</b> Clasificación modal de rocas volcánicas.....	19
<b>Figura 07:</b> Clasificación de rocas volcánicas piroclásticas. ....	19
<b>Figura 08:</b> Clasificación química de las rocas ígneas volcánicas.....	20
<b>Figura 09:</b> Clasificación modal de rocas volcánicas en el doble triángulo.....	27
<b>Figura 10:</b> Clasificación de rocas volcánicas piroclásticas.....	27
<b>Figura 11:</b> Paleodepresión del sector Cumbemayo.....	32
<b>Figura 12:</b> Disyunción Columnar.....	32
<b>Figura 13:</b> Depositación de rocas en paleodepresión Cumbemayo.....	34
<b>Figura 14:</b> Esquema estructural de la zona de Cumbemayo.....	35
<b>Figura 15:</b> Resumen de la petrología de la Fm Porculla.....	42
<b>Figura 16:</b> Resumen de la petrología de la Fm. Porculla.....	43
<b>Figura 17:</b> Diagrama $Na_2O/K_2O$ vs $Na_2O+K_2O$ .....	48
<b>Figura 18:</b> Clasificación química de las rocas ígneas volcánicas.....	49
<b>Figura 19:</b> Diagrama de AFM.....	50
<b>Figura 20:</b> Diagrama $K_2O$ vs. $SiO_2$ .....	50
<b>Figura 21:</b> Diagrama de discriminación tectónica.....	51
<b>Figura 22:</b> Diagrama tipo araña de tierras raras.....	52
<b>Figura 23:</b> Series magmáticas, proceso de diferenciación.....	53
<b>Figura 24:</b> Colapso de columna eruptiva.....	54
<b>Figura 25:</b> Esquema evolutivo de la depositación de Cumbemayo.....	60
<b>Figura 26:</b> Esquema evolutivo de la disyunción columnar.....	60
<b>Figura 27:</b> Estructura de la Ignimbrita de la Fm. Porculla, Cumbemayo.....	61
<b>Figura 28:</b> Centros Volcánicos del Grupo Calipuy.....	64

## INDICE DE FOTOS

## PÁG

<b>Foto 01:</b> Acceso principal a la zona de estudio.....	24
<b>Foto 02:</b> Superficie de erosión 3500 - 3700 msnm.....	29
<b>Foto 03:</b> Valle fluvio-glaciar.....	30
<b>Foto 04:</b> Zona lagunar.....	30
<b>Foto 05:</b> Erosión diferencial entre 2 facies de composiciones distintas.....	30
<b>Foto 06:</b> Alveolos en la superficie de rocas de la Fm. Porculla.....	31
<b>Foto 07:</b> Conductos de desgasificación, Formación Porculla, Cumbemayo.....	31
<b>Foto 08:</b> Geología estructural del área de estudio.....	33
<b>Foto 09:</b> Formación Porculla, Cumbemayo, Cajamarca.....	36
<b>Foto 10:</b> Secciones delgadas.....	47
<b>Foto 11:</b> Lineación de minerales máficos.....	55
<b>Foto 12:</b> Paleoflujos.....	56
<b>Foto 13:</b> Depósitos de Caída.....	57
<b>Foto14:</b> Depósitos de flujo piroclástico de composición dacítica.....	58
<b>Foto 15:</b> Gradación inversa de fragmentos líticos.....	58
<b>Foto16:</b> Dirección de Paleoflujos.....	58
<b>Foto 17:</b> Depósito de flujo piroclástico andesítica.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>Ar</b>	:	Argón
<b>AFM</b>	:	Alcalí, óxido de hierro y óxido de magnesio
<b>Ba</b>	:	Bario
<b>Bt</b>	:	Biotita
<b>ICP-MS</b>	:	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente
<b>K</b>	:	Potasio
<b>M.a</b>	:	Millones de años
<b>Nb</b>	:	Niobio
<b>Ox</b>	:	Óxidos
<b>Pl</b>	:	Plagioclasa
<b>Px</b>	:	Piroxeno
<b>Ta</b>	:	Tantalio
<b>Qz</b>	:	Cuarzo
<b>Hb</b>	:	Horblenda

## RESUMEN

La Formación Porculla datada en  $\pm 12$  M.a Mioceno; (Ar-Ar INGEMMET, 2007), es una unidad de rocas volcánicas perteneciente al Grupo Calipuy, que aflora en la cordillera Noroccidental del Perú, Cajamarca, como secuencias lávicas, flujos piroclásticos y escombros.

El objetivo de la investigación es determinar las características petrológicas de la Formación Porculla (Grupo Calipuy), Cumbemayo, Cajamarca; a través de la clasificación petrográfica, geoquímica, determinando procesos y ambiente de formación e interpretando la ubicación del centro de emisión volcánico.

La clasificación petrográfica macroscópica de 30 muestras utilizando el diagrama de Streckeisen determinó: 19 muestras andesíticas, 10 muestras dacíticas, y 1 muestra riolítica, según la proporción y tipo de clastos se utilizó el diagrama de Schmidt: definiéndose 15 muestras de tufos de cristales, 7 muestras de tufos cristalolíticos y 6 muestras de tufos cristalovítricos. Las secciones delgadas de 4 muestras confirmaron la clasificación macroscópica.

Los análisis geoquímicos de 4 muestras mediante el diagrama TAS determinó una evolución magmática calcoalcalina, de ambiente continental - margen activo, relacionado a procesos de subducción evidenciado en el análisis de tierras raras.

Los tufos de cristales, tufos cristalolíticos y tufos cristalovítricos presentes en las 3 facies, permiten interpretar la génesis de estas rocas: flujos piroclásticos producto del colapso de la columna eruptiva generada por un vulcanismo explosivo pliniano, con 100m de espesor ricos en pómez y fragmentos líticos, conocidos como Ignimbritas con disyunción columnar, con un lineamiento de N 325° – N 335°, esta dirección indicaría la posible fuente de emisión denominado Centro Volcánico Rumiorco (INGEMMET, Navarro, 2012).

***Palabras Clave:*** Petrología, Petrografía, Microscopía, Rocas volcánicas, Ignimbrita.

## ABSTRACT

The Porculla Formation dating to  $\pm 12$  M.a Miocene; (Ar-Ar INGEMMET, 2007), is a unit of volcanic rocks belonging to the Calipuy Group, which appears in the Cordillera Noroccidental of Perú, Cajamarca region, as lava sequences, pyroclastic flows and debris flows.

The objective of the investigation is to determine the petrologic characteristics of the Porculla Formation (Calipuy Group), Cumbemayo, Cajamarca; through the petrographic classification, geochemistry, and determining processes and environment of formation of volcanic deposits, as well as interpreting the location of the volcanic emission center.

The macroscopic petrographic classification of 30 hand samples was performed using the Streckeisen diagram: 19 samples andesitic composition, 10 samples dacitic composition, and 1 sample rhyolitic composition, and based on the proportion of the type of clasts using Schmidt's diagram: 15 samples were defined as tufts crystals, 7 samples crystalloid tufts, and 6 samples crystal-tuft tufts. Microscopic classification 4 representative samples were selected for thin sections that confirmed the macroscopic classification.

The geochemical analyzes of 4 samples using the TAS diagram determined belonging to the magmatic series Calcoalcalina, a continental environment, of active margin, related to subduction processes evidenced in the rare earth analysis.

The tufts of crystals, crystalline tufts and crystalloid tufts in the three different facies identified to interpret that the process that gave rise to these rocks, pyroclastic flows resulting from the collapse of the eruptive column generated by an explosive volcanism Type, with 100m thick pumice rich, lithic fragments, known as Ignimbrites characterized by columnar disjunction, with a lineage of N 325° - N 335°, which would indicate the direction of the possible source of emission called Rumiorco Volcanic Center (INGEMMET - Navarro, 2012).

**Keywords:** *Petrology, Petrography, Microscopy, Volcanic rocks, Ignimbrite.*

## CAPÍTULO I

### INTRUDUCCIÓN

La petrología de rocas volcánicas permite conocer procesos de formación, génesis y relación con otras rocas, mediante el estudio de las propiedades físicas, químicas, mineralógicas, espaciales y cronológicas, interrelacionando conocimientos con vulcanología, estratigrafía volcánica, microscopía, petrografía y geoquímica, enriqueciendo el contenido de la investigación.

La Formación Porculla datada en  $\pm 12$  M.a Mioceno; (Ar-Ar INGEMMET, Proyecto GR4, 2007), es una unidad de rocas volcánicas perteneciente al Grupo Calipuy, la cual aflora en la cordillera noroccidental del Perú, región Cajamarca, como secuencias lávicas, flujos piroclásticos y flujos de escombros.

Sin embargo no existe suficiente investigación acerca de las características petrológicas, propiedades físicas y modo de ocurrencia de esta unidad, por ello la necesidad de ampliar el conocimiento geológico con un estudio petrológico de la zona de Cumbemayo ( $78^{\circ} 34'$  O -  $8^{\circ} 19'$  S), Cajamarca, lo cual nos permite formular la interrogante ¿Cuáles son las características petrológicas de la Formación Porculla (Grupo Calipuy) que aflora en la zona de Cumbemayo, Cajamarca?, que nos conduzca a la investigación de dicho tema, adicionalmente la zona Cumbemayo, Cajamarca, constituye una de las riquezas paisajísticas más importantes del Norte del Perú por el aspecto de las formaciones rocosas que afloran; con esta investigación se busca brindar una mayor comprensión de la petrología en la zona, además de contribuir con el Instituto Nacional Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET), que gestiona un turismo no solo paisajístico, cultural o histórico; también le da un valor agregado llamado conocimiento geológico, el cual involucra el conocer los procesos geológicos que dieron origen esa maravilla natural; esta nueva faceta del turismo es llamado geoturismo.

La investigación pretende aportar conocimiento detallado de características petrológicas y procesos genéticos de la Formación Porculla (Grupo Calipuy) que aflora en la zona de Cumbemayo, Cajamarca, incrementando la información geológica sirviendo de referencia para futuras investigaciones; mediante el logro del objetivo general: Determinar las características petrológicas de la Formación Porculla (Grupo Calipuy) en la zona de Cumbemayo, Cajamarca; a través de la clasificación petrográfica, geoquímica, determinando procesos y ambiente de formación de los depósitos volcánicos y la interpretación de la posible ubicación del centro de emisión volcánico.

Lo cual nos conduce a las siguientes conjeturas de la investigación: Las características petrológicas de la Formación Porculla en Cumbemayo, Cajamarca hacen referencia a eventos explosivos que generaron depósitos de flujos piroclásticos de composición intermedia a félsica por efecto del proceso de subducción depositándose en zonas favorables, paleodepresiones de la época Miocénica. Las características de enfriamiento rápido generaron tobas con matriz de cristales finos subhedrales principalmente de cuarzo, plagioclasas y fenocristales de minerales ferromagnesianos; además de fragmentos juveniles (pómez), fragmentos líticos probablemente desprendidos de cono eruptivo o por arrastre del flujo piroclástico, formando secuencias ignimbríticas pseudoestratificadas.

El desarrollo de la tesis se encuentra estructurada en cinco capítulos y sus correspondientes epígrafes y subapartados: (I) Introducción, (II) Marco Teórico, (III) Materiales y métodos, (IV) Análisis y Discusión de Resultados, (V) Conclusiones y Recomendaciones; Finalmente se presentan las referencias bibliográficas y anexos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

**Chávez (2010).** INGEMMET, *Variaciones Geoquímicas y Clasificación por Arcos Magmáticos de las rocas Volcánicas del “Grupo Calipuy”: Cajamarca, La Libertad y Ancash*; se realizó la clasificación espacial y temporal de los complejos volcánicos por arcos magmáticos para entender mejor la relación entre las ocurrencias metálicas y las rocas de los diferentes arcos magmáticos en el norte de Perú.

**Navarro (2014).** INGEMMET, *Nuevas dataciones en el segmento sur de Cajamarca: La investigación da a conocer nuevos datos geocronológicos en áreas antes no reportadas y que permiten establecer una adecuada correlación de los depósitos volcánicos con sus centros de emisión.*

**Navarro (2012).** INGEMMET, *Nuevos datos sobre el Volcanismo en el Norte del Perú, Grupo Calipuy*: Se realizó la caracterización de las unidades del Grupo Calipuy, se determinaron estructuras volcánicas, evolución de centros volcánicos, mostrando el tipo de fuente y evolución magmática, relacionando el volcanismo con el emplazamiento de yacimientos minerales.

**Navarro (2010).** Boletín N° 28, Serie D - INGEMMET, *Geología y Metalogenia del Grupo Calipuy (Volcanismo Cenozoico) Segmento Santiago de Chuco, Norte del Perú*; se identificaron centros eruptivos volcánicos, cartografía de secuencias volcánicas, petrografía mediante secciones delgadas; y relación del volcanismo con los principales depósitos minerales presentes en el segmento de Santiago de Chuco.

**Navarro (2009).** INGEMMET, *Centros Volcánicos Oligo-Miocénicos (Grupo Calipuy) en la Zona Sur de Cajamarca*, se realizó la identificación de centros volcánicos de emisión y sus correspondientes depósitos volcánicos.

**Navarro (2009).** INGEMMET, *Periodos Eruptivos del Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en la Cordillera Occidental del Norte del Perú: Segmento Cajamarca*; se realizó la interpretación de periodos e historia eruptiva de cada centro volcánico de emisión del Grupo Calipuy en el segmento Cajamarca.

**Longo (2005).** *Evolution of Volcanism and Hydrothermal Activity in the Yanacocha Mining District, Northern Perú*: Realizó la interpretación de la evolución del vulcanismo en el distrito minero de Yanacocha y sus alrededores, en base a dataciones, caracterización petrográfica, descripción de secuencias estratigráficas, y descripción de eventos mineralizantes; reconociendo secuencias volcánicas en áreas aledañas a la zona de estudios, importantes para correlacionar datos geológicos.

**Rivera (2007).** INGEMMET, *Características Metalogenéticas de los Yacimientos asociados al Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú, Región Cajamarca*: Realizó la interpretación de la evolución magmática del vulcanismo relacionada con las dataciones, evolución estructural de la región de Cajamarca como base para la descripción de la Geología Económica, mediante la descripción de los depósitos minerales, geoquímica e isotopos.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 PETROLOGÍA DE ROCAS VOLCÁNICAS

La petrología se ocupa del estudio de las rocas desde el punto de vista genético y de relaciones con otras rocas. Consiste en el estudio de las propiedades físicas, químicas, mineralógicas, espaciales y cronológicas de las asociaciones rocosas y procesos de formación.

Se encarga de tres tipos de rocas específicamente: Las rocas ígneas intrusivas que deben su origen al enfriamiento lento del magma en el interior de la tierra, rocas ígneas extrusivas; por enfriamiento brusco de magma expulsado por volcanes; las rocas sedimentarias originadas por procesos externos y las rocas metamórficas formadas a partir de las rocas anteriores que se ven sometidas a elevadas presiones y temperatura en el interior de la Tierra.

Una amplia variedad de procesos volcánicos generan rocas volcánicas, en diferentes ambientes tectónicos, dividiéndose en: erupciones explosivas y efusivas, generando diferentes productos volcánicos: (Sarks-Walker, 1973)

#### 2.2.1.1 PRODUCTOS VOLCÁNICOS

- Flujos de lava
- Flujos de densidad caliente: Flujos piroclásticos, oleadas piroclásticas y depósitos piroclásticos de caída.
- Flujos de densidad frío: avalanchas y lahares.

La investigación se basa en el estudio de los depósitos piroclásticos, importantes para:

- **Procesos de formación:** Se determina a partir de la textura y de la composición, forma y tipo de clasto.
- **Proceso de transporte y depositación:** Sobre litofacies (geometría y forma de los estratos, contactos, estructuras, organización interna, relación con las unidades contiguas).

- **Procesos sin-volcánicos posteriores al emplazamiento:** Soldamiento, desvitrificación a altas temperaturas, hidratación, cristalización, alteración diagenética e hidrotermal.

Según Sarks-Walker (1973) los productos piroclásticos clasifican genéticamente en tres tipos de depósitos de acuerdo a su modo de transporte y deposición:

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

#### **a. Depósitos de Caída Piroclásticas**

Se forma después de que el material ha sido eyectado violentamente desde el foco volcánico hacia la atmosfera, el cual alcanza gran altura formando una pluma eruptiva, cuyo material cae en forma homogénea.

Los depósitos de caída muestran mantos estratificados, es decir mantienen localmente un grosor uniforme. Relativamente bien seleccionados, algunas veces muestran estratificación paralela, laminar, no cruzada.

#### **b. Depósitos De Oleada Piroclásticas**

El material fragmentado es expulsado lateralmente, con una concentración baja de partículas, turbulentas, producidas por diferentes maneras: explosión freatomagmática o freática. Depósitos mal clasificados, se dividen en secos, no hay cohesión entre las partículas y húmedos con presencia de agua lo que facilita la cohesión, encontrándose lapilli acreacional. Recorren distancias cortas y desde su origen son de poco volumen.

Según Cas y Wright, 1988 se dividen en:

***Depósitos de Oleadas Basal:*** Son depósitos que muestran estratificación cruzada y paralela, menores de 1m de grosor reconociéndoseles hacia la base de las unidades de flujo principal. Compuesto por ceniza, fragmentos juveniles, cristales y líticos en proporciones variables.

***Depósitos de Oleada de Nube de Ceniza:*** Son depósitos estratificados menores de 1m de grosor encontrándoseles en las partes superiores de la unidad principal de flujo piroclásticos, enriquecidas de partículas vítreas. Muestran capas unidireccionales al igual que las oleadas de base, se observan estructuras de ondas.

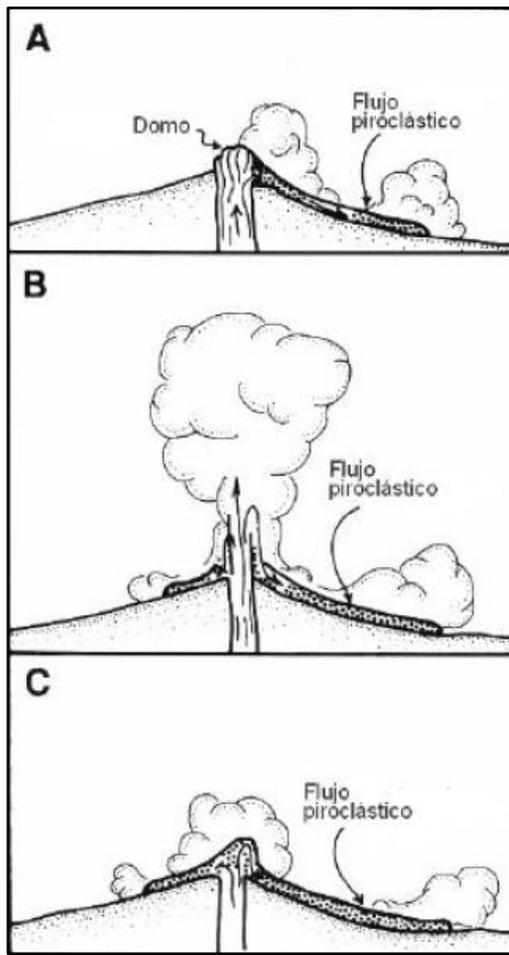
### **c. Depósitos de Flujo Piroclásticos**

#### *Origen*

Se forman por la fragmentación explosiva del magma y por el colapso de la columna eruptiva o de domos en crecimiento. Al disminuir la violencia de la fragmentación, la parte inferior de la columna eruptiva, que es la porción más densa de la misma, pierde sustentación y colapsa.

La masa gaseosa cargada con las partículas sólidas desciende por las laderas del volcán en forma vertiginosa, con velocidades iniciales de hasta 200 m /s. En forma genérica se trata de un flujo de densidad (corriente de gravedad; corrientes de densidad). Los flujos de densidad son flujos horizontales con estratificación interna, la cual se forma por diferencias de densidad debido a la variación en la proporción de gases (Simpson, 1997).

En consecuencia los flujos están internamente estratificados, con las partes más densas en la base del mismo. La temperatura del flujo proviene del magma y de los gases calientes que contiene. Con frecuencia la temperatura de los flujos es menor que la del solidus correspondiente al magma.



**Figura 01:** Origen de flujos piroclásticos (Cas y White, 1988).

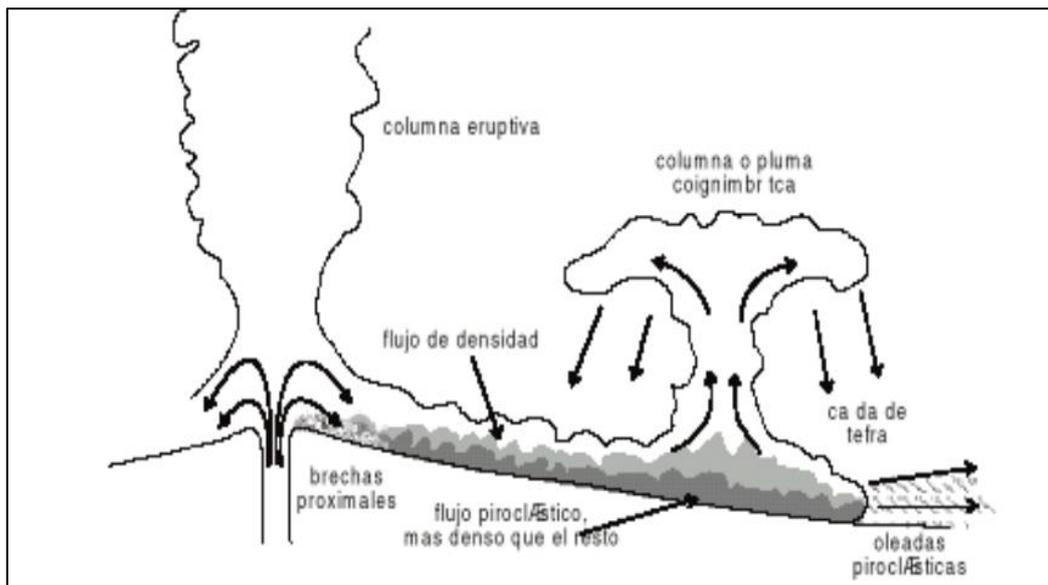
1. Relacionados a extrusiones de flujos lávicos y domos (A), por colapso gravitacional, o relacionados a erupciones explosivas que acompañan a la extrusión de domos. Dichos flujos se denominan: flujos de bloques y cenizas o nubes ardientes, y los depósitos: depósitos de flujos de bloques y cenizas o depósitos de avalanchas calientes.

2. Por colapso vertical de columnas eruptivas explosivas (B). Mientras que en vulcanismo tipo pliniano se generan flujos piroclásticos voluminosos cuyos depósitos se denominan ignimbritas.

3. Por flujo directamente del cráter del volcán (C).

Los flujos de densidad originados por la fragmentación del magma se denominan flujos de densidad piroclásticos y fueron referidos como nubes ardientes por Lacroix al describir la erupción de 1902 del Mount Pelée, en la Isla de Martinica.

La parte inferior del flujo de densidad piroclástico es más densa que el resto porque contiene mayor proporción de partículas, además de tener mayor tamaño, desplazándose por los valles fluviales o cualquier otra depresión. A esta sección inferior también se la describe como un flujo piroclástico y a las rocas resultantes como ignimbritas. En su parte superior también se expanden lateralmente formando un sombrero, desde el cual se produce la caída de ceniza.



**Figura 02:** Columna pliniana, flujo de densidad piroclástico estratificado, con un flujo en la base más denso. En el frente de avance del flujo se pueden producir violentas explosiones que originan oleadas piroclásticas. Los bloques más gruesos quedan en las cercanías del conducto formando brechas proximales. (Druitt, 1998)

### Tipo de Depósitos de Flujo Piroclásticos

\* **Depósitos de Flujo de Bloques y Ceniza:** Bloques líticos angulosos, poco vesiculares, algunos con fracturas radiadas de enfriamiento. La matriz es de ceniza (trizas angulosas). Soldamiento muy poco común. Los clastos son todos del mismo tipo de magma (depósitos monolíticos).

Pueden presentar gradación inversa, y contener estructuras de escape de gases. En general asociados con flujos lávicos y domos andesíticos, dacíticos y riolíticos, principalmente en volcanes compuestos y calderas.

\* **Depósitos de Flujo de Escoria y Ceniza:** Depósitos no seleccionados, controlados por la topografía, compuestos por lapilli escoriáceo andesítico o basáltico. Soldamiento común. Gradación inversa de los clastos mayores. Estructuras de escape de gas y madera carbonizada.

**\* Ignimbritas O Depósitos de Flujo Pumíceos:** Son las rocas producidas por los flujos piroclásticos. El nombre de ignimbrita fue acuñado por Marshall (1935) desde esa época ha tenido varios significados, habiendo sido empleado en numerosas ocasiones como sinónimo de toba soldada. En la actualidad el término ignimbrita comprende a todas las rocas formadas por flujos piroclásticos, independiente del grado de soldamiento y, en consecuencia, de la temperatura. Las composiciones de las ignimbritas varían desde intermedias hasta ácidas. Normalmente muestran una matriz microcristalina con minerales amorfos (vidrios). Se pueden reconocer ignimbritas andesíticas, ignimbritas riolíticas, etc.

Con frecuencia estas rocas son denominadas simplemente como ignimbritas. Sin embargo, en estos casos solamente se hace referencia a la textura o al tipo de proceso que las formó, pero no se incluye la composición. Por esta razón, es necesario especificar la composición, p. ej. Ignimbrita dacítica; riolita ignimbrítica, etc. Los magmas basálticos raramente forman ignimbritas, debido a su incapacidad de formar columnas eruptivas.

### **Génesis:**

Las ignimbritas se generan por colapsos de las columnas eruptivas en las erupciones plinianas y de domos ó coladas lávicas de viscosidad elevada.

Debido a la velocidad del flujo piroclástico, puede llegar a más de 400 km/h, durante su avance puede vencer obstáculos y sobrepasar elevaciones. La magnitud de la velocidad del flujo piroclástico depende: la altura del colapso de la columna eruptiva, transformándose la energía potencial en cinética, la velocidad de extrusión, la proporción sólido/gas, las pendientes topográficas.

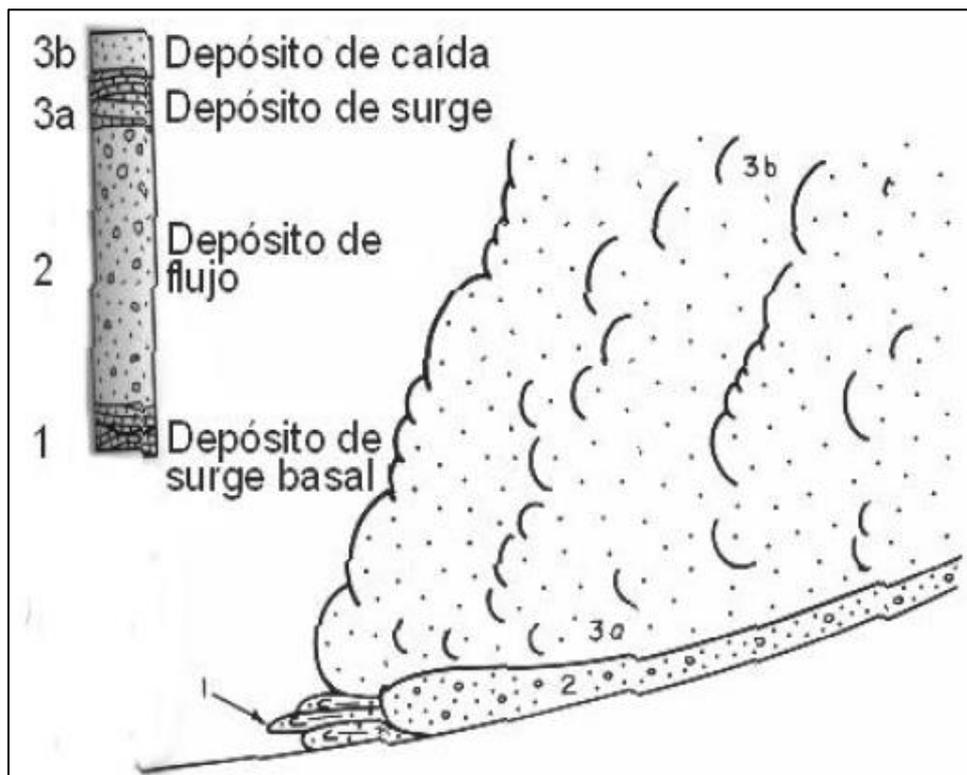
Las ignimbritas formadas por el colapso de un domo tienen abundante proporción de material fino, de bloques, clastos y matriz de cristales, son pobres en pómez. En muchos casos adquieren el aspecto de avalancha de bloques.

En general el volumen de estos flujos es pequeño. Estas características permiten diferenciarlas de las ignimbritas formadas por el colapso de la columna eruptiva. Las ignimbritas en general están acompañadas por otros productos volcánicos que se originan durante el episodio eruptivo. Es frecuente que la erupción de una ignimbrita sea precedida

por depósitos de caída originados en una fase pliniana precursora, y/o por depósitos formados por oleadas piroclásticas sobre los cuales puede fluir la ignimbrita. Asimismo, la porción menos densa del flujo de densidad y la conectividad ascendente de las columnas co-ignimbríticas producen depósitos secundarios, de pequeño volumen, que pueden originar flujos piroclásticos secundarios y depósitos por caída piroclástica. Con frecuencia estos depósitos se interdigitan con la ignimbrita principal, formando complicadas secuencias difíciles de interpretar. Esta gran variedad se debe a la violencia de los mecanismos eruptivos y a los rápidos cambios que se producen durante su desarrollo.

**Estructura:**

En las ignimbritas se desarrollan flujos laminares (unidad de mayor densidad) y flujos turbulentos en los niveles superiores (nube acompañante) que determinan diferentes unidades en el depósito. La velocidad de fluidización determinará la estructura interna del mismo.



**Figura 03:** Columna esquemática de los depósitos piroclásticos.

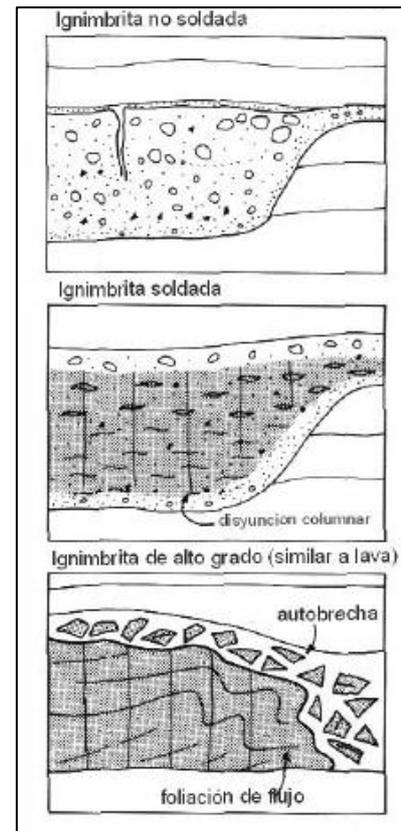
(Druitt, 1998)

**Tipos:**

De acuerdo a la temperatura del flujo en el momento de su detención se distinguen ignimbritas soldadas o no soldadas.

La relación entre potencia del depósito y área ocupada determina dos tipos principales de ignimbritas: **HARI** y **LARI**.

Las ignimbritas tipo **HARI** son potentes, tienen poca extensión superficial y se adaptan a la topografía emplazándose en zonas deprimidas. Las Ignimbritas **LARI** son corrientes de muy alta energía, ocupan una gran extensión superficial y no están condicionadas en su emplazamiento por la topografía, pudiendo remontar crestas de centenares de metros de altura.



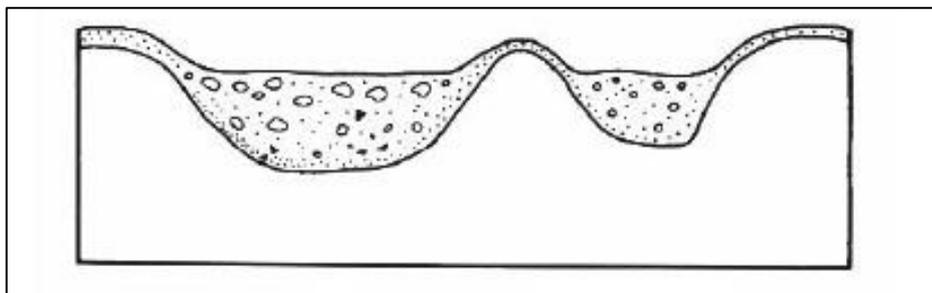
**Figura 04:** Tipos de depósitos de flujo piroclásticos. (Walker, 1983)

En la descripción de las ignimbritas es importante referirse a la relación de aspecto, que es la relación entre el promedio del espesor y el diámetro de un círculo equivalente a la superficie del depósito (Walker et al., 1980; Walker, 1983). Esta relación implica la capacidad de distribución de cada flujo piroclástico.

Las ignimbritas con elevada relación de aspecto, son las que se concentran en valles, fluyen con forma de lóbulos, tienen alta densidad y en muchos casos alta temperatura. Las ignimbritas con una relación de aspecto baja, tienen menor densidad y sus respectivos flujos pudieron sortear obstáculos topográficos. Las ignimbritas de alta relación de aspecto, son ricas en vidrio y los vitroclastos y fiamas tienen elevada deformación, con evidencias de haber fluido como una lava. Las ignimbritas de baja relación de aspecto, son poco densas, están escasamente soldadas y se encuentran en niveles topográficos con distintas alturas, lo cual significa que no hay un estricto control topográfico durante su desplazamiento.

### Características de los Depósitos De Flujos Piroclásticos:

\* **Geometría y Relación de Aspecto:** En general, los flujos piroclásticos se acomodan a la topografía, es decir que son potentes en los bajos topográficos y se adelgazan en las zonas altas.



**Figura 05:** Geometría y relación de aspecto de flujos piroclásticos.

(Walker, 1983)

\* **Relación de aspecto:** relación entre espesor y extensión lateral, existiendo dos tipos: Baja relación; que hace referencia a depósitos muy delgados y extensos (Ej.: 1/70000), formados a partir de flujos de alta velocidad. Se reconocen dos facies mapeables: Rellenos de valles: depósitos relativamente gruesos, macizos o gradados, con superficie superior plana y los depósitos de altos topográficos: depósitos delgados, sin clastos gruesos. Alta relación: potentes y de extensión restringida (Ej.: 1/400), formados a partir de flujos de baja velocidad.

\* **Dimensiones de los Flujos Piroclásticos:** Menores de 1 km<sup>3</sup> (depósitos de flujo de escoria y ceniza), a 3000 km<sup>3</sup>. Depósitos pumíceos (ignimbritas) de grandes volúmenes (>10 km<sup>3</sup>) son en general silíceos. Distancia que recorre el flujo: desde pocos kilómetros a 100 km. Espesor de los depósitos: flujos piroclásticos individuales desde menos de 1 metro a algunas decenas de metros. Para flujos compuestos los espesores van desde pocos metros a cientos de metros.

\* **Variaciones Texturales:** Al estar influenciados por la topografía, no siempre las partes más delgadas son las más distales. Sin embargo, en áreas de poco relieve, los depósitos disminuyen su espesor al aumentar la distancia con el origen. Los piroclastos livianos (Ej. pómez) no varían de tamaño con la distancia. Lo mejores indicadores son los litoclastos, que disminuyen su tamaño y abundancia con la distancia.

\* **Zonación Composicional:** La variación composicional refleja zonación composicional del magma. La variación puede ser conspicua (Ej: de riolita a basalto), o puede ser suave, además puede ser transicional o de contactos netos.

\* **Componentes de los Depósitos Piroclásticos:** Los depósitos piroclásticos están compuestos por piroclastos, que es el término utilizado para cualquier fragmento generado por una explosión volcánica o erupción. Los piroclastos pueden ser de cualquier tamaño.

El término colectivo para todos los depósitos piroclásticos es Tefra, existe 3 tipos de componentes principales:

Fragmentos Juveniles: Son fragmentos del magma que se está expulsando por el cono volcánico. En general son vitroclastos.

*Escoria:* vidrio volcánico muy vesicular de composición intermedia a básica.

*Pómez:* vidrio volcánico muy vesicular (puede o no tener cristales). Composición ácida

*Trizas vítreas:* partículas angulosas de tamaño ceniza. Generalmente resultado de la fragmentación explosiva de pómez.

Cristales ó Cristaloclastos: Cristales libres o fragmentos angulares de cristales que son liberados del magma porfirítico durante la explosión.

Fragmentos Líticos ó Litoclastos: Pueden ser fragmentos juveniles no vesiculares (líticos cognatos), o pedazos de rocas de caja arrancadas durante la erupción (líticos accesorios o xenolitos).

TAMAÑO DE GRANO (mm)	FRAGMENTO POROCLÁSTICO		NOMBRE LITOLÓGICO
256	gruesa	Bombas (forma redondeada)	Aglomerado
	finas	Bloques (forma angulosa)	brecha piroclástica
64	Lapilli		Toba de lapilli
2			
1/16	gruesa	ceniza	Toba de ceniza
	finas		

**Tabla 01:** Granulometría de fragmentos piroclásticos. (Fisher, 1961)

## 2.2.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

### a. Textura

La textura es un elemento de relevancia a la hora de identificar el enfriamiento de una roca si ha sido rápido, o lento, o de un cambio en la velocidad de enfriamiento.

El desarrollo de las características texturales de las rocas volcánicas se debe a tres principales factores: Creación de la textura original, por procesos de erupción y emplazamiento.

La modificación de la textura original debido a procesos sin-volcánicos: oxidación, desgasificación, hidratación, desvitrificación a altas temperaturas, alteración hidrotermal.

La modificación de las texturas originales debido a procesos post- volcánicos: hidratación, desvitrificación, alteración hidrotermal, diagénesis, metamorfismo, deformación, meteorización.

### b. Características Texturales

**Volcanoclásticos:** todo depósito compuesto predominantemente por partículas o fragmentos volcánicos. Las partículas pueden ser de cualquier forma y tamaño. Esta subdivisión textural incluye a las rocas piroclásticas.

**Coherente:** textura formada directamente por enfriamiento y solidificación de lava o magma.

El primer paso para avanzar correctamente en la descripción y clasificación de una roca volcánica es decidir si es coherente o volcanoclásticos. En el caso del Proyecto de investigación de la zona de Cumbemayo, tenemos rocas con características texturales volcanoclásticas.

**Cristalinidad:** Son las proporciones relativas de vidrio y cristales en la roca, se dividen en:

CRISTALINIDAD	COMPONENTE
Holocristalina	90% cristales
Holohialina	90% vidrio
Hialocristalinas/Merocristalinas	Proporción variable entre cristales y vidrio

**Tabla 02:** Tipos de cristalinidad en rocas ígneas.

**Granularidad:** Tamaño de los piroclastos en la roca.

Los tamaños relativos de los cristales, se divide en:

*Faneríticas:* (generalmente > 0.1 mm): Todos los cristales y componentes pueden distinguirse visualmente.

*Afanítica:* (generalmente < 0.1 mm): No todos los cristales pueden distinguirse, ni siquiera con una lupa de mano, debiendo recurrir al microscopio. Existen dos subtipos, *microcristalina*, cuando los cristales son reconocibles al microscopio, y *criptocristalina*, cuando no lo son.

Los tamaños absolutos de los cristales y componentes.

Muy grueso: > 16 mm	Fino: 1-0.1 mm
Grueso: 16-4 mm	Muy fino: 0.1-0.01 mm
Medio: 4-1 mm	Ultra fino: <0.01 mm

**Tabla 03:** Tamaños absolutos de cristales.

Existen términos de la textura relacionados con el tamaño de los cristales:

*Equigranulares:* Los cristales son aproximadamente de mismo tamaño.

*Inequigranulares:* Los cristales presentan tamaños variados. Existen distintas variedades de este tipo de texturas, siendo una de las más comunes la textura porfídica, que supone cristales relativamente grandes (denominados fenocristales) englobados en una matriz de grano más fino.

## ***Hábito y Formas Cristalinas***

*Euhedrales:* Caras cristalinas desarrolladas.

*Subhedrales:* Caras cristalinas parcialmente desarrolladas.

*Anhedrales:* Caras cristalinas no desarrolladas

## ***Color***

El índice de color utiliza el porcentaje de minerales máficos.

*Hololeucocrática:* 0-10% de minerales máficos.

*Leucocrática:* 10-35% de minerales máficos.

*Mesocrática:* 35-65% de minerales máficos.

*Melanocrática:* 65-90% de minerales máficos.

*Holomelanocrática:* 90-100% de minerales máficos.

### **2.2.1.3 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS**

La abundancia de un mineral en una roca se denomina abundancia modal. La moda de una roca es, la abundancia volumétrica de sus minerales constituyentes expresada en %.

Desde el punto de vista gético los minerales se clasifican en:

**Minerales primarios-singenéticos:** (formados durante procesos magmáticos).

**Pirogenéticos:** Formados directamente a partir del fundido magmático.

**Minerales de reacción:** Por reacciones de minerales pirogenéticos con el fundido residual.

**Minerales xenógenos:** Por asimilar fragmentos de rocas encajantes en el magma.

**Minerales secundarios o postmagmáticos.** (Procesos hidrotermales, metasomáticos o metamórficos que afecten la roca)

Desde el punto de vista de su abundancia, los minerales se clasifican en:

**Minerales principales:** Contenido es superior al 5% en la roca.

**Minerales de segundo orden:** Contenidos entre el 2 y 5% en la roca.

**Minerales accesorios:** Su contenido es inferior al 2% en la roca.

Para clasificar una roca ígnea en base a su moda, se utilizan diagramas ternarios en los que se representan los contenidos de minerales primarios (no se utilizan los secundarios, formados después de la cristalización del magma).

Se utilizan los siguientes parámetros:

**Q:** Polimorfos de SiO<sub>2</sub> (típicamente cuarzo, aunque también tridimita y cristobalita en algunas rocas ígneas cristalizadas a altas temperaturas).

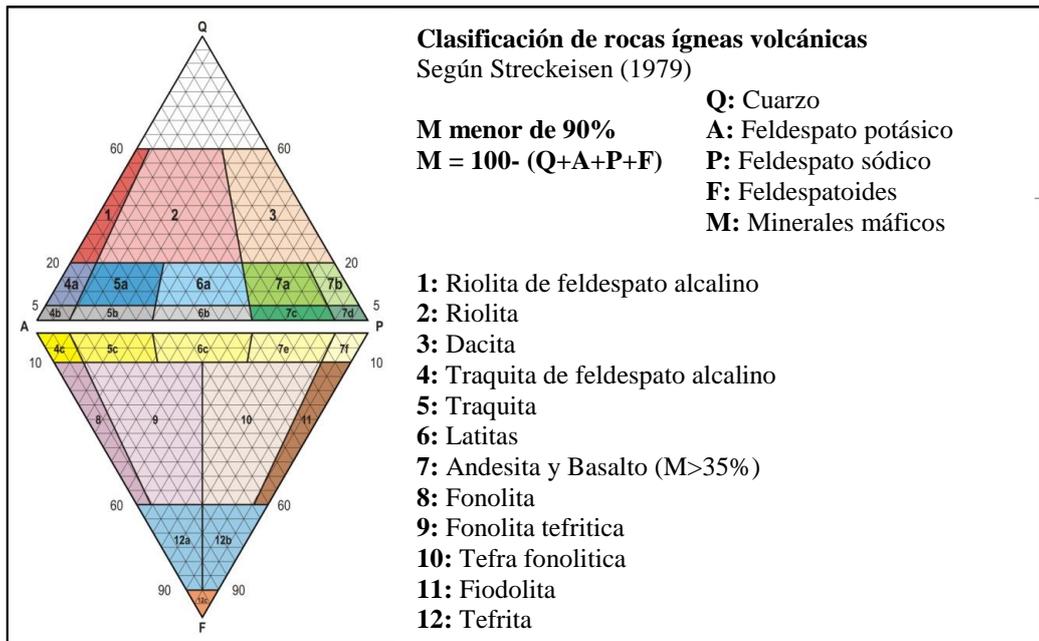
**A:** Feldespato alcalino, incluyendo feldespato potásico (sanidina, ortosa y/o microclina) y albita (término de la serie de las plagioclasas con porcentajes molares de anortita entre 0 y 5 %).

**P:** Plagioclasa (todos los términos de la serie de las plagioclasas con porcentajes molares de anortita entre 95 y 100 %) y escapolita.

**F:** Feldespatoideos (leucita, pseudoleucita, nefelina, analcima, sodalita, noseana, kalsilita, haiiyana, cancrinita).

**M:** Minerales máficos (micas, anfíboles, piroxenos, olivino), (magnetita, ilmenita), epidota, allanita, granate, melilita, monticellita, carbonatos primarios y accesorios (circón, apatito, titanita, etc.).

El diagrama QAPF de doble triángulo, se utiliza para clasificar rocas ígneas volcánicas en base a su composición mineralógica. El acrónimo, QAPF, corresponde a cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa, feldespatoideos, donde los porcentajes de Q, A, P y F están normalizados (recalculados para que su suma sea 100%).



**Figura 06:** Clasificación modal de rocas volcánicas en el doble triángulo (Streckeisen, 1979)

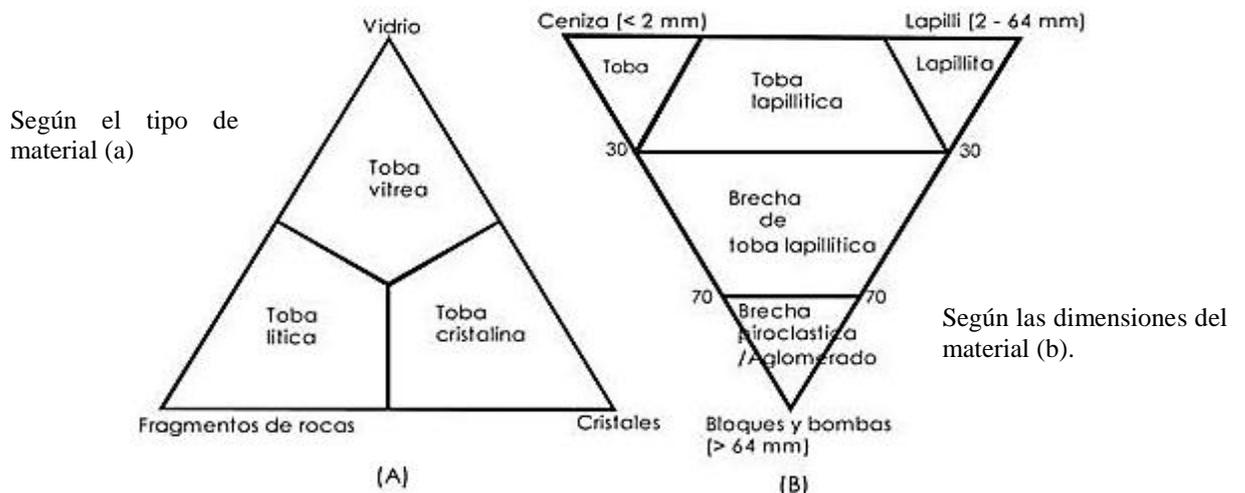
Existe una clasificación complementaria para rocas volcánicas de acuerdo al contenido de feldespatos:

**Rocas alcalinas:** Feldespatos alcalinos (Na-K)

**Rocas calcoalcalinas:** Feldespatos alcalinos y plagioclasas

**Rocas calcosódicas:** Plagioclasas.

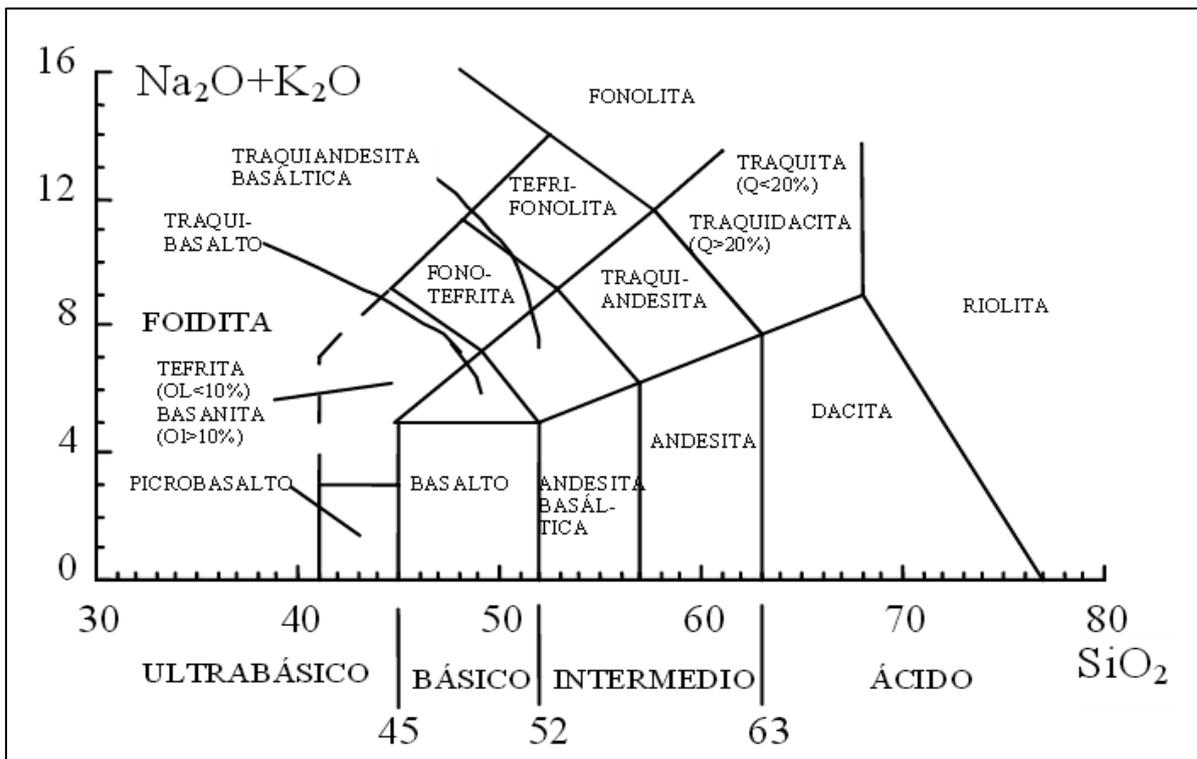
Las rocas volcánicas piroclásticas (explosivas) contienen fragmentos volcánicos, para estas rocas, se utiliza el diagrama:



**Figura 07:** Clasificación de rocas volcánicas piroclásticas. (Schmidt, 1981)

### 2.2.1.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Cuando no es posible determinar la composición mineralógica cuantitativa de una roca, bien debido a la presencia de vidrio o a la pequeñez del tamaño de grano, se recurre a las clasificaciones del tipo químico, en base al porcentaje en peso de los elementos constituyentes mineralógicos expresados en forma de óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , etc.), utilizando directamente los resultados del análisis, como es el caso de la clasificación T.A.S. (Total Alkali Silica) utilizada para rocas volcánicas y en la que se enfrentan en X el peso en  $\text{SiO}_2$ , frente a la suma de  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  en Y. En este diagrama no se utilizan términos modales (máfico, félsico, etc.) sino químicos: rocas ultrabásicas, básicas, intermedias, y ácidas.



**Figura 08:** Clasificación química de las rocas ígneas volcánicas. Diagrama TAS -Total Alkalis vs. Silica- (Le Maitre et. al. 2002).

## **2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **Centro eruptivo**

Término empleado para definir una estructura volcánica que ha emitido y generado diferentes productos volcánicos, según el tipo de dinámica o mecanismo eruptivo, y ha formado así un estratovolcán, caldera o un complejo de domos. (Dávila, 2011)

### **Fenocristales**

Cristales mayores que se encuentran inmersos en una pasta Afanítica en las texturas coherentes. Se encuentran en lavas e intrusiones sin volcánicas, pueden ocupar desde el 1 al 55 % del volumen de la roca. Tamaño de 1 mm a 3 cm. La mineralogía, abundancia y distribución de los fenocristales es más o menos constante en una unidad de emplazamiento o flujo lávico. (Dávila, 2011)

### **Textura porfirítica**

Fenocristales relativamente grandes dispersos en una pasta afanítica mucho más fina, o incluso vítrea. (Dávila, 2011)

### **Cristales y fragmentos de cristales**

Proviene de magmas porfíricos y se encuentran en gran variedad de depósitos volcanogénicos. Pueden hallarse en depósitos volcánicos primarios (piroclásticos) o secundarios, por retrabajo sedimentario. (Dávila, 2011)

### **Pómez**

Vidrio volcánico muy vesicular (puede o no tener cristales) de composición ácida. (Dávila, 2011)

### **Bloques**

Piroclastos de formas irregulares generados a partir de magmas de viscosidad alta. (Dávila, 2011)

### **Fragmentos líticos**

Clastos que provienen de rocas preexistentes, volcánicas o no volcánicas. Son raros en flujos lávicos e intrusiones sin- volcánicas (xenolitos). Pueden ser derivados de erupciones

explosivas (litoclastos en rocas piroclásticas), o por erosión de rocas preexistentes (piroclastos secundarios o epiclastos). (Dávila, 2011)

### **Fiamme**

Lentes vítreos con forma de llama en depósitos piroclásticos bien soldados. Son lenticulares o en forma de disco. La alineación de fiamme define una foliación paralela a la estratificación atribuida a la compactación durante el soldamiento (textura eutaxítica). (Dávila, 2011)

### **Soldamiento**

Es la fusión y deformación plástica de piroclastos calientes de baja viscosidad (principalmente pómez, escoria y trizas) donde los poros son eliminados y el agregado piroclástico original es transformado en una roca relativamente densa. (Dávila, 2011)

### **Desvitrificación**

Los piroclastos juveniles están formados por vidrio. Dichos componentes inicialmente vítreos, pueden cristalizar o desvitrificarse. (Dávila, 2011)

## CAPÍTULO III

### MÉTODOS Y MATERIALES

#### 3.1 UBICACIÓN

##### 3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio se encuentra en la vertiente Occidental de la Cordillera de los Andes, al NO de la Ciudad de Cajamarca-Perú.

<b>Departamento</b>	: Cajamarca
<b>Provincia</b>	: Cajamarca
<b>Distrito</b>	: Chetilla
<b>Centro Poblado</b>	: Sexymayo

La zona que abarca el proyecto corresponde a la hoja topográfica de la carta nacional 15f, dentro de las coordenadas con el sistema de proyección UTM, Datum WGS 84. Los vértices que delimitan el área son los siguientes.

VERTICE	NORTE	ESTE
V1	9205000	766800
V2	9205000	768800
V3	9203000	768800
V4	9203000	766800

**Tabla 05:** Vértices del área de trabajo

#### 3.2 ACCESIBILIDAD

Para poder acceder al área de estudio se toma la carretera afirmada Cajamarca–Cumbemayo (iniciando en la Av. Perú), teniendo que recorrer hacia el NW 20Km con un tiempo de 60 minutos.

**Tabla 06:** Acceso a la zona de estudio.

TRAMO	TIPO DE VIA	LONGITUD	TIEMPO
Cajamarca - Cumbemayo	Carretera afirmada	20km.	60min



**Foto 01:** Imagen satelital mostrando el acceso principal a la zona de estudio (color rojo) desde la Ciudad de Cajamarca.

(Google Earth)

### **3.3 PROCEDIMIENTO**

#### **3.3.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS**

El desarrollo metodológico para el presente estudio, considera cinco etapas fundamentales, sin dejar de conciliarlas, e interrelacionarlas durante el proceso de ejecución del proyecto; convirtiéndose en un proceso continuo, dinámico y retro-alimentativo, donde cada una es base para el desarrollo de las siguientes etapas.

##### ***3.3.1.1 Búsqueda de Información.***

En la primera etapa, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva tanto en el boletín 28-INGEMMET, como en otros documentos, o información a afines con el trabajo a realizar, conociendo características petrológicas que presentan las rocas volcánicas en general y que llevan a la comprensión de la zona de estudio, obtención del mapa topográfico, imágenes satelitales (Google earth) y carta geológica del cuadrángulo que alberga a la zona de estudio (Cajamarca -15f) así como un plano geológico de la zona en detalle, usados como base para la etapa posterior (trabajo de campo).

##### ***3.3.1.2 Integración de Información***

En la segunda etapa se concilió la información, interpretación de las imágenes satelitales y definió la estructura del trabajo para posterior desarrollo y cumplimiento con los requerimientos del cronograma predispuesto.

##### ***3.3.1.3 Trabajo De Campo***

Comprende la obtención de la data en campo: ubicación, delimitación y reconocimiento fisiográfico de la zona, con ayuda del plano topográfico e imágenes satelitales; muestreo, descripción, explicación e interpretación de las características petrológicas: textura, mineralogía, color y modo de ocurrencia; identificación y delimitación de características petrológicas, de cada tipo de roca definida en campo.

##### ***3.3.1.4 Trabajo De Gabinete***

Consiste en utilizar la data obtenida en campo, como la ubicación de los puntos de muestreo, descripción de las características petrológica, uso de los diagramas de estimación visual de minerales, análisis macroscópico y microscópico de las muestras, y la

utilización de los triángulos de Streckeisen, Schmidt y T.A.S. donde se podrá tipificar la roca dándole una denominación.

#### 3.3.1.4 Herramientas

- Libreta de campo.
- Mapa geológico al detalle (esc. 1/12500)
- Mapa topográfico (esc. 1/12500).
- Imágenes satelitales. (Google Earth)
- Wincha de 5 metros.
- Picota de geólogo.
- Brújula tipo Brunton.
- Lápiz de dureza Diamantada.
- Lupa. (20x – 30x)
- Protactor (esc. 1/12500)



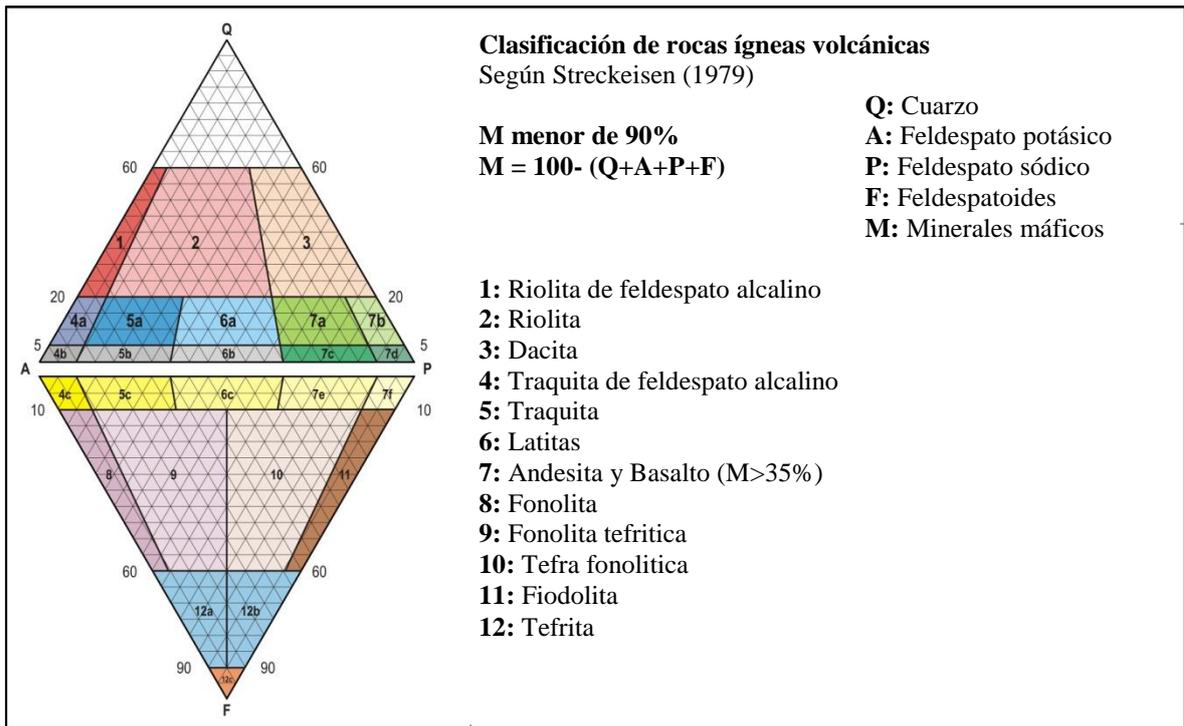
#### 3.3.1.5 Equipos

- Tablero
- Colores.
- Cámara fotográfica (15 pixeles)
- GPS eTrexR Legend C.

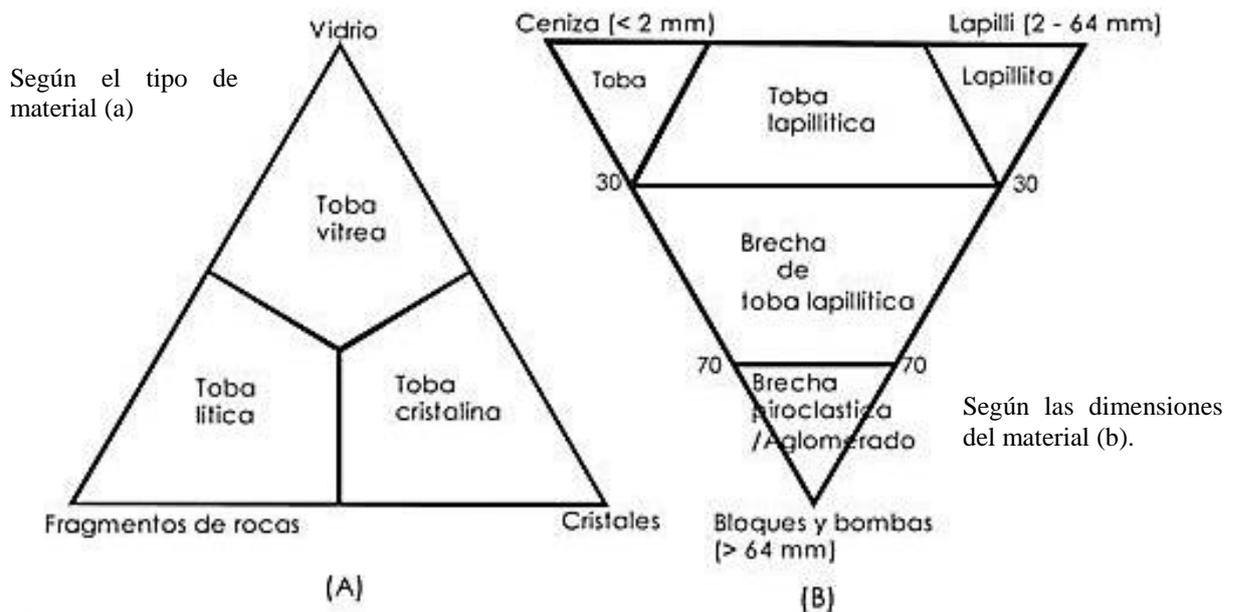
### 3.4 ELABORACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la obtención de datos en campo se elaboraron fichas de recolección de datos, las cuales permiten ubicar espacialmente a las muestras litológicas, además de describir sus características petrográficas y secuencia volcánica.

Para determinar la composición petrológica de las muestras recolectadas se utilizó el triángulo de Streckeisen, este gráfico determina el tipo de roca basándose en su contenido de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas. Además de este gráfico se utilizó los triángulos de Schmidt, importantes para clasificar rocas piroclásticas.



**Figura 09:** Clasificación modal de rocas volcánicas en el doble triángulo (Streckeisen, 1979)



**Figura 10:** Clasificación de rocas volcánicas piroclásticas. (Schmidt, 1981)

### **3.5. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

El tratamiento y análisis de datos fue consecutivo y continuo al avance de la investigación, utilizando la data obtenida en campo y laboratorio, se procesó la información haciendo uso de diagramas de estimación visual, análisis macroscópico y microscópico de las muestras y análisis geoquímico, con ello se procederá a la identificación y delimitación de las características petrológicas de las secuencias volcánicas de la Formación Porculla.

El procesamiento de datos se realizará mediante software de computadora con aplicación de programas geológicos. Se describen los principales y su aplicación en el presente trabajo:

- Excel 2010: Se utilizó clasificar los tipos de litología y su composición.
- ArcGis 10.1: Sistema de Información Geográfica, en el que se ingresó toda la información de los cartografiados de campo, estructuras, etc. Y finalmente se elaboraron los planos presentados.

## 3.6 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 3.6.1 GEOMORFOLOGIA

#### 3.6.1.1 Superficies de Erosión

Se considera la existencia de una sola superficie de erosión siguiendo los niveles topográficos comprendidos entre los 3500-3700 msnm, generada por procesos erosivos controlados principalmente por la composición litológica.



**Foto 02:** Superficie de erosión 3500 - 3700 msnm

#### 3.6.1.2 Valle Fluvioglacial

Cumbemayo estuvo cubierto por hielo en el pleistoceno, la acción erosiva del hielo, amplía y profundiza los valles fluviales en forma de "U" y su fondo es más plano que los valles fluviales, con un gran número de irregularidades: umbrales o cuencas, los que se convierten en lagunas o lagos una vez que el hielo ha sido removido.



**Foto 03:** Valle fluvio-glacial.



**Foto 04:** Zona lagunar.

### 3.6.1.3 Erosión Diferencial

Se evidencia claramente al SE de la zona de estudio, como respuesta a los procesos de erosión actuando en diferentes facies volcánicas aflorantes en Cumbemayo, la facie inferior es tufo de cristales, los cuales son menos resistentes a la erosión y disgregan con mayor facilidad; mientras que la facie superior está formada por tufos de cristalolíticos, oponiendo mayor resistencia a los procesos erosivos.



**Foto 05:** Erosión diferencial entre 2 facies de composiciones distintas.

### 3.6.1.4 Alveolos

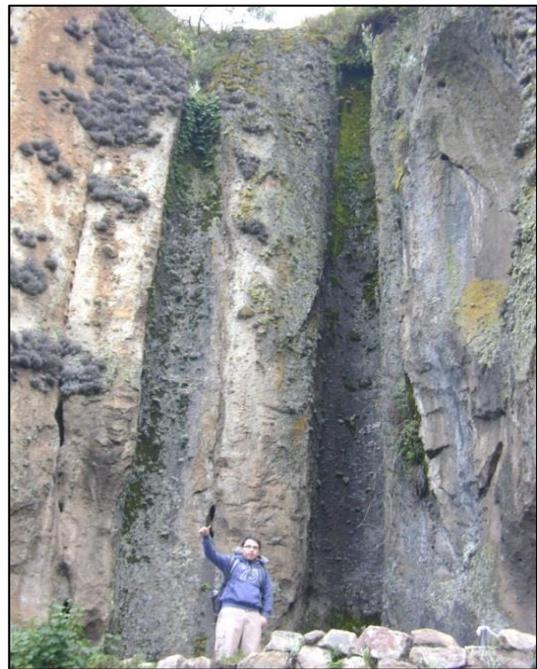
Las rocas aflorantes en la zona de la Formación Porculla a menudo presentan cavidades, más o menos esféricas, de 1 - 10 cm de diámetro, que originan formas escultóricas, conocidas como alveolos, producidos por la corrosión (impacto de partículas) asociada a los fuertes vientos reinantes en Cumbemayo.



**Foto 06:** Alveolos en la superficie de rocas de la Fm. Porculla

#### **3.6.1.5 Conductos de Desgasificación**

Conductos semicirculares que permiten el escape gases magmáticos producto de la actividad volcánica, generados al momento de la depositación en la paleodepresión de Cumbemayo que dan origen a la Fm. Porculla; los cuales han sido erosionados por los fuertes vientos y la acción de las aguas de escorrentía.

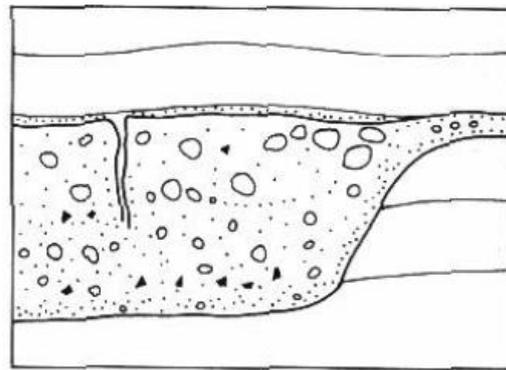


**Foto 07:** Conductos de desgasificación.

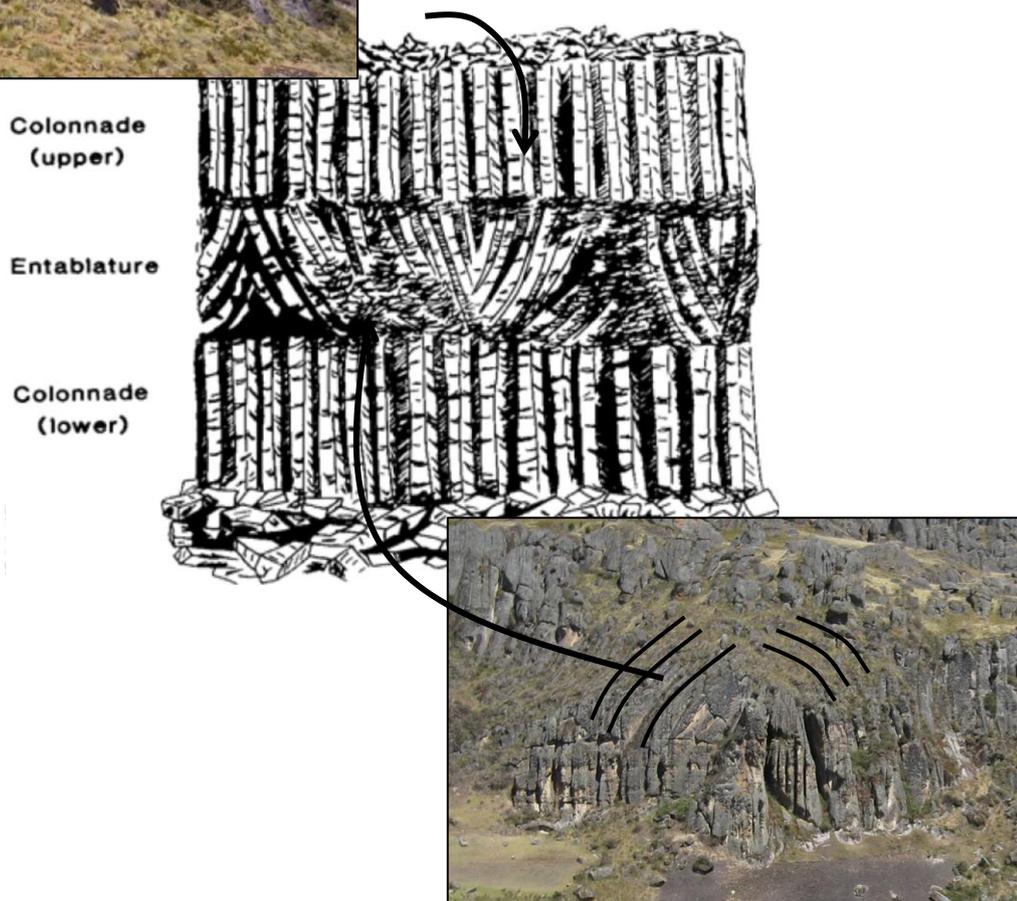
#### **3.6.1.6 Disyunción Columnar**

Los depósitos piroclásticos de la Fm. Porculla se forman por la depositación de flujos de alta temperatura, relleno paleotopográficas, una vez detenido este flujo ardiente continua el proceso de enfriamiento y solidificación, que no es homogéneo, ya que la parte superficial y la que está en contacto con el suelo se enfrían más rápidamente; este hecho provoca la disminución de su volumen, de modo que se cuarteo en forma de prismas de cuatro lados, formando un conjunto característicos en muchos relieves volcánicos.

**Figura 11:** ilustrando la paleodepresión del sector Cumbemayo, que facilito la depositación de la Fm. Porculla.



Disyunción Columnar de 4 lados en flujos piroclásticos.



**Figura 12:** Zonación de las fracturas de disyunción Columnar. (Williams and McBirney 1979)

### 3.6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

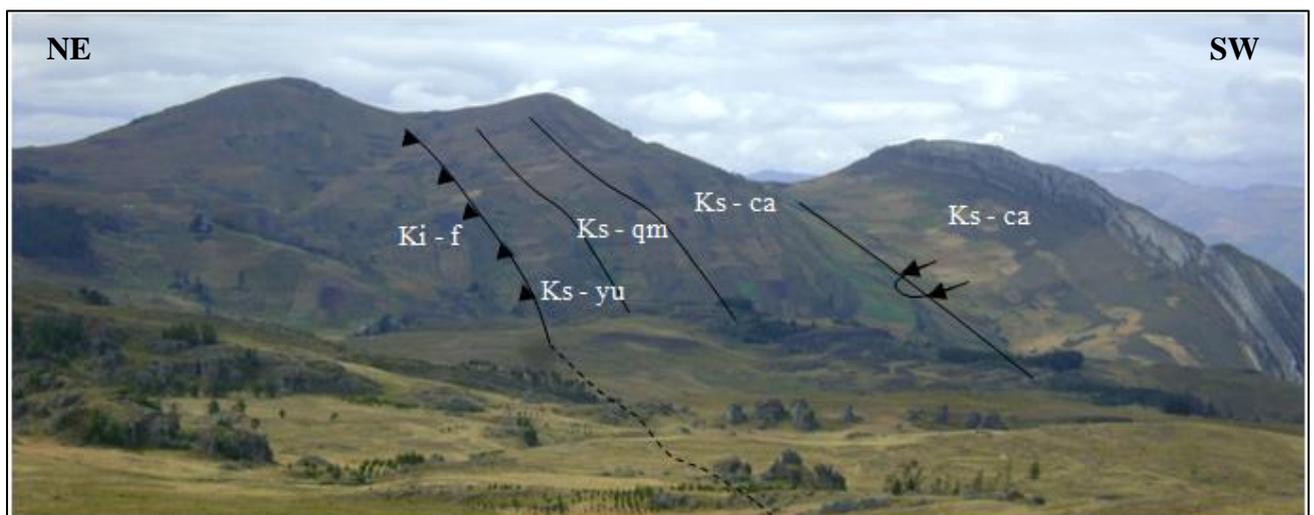
La depositación de la Fm. Porculla en el área de estudio fue controlada por dos estructuras que originaron una paleodepresión en la zona de Cumbemayo.

#### 3.6.2.1 Sinclinal Volcado

El núcleo del sinclinal está formado por rocas del Cretáceo Superior; Fm. Cajamarca; con un plano axial volcado al NE, evidenciado en el buzamiento invertido del flanco NE de 37° mientras que flanco NO presenta un buzamiento normal de 35°. Formado por la tectónica andina. El área de estudio se encuentra en el flanco NE, donde las rocas volcánicas de la Fm. Porculla se encuentran sobreyaciendo en discordancia angular con la Fm. Yumagual, esta estructura controla en primera instancia la paleodepresión de Cumbemayo.

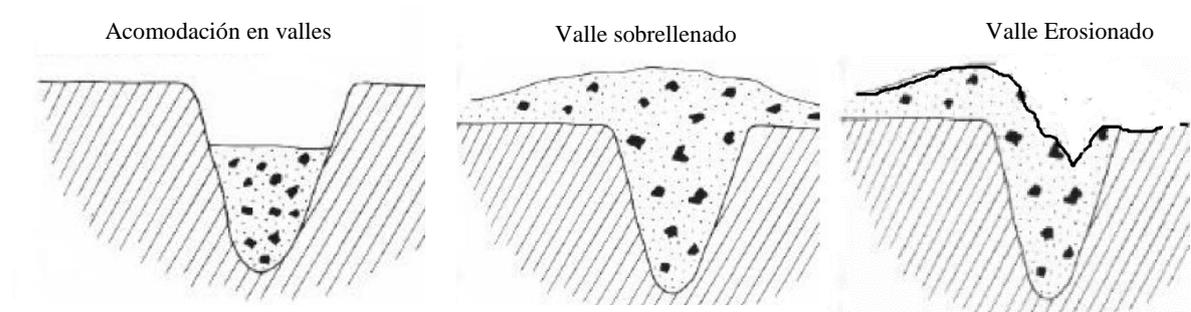
#### 3.6.2.2 Falla Inversa

Producto de los esfuerzos compresivos andinos, pliegan las secuencias cretácicas y forman el sinclinal volcado, fallando longitudinalmente en el flanco NE, lo que es evidenciado estratigráficamente en el contacto de la Fm. Yumagual (bloque hundido) y la Fm. Farrat (bloque levantado).



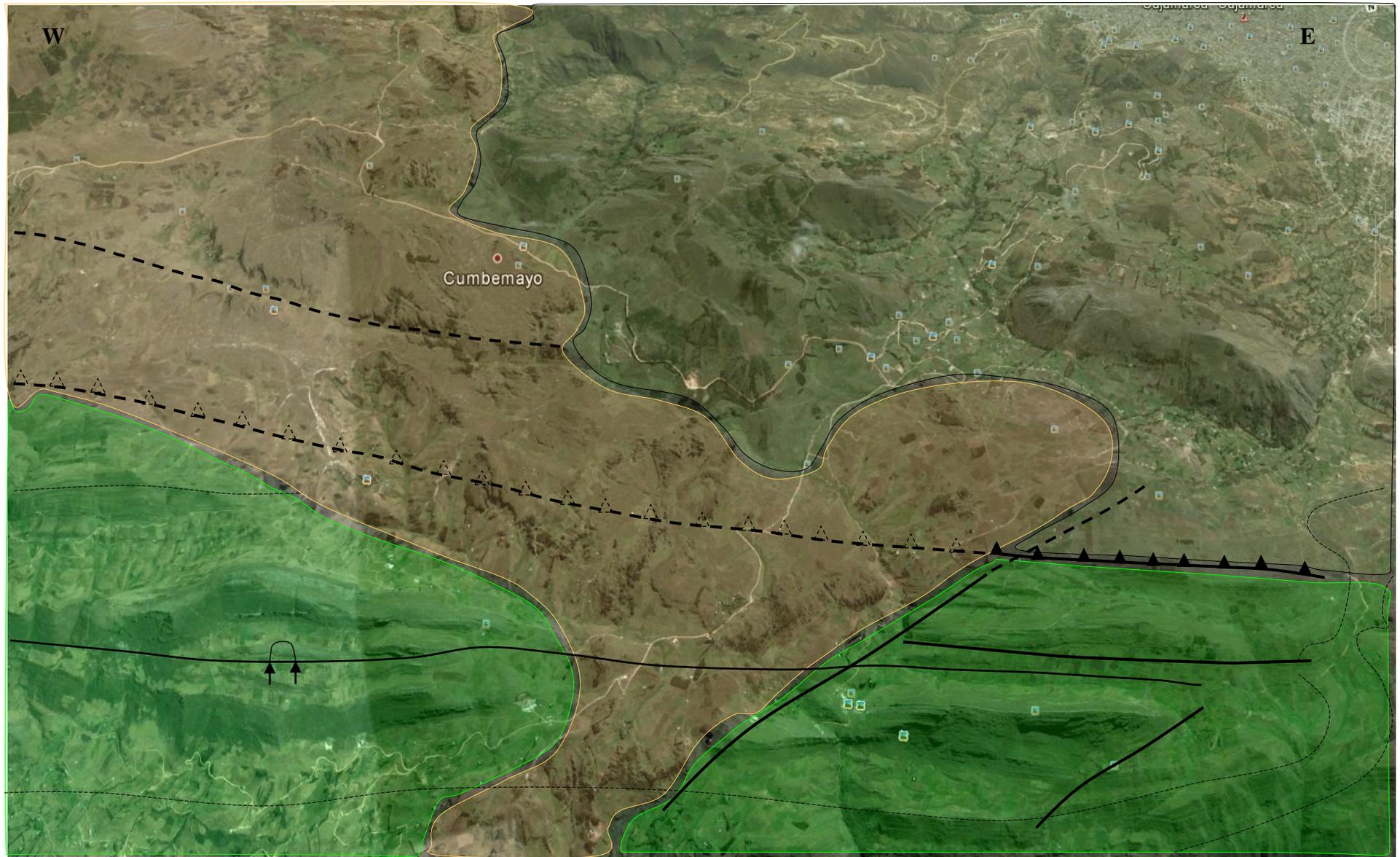
**Foto 08:** Principales estructuras geológicas del área de estudio.

Ambas estructuras formaron un valle que constituyo una paleodepresión favorable para la depositación de las rocas volcánicas de la Fm. Porculla.



**Figura 13:** Esquema evolutivo de la depositación de rocas en paleodepresión Cumbemayo.  
(Elaboración Propia)

**Figura 14:** Esquema estructural de la zona de Cumbemayo



### 3.6.3 ESTRATIGRAFÍA VOLCÁNICA

#### 3.6.3.1 FORMACIÓN PORCULLA

La Formación Porculla datada en  $\pm 12$  M.a; Mioceno (INGEMMET), es una unidad de rocas volcánicas perteneciente al Grupo Calipuy, la cual aflora el cual aflora en la cordillera noroccidental del Perú, al noroeste de Cajamarca (Wilson, 1984) Esta unidad sobreyace con cierta discordancia angular a las rocas volcánicas de la Fm. Llama, en el área de estudio se observa en discordancia angular con rocas del Cretaceo Inferior, Fm. Farrat al extremo NE, y con rocas de la Cretáceo Superior, Fm Yumagual.

Consiste litológicamente en secuencias piroclásticas de composición félsica-intermedia, acompañado de lavas andesíticas, con intercalaciones de brechas, tufos y material volcánico retrabajado de composición dacítica-andesítica. (Reyes, 1980 – Wilson, 1984)

Contemporánea a esta fase volcánica, se emplazan cuerpos subvolcánicos asociados al desarrollo de un evento volcánico-magmático.



**Foto 09:** Formación Porculla, Cumbemayo, Cajamarca.

## **CAPÍTULO IV**

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

#### **4.1 PETROGRAFÍA VOLCÁNICA**

Las rocas volcánicas de la Fm. Porculla expuestas en la zona de Cumbemayo, se depositaron siguiendo una tendencia con orientación NO, con espesores que alcanzan los 100m, cubriendo una extensión de 2.5 km en el área de estudio, emitidos desde un centro volcánico al NO activo en el Oligo-Mioceno.

##### **4.1.1 CLASIFICACIÓN MACROSCÓPICA**

La caracterización petrográfica macroscópica se realizó mediante la clasificación de 30 muestras de mano de rocas frescas de la Fm. Porculla, con dimensiones variables de 10 - 30 cm, distribuidas aleatoriamente en toda la zona de interés.

CÓIGO DE MUESTRA	COORDENADAS		
	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
M-1	767718	9204838	3634
M-2	767766	9204849	3630
M-3	767653	9204893	3644
M-4	767587	9204715	3642
M-5	767824	9204832	3621
M-6	767812	9204869	3624
M-7	767180	9204346	3584
M-8	767207	9204292	3601
M-9	767289	9204174	3618
M-10	767244	9204050	3618
M-11	767038	9203848	3651
M-12	766971	9203770	3640
M-13	766946	9203756	3642
M-14	767252	9203016	3672
M-15	767796	9203408	3682
M-16	767908	9203820	3621
M-17	767908	9203820	3584
M-18	768348	9203468	3589
M-19	768448	9203520	3589
M-20	768459	9203542	3570
M-21	768363	9203576	3573
M-22	768476	9203387	3597
M-23	768352	9203265	3588
M-24	768066	9203128	3560
M-25	767617	9203110	3564
M-26	767301	9203354	3630
M-27	767319	9203692	3610
M-28	767689	9203939	3600
M-29	767509	9204478	3620
M-30	767050	9204833	3610

**Tabla 07:** Ubicación de muestras para análisis petrográficos y geoquímicos.

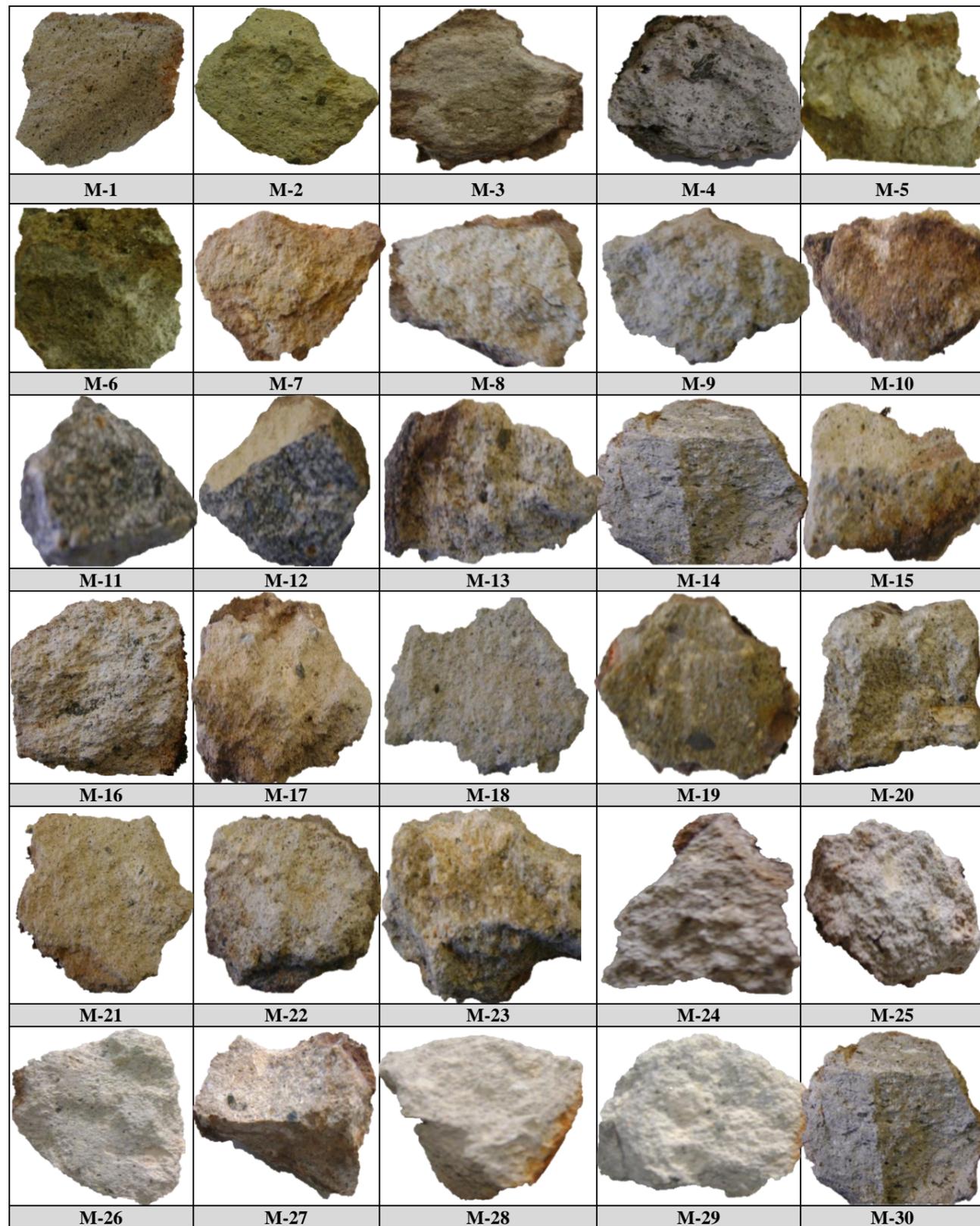
Para la visualización de minerales, fenocristales y líticos dominantes > 2mm, se utilizó una lupa de 20x, para minerales presentes en la matriz < 2mm se utilizó un microscopio Leitz de 215x.

En base a lo observado se realizó un análisis cuantitativo, cualitativo e interpretativo de la proporción mineralogía, para determinar la composición, utilizando el diagrama de *Clasificación modal de rocas volcánicas, Streckeisen, 1979.*

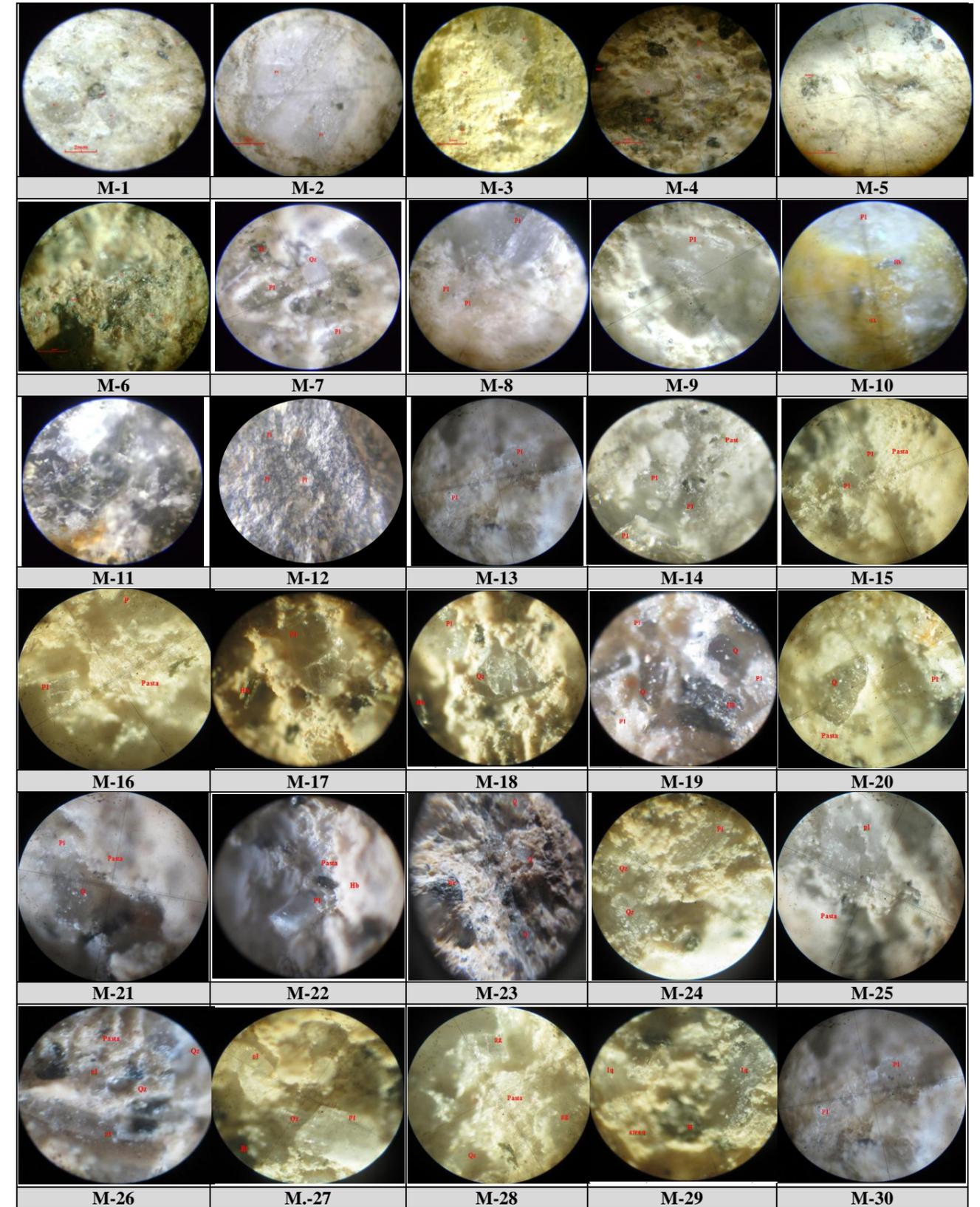
La determinación del tipo de roca volcánica piroclásticas se basó en la descripción de dimensión/volumen de cristales-líticos, utilizando el diagrama de *Clasificación de rocas volcánicas piroclásticas, Schmidt, 1981.*

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA													
CÓDIGO DE MUESTRA	COLOR	TEXTURA Y ESTRUCTURA			COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%)				OTROS (%)		ESTRUCTURA	MODO DE OCURRENCIA	OBSERVACIONES
		Grado de Cristalización	Tamaño de Cristales	Forma de Cristales	Feldespato Potásico	Feldespato Sódico Cálculo	Cuarzo	Minerales Máficos	Líticos	Pómez	Coherente	Fragmental	
M-1	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	5	45	5	5	40		Fragmental	Flujo Piroclástico	Dominio de cristales y pasta
M-2	Mesocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	15	50	10	5	20		Fragmental	Flujo Piroclástico	Eventuales líticos
M-3	Mesocrática	Merocrystalina	Fanerítica	Subhedrales	15	35	15	5	20	10	Fragmental	Flujo Piroclástico	Presencia de pómez
M-4	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	5	30	15	10	40		Fragmental	Depósito de caída	Presencia de líticos y fenocristales
M-5	Mesocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	5	20	15	10	15	35	Fragmental	Flujo piroclásticos	Presencia de pómez
M-6	Mesocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	20	5	60	5	20		Fragmental	Bloque desprendido de cono volcánico	Dominio de cristales y pasta
M-7	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	5	25	30	5	35		Fragmental	Flujo Piroclástico	Presencia de pómez
M-8	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	5	35	5	10	45		Fragmental	Flujo Piroclástico	Fragmentos líticos de 2 a 5mm
M-9	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	5	40	10	5	40		Fragmental	Depósito de Caída	Cristales milimétricos de Pl en una pasta de grano fino
M-10	Mesocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	5	40	15	5	35		Fragmental	Flujo Piroclástico	Alteración en la pasta con presencia de fragmentos líticos
M-11	Mesocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	20	40	20	20			Coherente	Subvolcánico	Ausencia de pasta volcánica.
M-12	Mesocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	20	50	10	20			Coherente	Subvolcánico	Ausencia de pasta en abundancia.
M-13	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	5	30	5	10	50		Fragmental	Depósito de caída	Minerales máficos bien cristalizados
M-14	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	40	15	20	15		Fragmental	Flujo Piroclástico	Alteración de Pl a arcillas
M-15	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	30	10	20	40		Fragmental	Flujo Piroclástico	Menor presencia de cristales compuesta de pasta volcánica
M-16	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	20	30	5	15	30		Fragmental	Flujo Piroclástico	Alineación de minerales máficos.
M-17	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	35	30	5	20		Fragmental	Flujo Piroclástico	Ojos de Qz y alto contenido de fragmentos líticos
M-18	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	30	35	5	20		Fragmental	Flujo Piroclástico	Ojos de Qz y Pl
M-19	Mesocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	30	30	5	25		Fragmental	Flujo Piroclástico	Alto contenido de Qz en la matriz
M-20	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	20	10	5	55		Fragmental	Flujo Piroclástico	Alto contenido de pasta y Pl milimétricas
M-21	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	25	10	5	50		Fragmental	Depósito de Caída	Alto contenido de pasta
M-22	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	15	15	5	55		Fragmental	Flujo Piroclástico	Fragmentos líticos y un alto contenido de pasta
M-23	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	30	10	5	45		Fragmental	Flujo Piroclástico	Alteración de Pl a arcillas
M-24	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	30	20	5	35		Fragmental	Flujo Piroclástico	Pl milimétricas y pequeños ojos de Qz
M-25	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	15	35	10	5	35		Fragmental	Flujo Piroclástico	Pl milimétricas y pequeños ojos de Qz
M-26	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	35	10	5	40		Fragmental	Depósito de Caída	Pl milimétricas en una matriz de ceniza volcánica
M-27	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	20	40	15	15	10		Fragmental	Depósito de Caída	Pl milimétricas en una matriz de ceniza volcánica
M-28	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	30	10	5	45		Fragmental	Depósito de Caída	Pl milimétricas.
M-29	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	35	5	5	45		Fragmental	Depósito de Caída	Pl milimétricas.
M-30	Leucocrática	Merocrystalina	Afanítica	Subhedrales	10	40	15	20	15		Fragmental	Flujo Piroclástico	Alteración de Pl a arcillas

**Tabla 08:** Descripción petrográfica macroscópica de muestras de mano (Lupa 30x y microscopio Leitz 215x)



**Tabla 09:** Código de muestras de mano (Escala 10-30cm)



**Tabla 10:** Vista al microscopio Leitz 215x (Escala del objetivo 1cm) de las muestras de mano.

CLASIFICACIÓN DE ROCAS VOLCÁNICAS			
CÓDIGO DE MUESTRA	STRECKEISEN, 1979	SCHMIDT, 1981	NOMBRE DE LA ROCA
M-1	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-2	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-3	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-4	Dacítico	Tufo Cristalovítrico	Tufo cristalovítrico Dacítico
M-5	Andesita	Tufo Cristalolítico	Tufo cristalolítico Andesítico
M-6	Riolita	Tufo Cristalovítrico	Tufo Cristalovítrico Riolítico
M-7	Dacítico	Tufo Cristalolítico	Tufo Cristalolítico Dacítico
M-8	Andesita	Tufo Cristalolítico	Tufo Cristalolítico Andesítico
M-9	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-10	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-11	Andesita	Roca Volcánica	Andesita
M-12	Andesita	Roca Volcánica	Andesita
M-13	Andesita	Tufo Cristalovítrico	Tufo Cristalovítrico Andesítico
M-14	Andesita	Tufo Cristalovítrico	Tufo Cristalovítrico Andesítico
M-15	Andesita	Tufo Cristalovítrico	Tufo Cristalovítrico Andesítico
M-16	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-17	Dacítico	Tufo Cristalolítico	Tufo Cristalolítico Dacítico
M-18	Dacítico	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Dacítico
M-19	Dacítico	Tufo Cristalolítico	Tufo Cristalolítico Dacítico
M-20	Dacítico	Tufo Cristalolítico	Tufo Cristalolítico Dacítico
M-21	Dacítico	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Dacítico
M-22	Dacítico	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Dacítico
M-23	Dacítico	Tufo Cristalolítico	Tufo Cristalolítico Dacítico
M-24	Dacítico	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Dacítico
M-25	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-26	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-27	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-28	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-29	Andesita	Tufo de Cristales	Tufo de cristales Andesítico
M-30	Andesita	Tufo Cristalovítrico	Tufo Cristalovítrico Andesítico

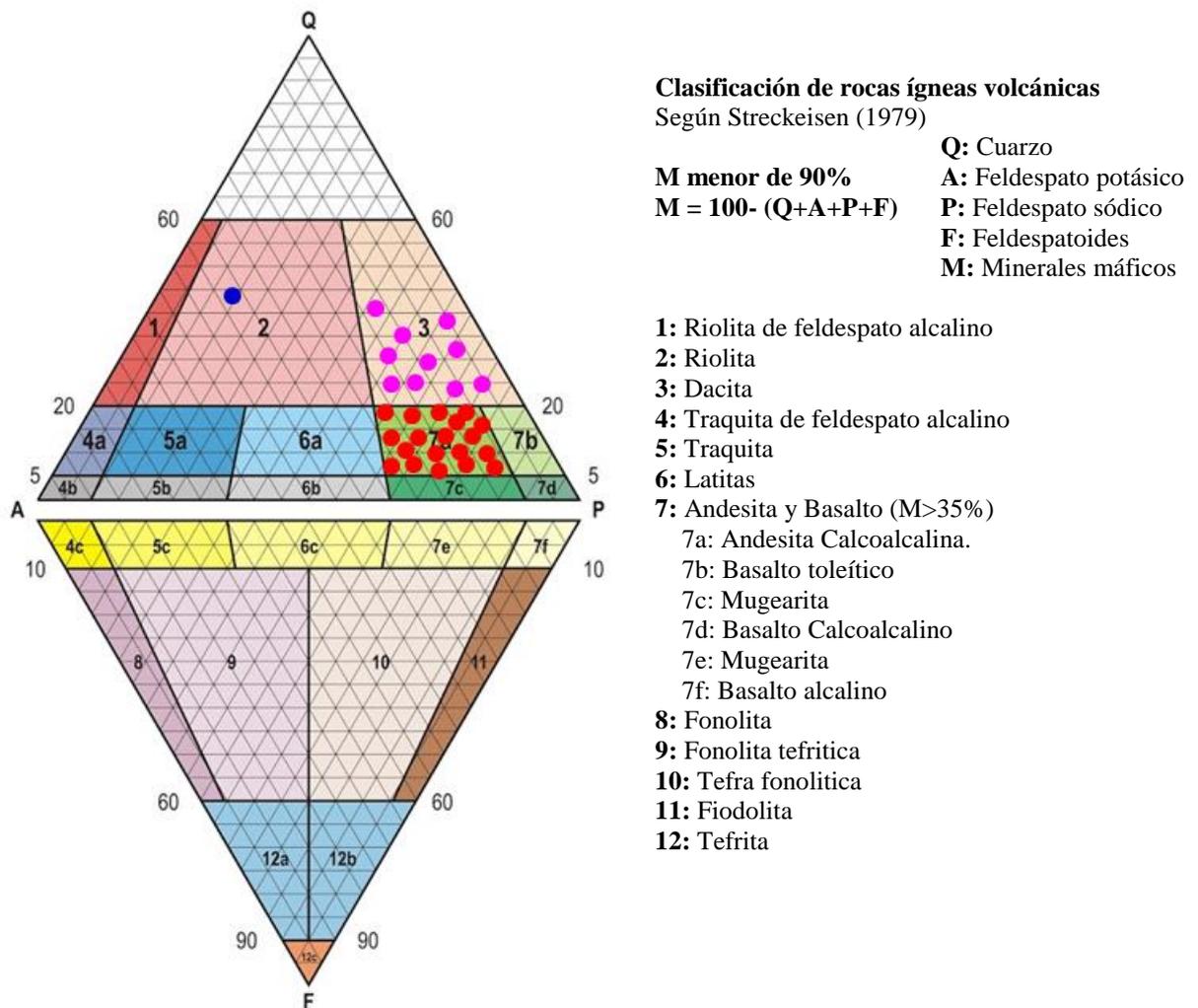
**Tabla 11:** Clasificación de rocas volcánicas Streckeisen, 1979 y Schmidt, 1981

Con el análisis mineralógico de las 30 muestras de mano se obtuvo:

19 Muestras son de composición andesítica, con porcentajes de plagioclasas que van de 35% – 60% de plagioclasas cálcica- sódica, 1 %– 5% de cuarzo, 5 – 15% de máficos, 30% - 50% de fragmentos líticos.

10 Muestras son de composición dacítica, con porcentajes de 35% – 60% de Plagioclasas cálcica- sódica, 10 %- 20% de cuarzo, 5 – 10% de máficos, 30% - 50% de fragmentos líticos.

1 Muestra es de composición riolítica, con porcentajes de 40% de cuarzo, 25% feldespato potásico, 5% de máficos y 15% de fragmentos líticos.



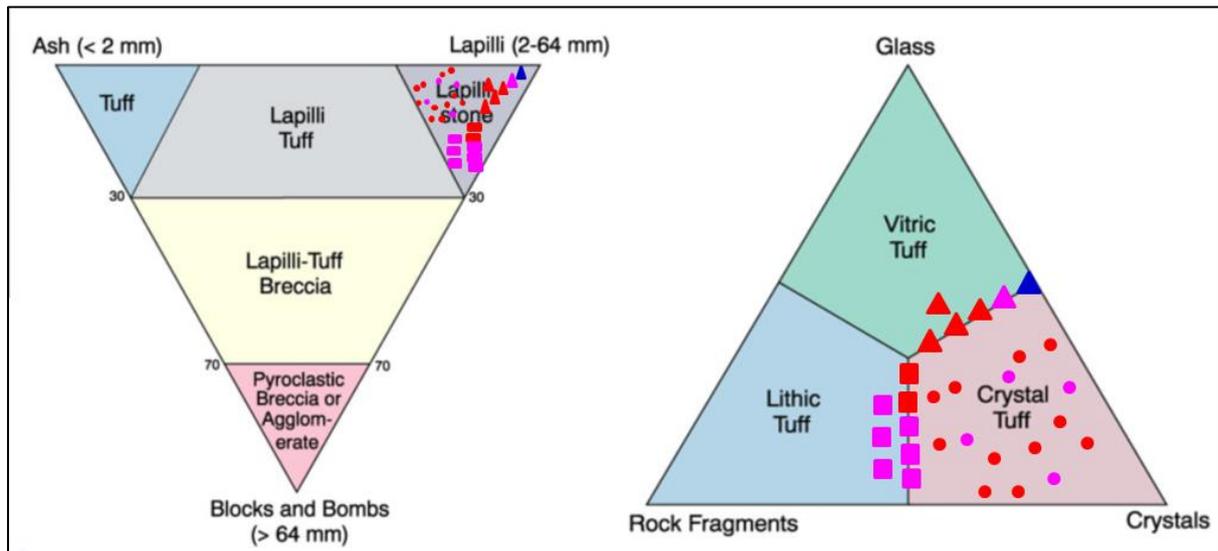
**Figura 15:** Resumen de la petrología de la Fm. Porculla, Cumbemayo

Además se analizó la dimensión de los fragmentos, contenido de líticos, cristales y vidrio, según Schmidt (1981) con lo cual se concluyó:

15 muestras como *tufos de cristales*, corresponde a tufos de matriz fina de composición variable contiene cristales cuarzo y plagioclasas finos y en estado corroído y fenocristales de minerales máficos alineados.

7 muestras como *tufos cristalolíticos*, corresponde a de tufos moderadamente soldados que incluyen fragmentos líticos de tamaño y composición variable y cristales de cuarzo, y fenocristales de minerales máficos alineados.

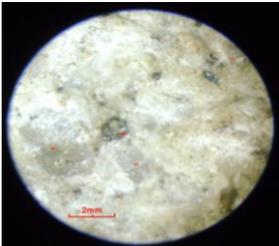
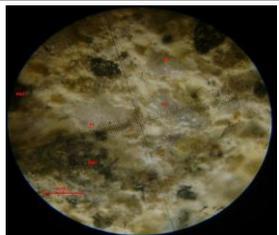
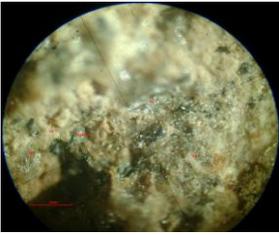
6 muestras como *tufos cristalovítricos*, corresponden a tufos con abundante pasta, ceniza o vidrio volcánico (pómez) de composición riolítica, dacítica y andesítica.



**Figura 16:** Resumen de la petrología de la Fm. Porculla, Cumbemayo

#### 4.1.2 CLASIFICACIÓN MICROSCÓPICA

Para el análisis microscópico se seleccionaron 4 muestras representativas, de las rocas volcánicas de la formación Porculla de los 30 ejemplares de mano: Muestra #1, muestra #4, muestra #6, muestra #18; para la realización de secciones delgadas. Las muestras fueron analizadas con un microscopio petrográfico ZEISS W-PL polarizante (10x) del Departamento de Geología de la Universidad Nacional de Ingeniería, definiendo características petrográficas como textura, mineralogía, estructura y rasgos accesorios en cada lámina.

Código	Muestra de Mano	Microscopio 215x
M-1		
M-4		
M-6		
M-18		

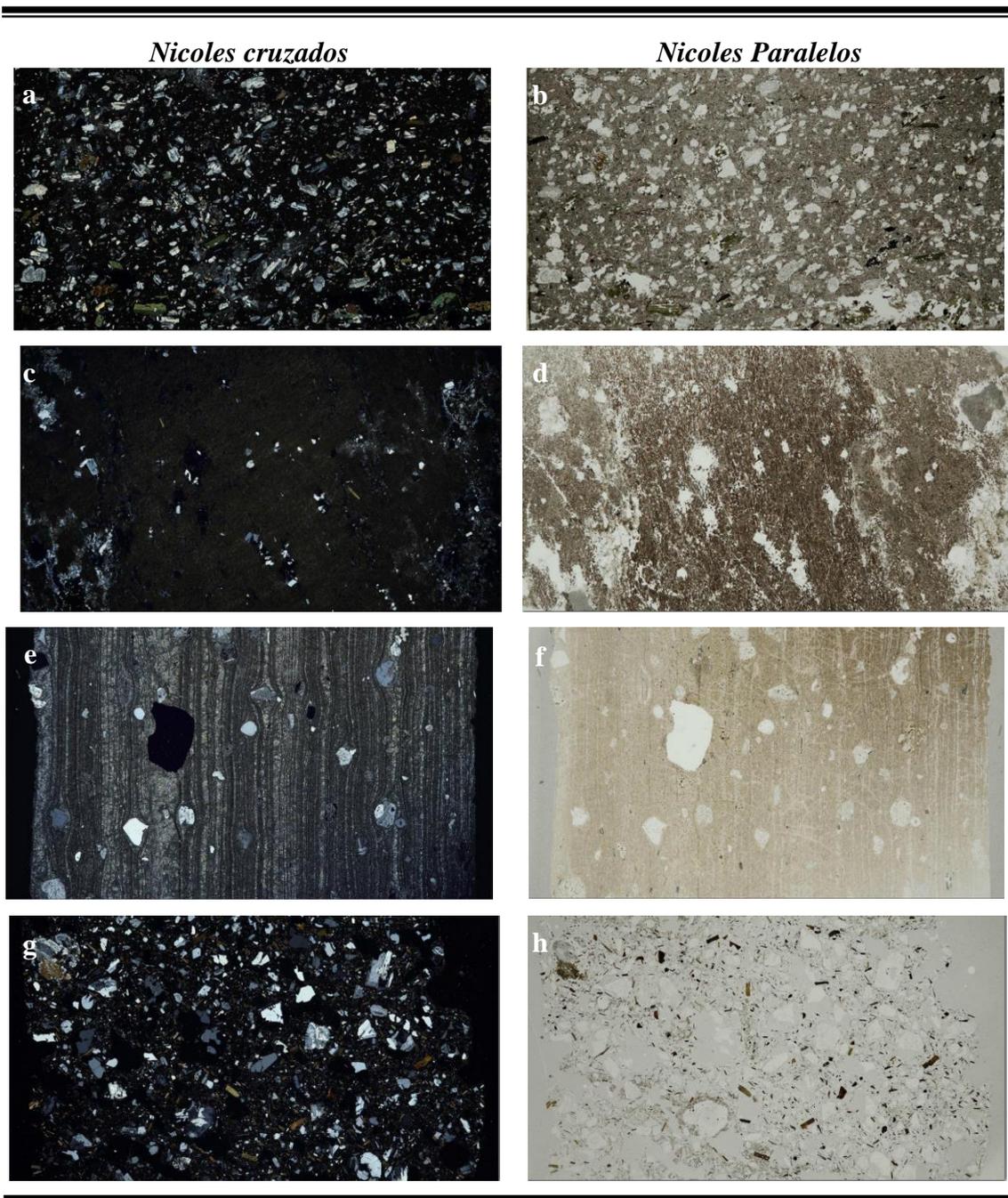
**Tabla 12:** Muestras utilizadas para análisis petrográfico, secciones delgadas.

SECCIONES	MUESTRA 1	MUESTRA 4	MUESTRA 6	MUESTRA 18
<b>Nicoles Cruzados</b>	Se observan fenocristales de plagioclasa, mayoritarios en la lámina, mostrando algunos cristales con maclas polisintéticas. También se pone de manifiesto algún fenocristal de anfíbol con colores de interferencia altos y con un pleocroísmo que varía en tonos verdosos. En este sector se observa además la ligera orientación de los cristales de plagioclasa así como la abundante proporción modal de vidrio.	Se observa fragmentos de cuarzo (subredondeado, rotos) arrastrados por la nube volcánica se depositaron sobre la ceniza volcánica y a su vez se recubren por esta. Al ser un proceso de sedimentación laminar las cenizas se acomodan a la morfología de los cristales de cuarzo y feldespato hasta volver a depositarse de manera horizontal.	Se observan fragmentos de minerales de cuarzo feldespato y biotita inmersos en una matriz completamente formada por vidrio. También se pone de manifiesto una textura fluidal provocada por el propio flujo que generó esta roca.	Se observa abundancia de cristales de cuarzo hipidiomórficos, con colores de interferencia grises, blancos, discriminándose cristales de feldespato alcalino con colores grises. Los fenocristales de plagioclasa presentan la mayoría maclas polisintéticas. La biotita presenta parcialmente orientada con un pleocroísmo de marrón claro a oscuro. La matriz está formada por vidrio, cuarzo, y cristales de biotita.
<b>Nicoles Paralelos</b>	Se observan cristales de biotita tabulares, en tonos oscuros, un fenocristal de biotita con una corona de plagioclasa como transformación por un estado de desequilibrio de la biotita, los anfíboles se observan en tonos verde claro a oscuro, la matriz está constituida por vidrio.	Se observa una textura fluidal, fragmental vítrea de la matriz en tonos marrones y amarillentos.	La textura fluidal y vítrea de la matriz en tonos marrones y amarillentos mejor distinguida, cristales en menor proporción en tonos blanquecinos.	Se observa cristales de feldespato potásico y plagioclasa como agregados y parcialmente alterados. Se observan algunos fenocristales de cuarzo con texturas de reabsorción.
<b>Clasificación</b>	<i>Tufo de cristales Andesítico</i>	<i>Tufo Vítrico Dacítico</i>	<i>Tufo cristalovítrico riolítico</i>	<i>Tufo de cristales dacítico</i>

**Tabla 13:** Descripción de las secciones delgadas.

			MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
<b>Cristales</b>	<i>Plagioclasas</i>	%	30.00	22.00	8.00	2.00
	<i>Clinopiroxenos</i>	%	0.00	0.00	0.00	0.00
	<i>Ortopiroxenos</i>	%	2.00	1.00	0.00	0.00
	<i>Biotitas</i>	%	3.00	3.00	1.00	3.00
	<i>Minerales Opacos</i>	%	0.00	0.00	0.00	0.00
	<i>Olivino</i>	%	0.00	0.00	0.00	0.00
	<i>Cuarzo primario</i>	%	0.00	7.00	10.00	5.00
	<i>Anfiboles</i>	%	9.00	4.00	0.00	0.00
<b>Matriz</b>	<i>Plagioclasas</i>	%	30.00	18.00	4.00	0.00
	<i>Vidrio</i>	%	25.00	25.00	38.00	90.00
	<i>Piroxenos</i>	%	0.00	0.00	0.00	0.00
	<i>Minerales Opacos</i>	%	0.00	0.00	0.00	0.00
	<i>Feldspatos potásicos</i>	%	0.00	10.00	30.00	0.00
	<i>Cuarzo primario</i>	%	1.00	10.00	9.00	0.00
<b>Texturas</b>			Porfiritica a glomeropoforiritica Hipocristalina	Porfiritica a glomeropoforiritica Hipocristalina	Fragmentaria, Vítrea fluidal	Afanítica, Fluidas, Fragmentaria, Holocristalina

**Tabla 14:** Composición modal mineralógica de las secciones delgadas.



**Foto 10:** Microfotografías (10mm) de los 4 tipos de rocas presentes en el área de estudio. Muestra 1 (a-b) Muestra 4 (c-d) Muestra 6 (e-f) Muestra 18 (g-h).

## 4.2 GEOQUÍMICA

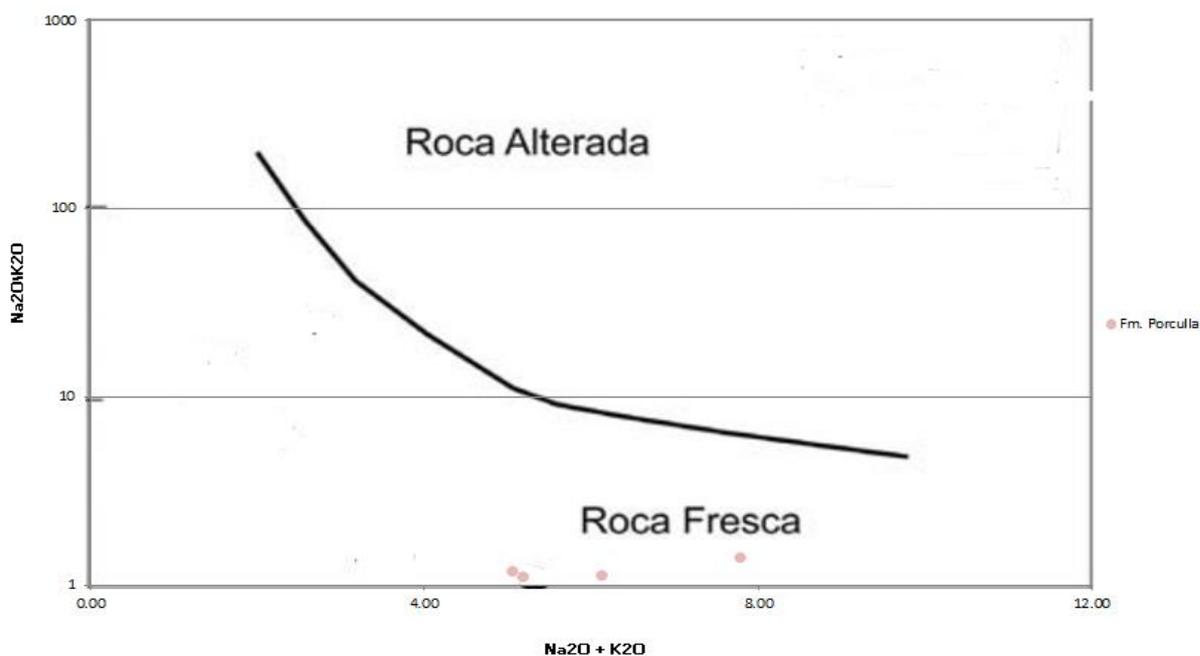
Se seleccionaron 4 muestras de las que se realizó las secciones delgadas y se analizó por roca total mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) para la determinación de óxidos de elementos principales en una muestra de roca:

SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Los gráficos se calcularon normalizados al 100%

OXIDO (%)	MUESTRA 1	MUESTRA 4	MUESTRA 6	MUESTRA 18
SiO <sub>2</sub>	65.071	65.392	71.009	61.843
TiO <sub>2</sub>	0.501	0.521	0.241	0.641
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.199	17.124	16.565	17.917
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.249	5.047	1.443	6.229
FeO	0.000	0.000	0.000	0.000
MnO	0.110	0.150	0.030	0.080
MgO	1.603	1.021	0.241	1.442
CaO	4.898	5.498	2.575	5.468
Na <sub>2</sub> O	2.725	2.734	4.550	3.245
K <sub>2</sub> O	2.484	2.333	3.267	2.904
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.160	0.180	0.080	0.230

**Tabla 15:** Análisis químico de roca total de elementos mayores de rocas volcánicas de la zona de Cumbemayo por medio de ICP-MS.

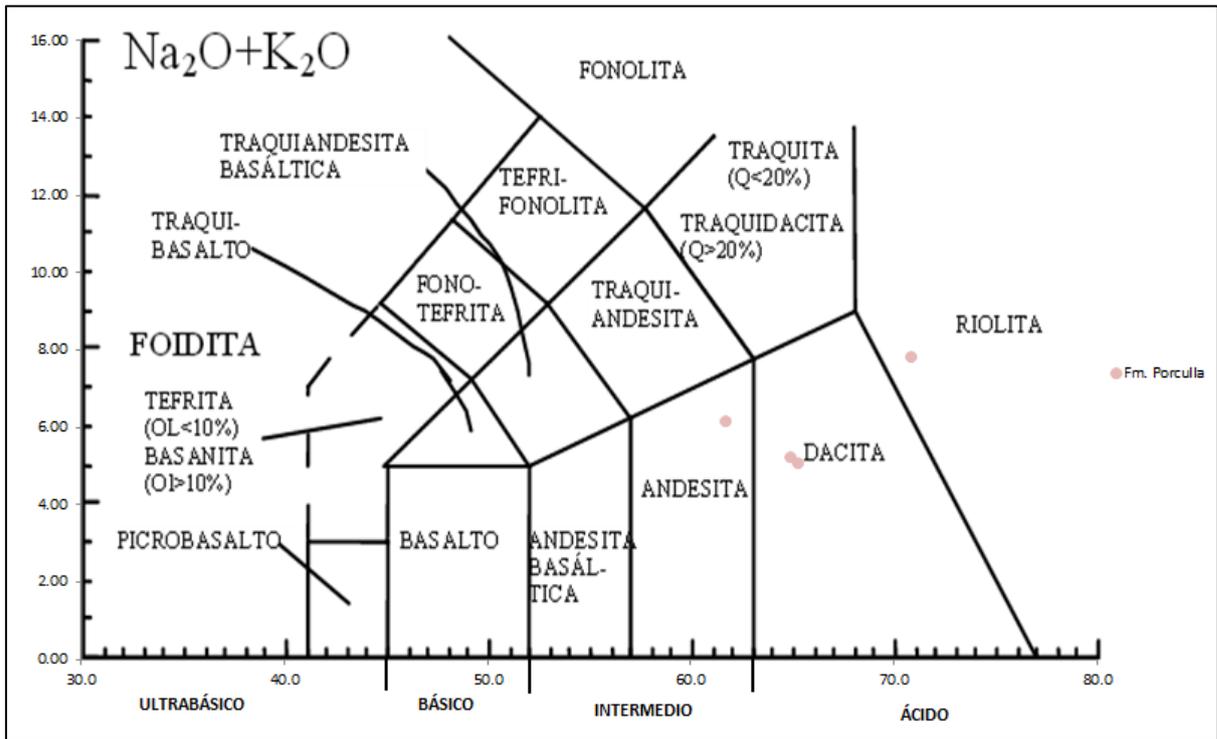
Para descartar la posibilidad de que las muestras seleccionadas para análisis químicos se encontraran alteradas, se utilizó el diagrama propuesto por Miyashiro (1974), para observar el grado de alteración, todas las muestras de campo recolectadas son rocas frescas.



**Figura 17:** Diagrama Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O vs Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O. Miyashiro (1974) para separar rocas frescas de las alteradas.

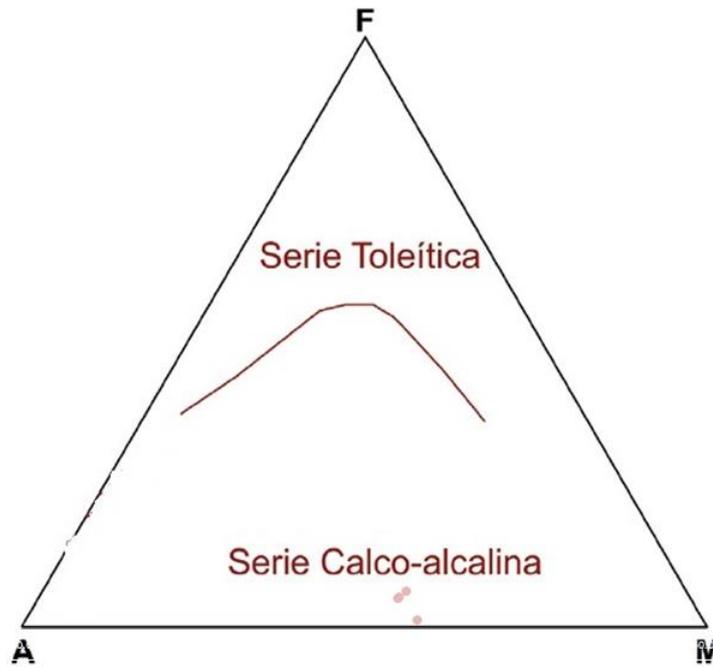
#### 4.2.1 CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA

Las rocas volcánicas son clasificadas químicamente basados en el contenido total de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) versus el contenido total de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) (Le Maitre et al 2002), confirmando así, la caracterización petrográfica microscópica y macroscópica de las rocas presentes en el área de estudio, con 2 muestras de composición dacítica, 1 muestra de composición andesítica y 1 muestra de composición riolítica.

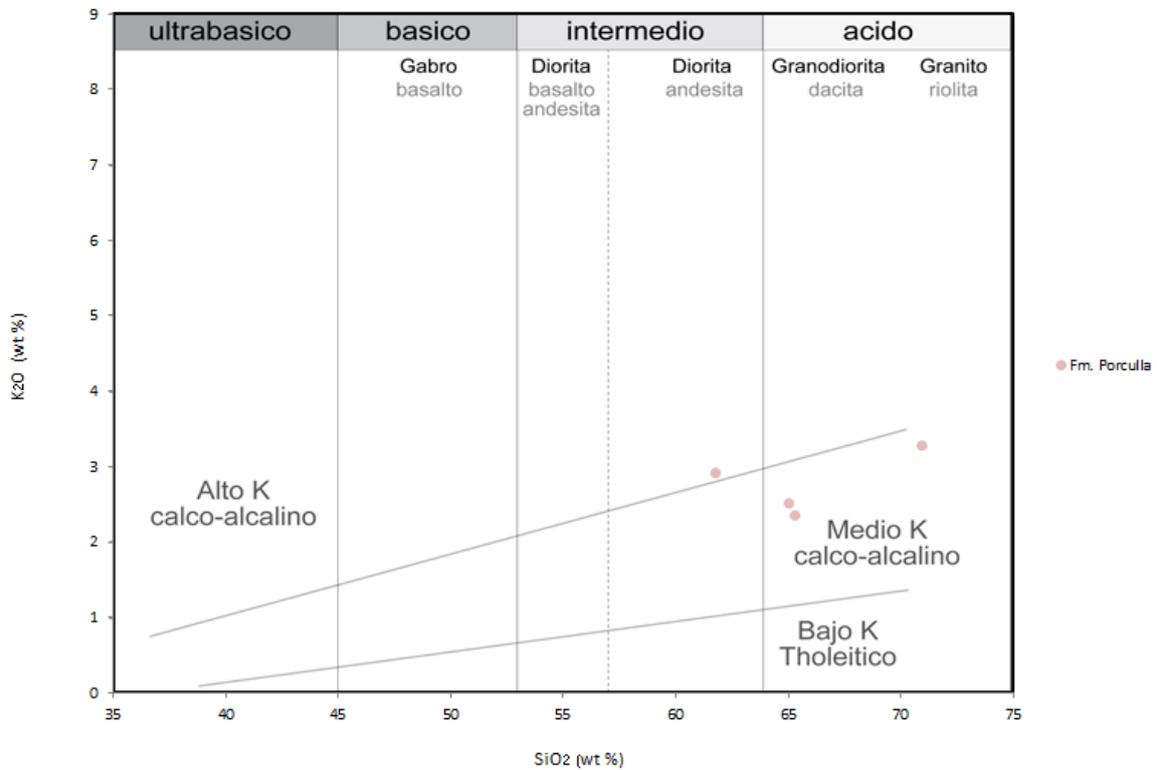


**Figura 18:** Clasificación química de las rocas ígneas volcánicas. Diagrama TAS -Total Alkalies vs. Silica- (Le Maitre et al 2002).

En el diagrama AFM propuesto por Irvine and Baragar (1971), evidencia rocas con carácter calcoalcalino, con un progresivo enriquecimiento en álcalis, en un medio potásico, lo que indica una progresiva diferenciación de la cámara magmática.



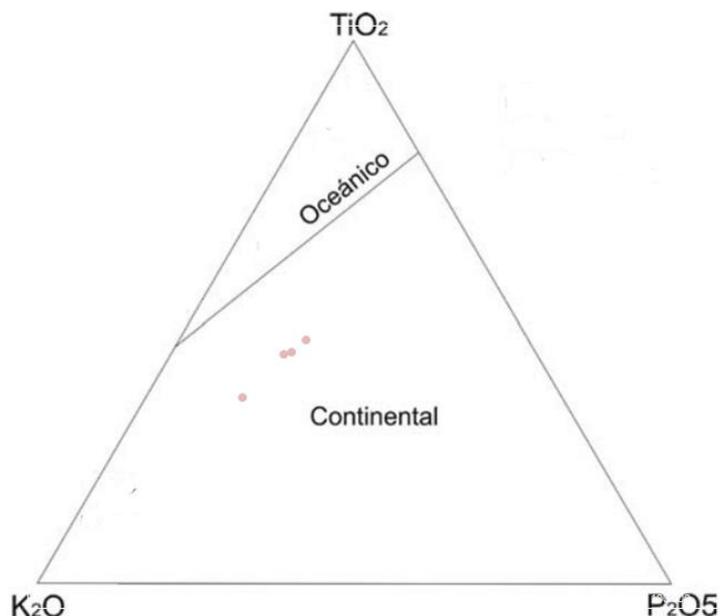
**Figura 19:** Diagrama de AFM propuesto por Irvine and Baragar (1971)



**Figura 20:** Diagrama K<sub>2</sub>O vs. SiO<sub>2</sub> (en peso%) calco-alcalina alta en potasio, calco-alcalina y baja en potasio (Wilson 1991).

#### 4.2.2 DISCRIMINACIÓN TECTÓNICA

Para discriminar si las rocas se generaron en un ambiente oceánico o continental se utiliza el diagrama de Pearce et al. (1975), observándose que el ambiente tectónico de las rocas intermedias a ácidas esta asociado a un ambiente continental, de margen activo.



**Figura 21:** Diagrama propuesto por Pearce et al. (1975) para discriminar entre ambientes continentales y oceánicos.

En el diagramas de Pearce et al. (1984), se observa una afinidad con magmatismo continental, tanto para las rocas ácidas como para las intermedias, lo que nos indica que el magma que le dio origen es de naturaleza del tipo calcoalcalino con contenido medio a alto en K, lo que indicaría que procede de un margen activo, un ambiente de régimen compresivo relacionado a un proceso de subducción.

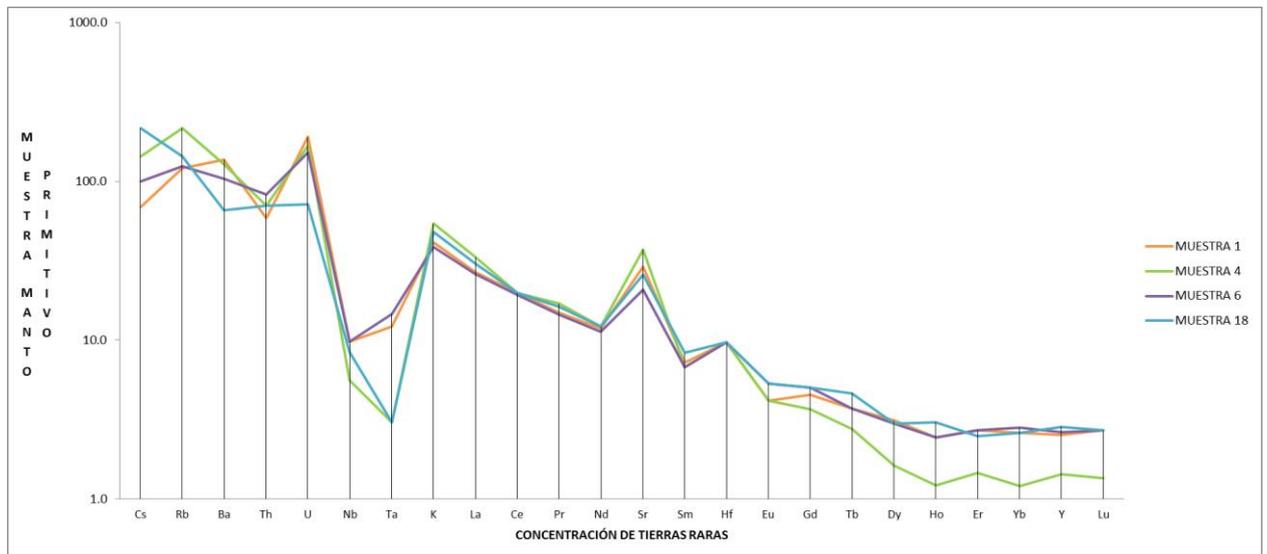
#### 4.2.3 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA Y TIERRAS RARAS

Las muestras descritas anteriormente, fueron analizadas por elementos traza y tierras raras, e interpretadas en diagramas de multielementos tipo araña, los elementos fueron ordenados de acuerdo a un material de referencia que es el manto primitivo (Sun y McDonough 1989).

Las muestras de rocas tienen un espectro con enriquecimiento en elementos móviles, con anomalías negativas en Ta y Nb, lo cual está relacionado con procesos de subducción.

Tierras Raras (%)	MUESTRA 1	MUESTRA 4	MUESTRA 6	MUESTRA 18
Cs	68.75	143.75	100.00	215.63
Rb	120.94	216.54	124.88	143.94
Ba	137.22	127.63	104.16	65.82
Th	58.82	70.59	82.35	70.59
U	190.48	166.67	152.38	71.43
Nb	9.82	5.61	9.82	8.42
Ta	12.20	3.05	14.63	3.05
K	41.25	54.24	38.74	48.22
La	26.93	33.48	26.20	30.57
Ce	19.83	19.83	19.26	19.83
Pr	14.86	17.03	14.49	16.30
Nd	11.82	12.19	11.30	12.19
Sr	29.00	37.35	20.81	25.88
Sm	7.21	6.76	6.76	8.33
Hf	9.71	9.71	9.71	9.71
Eu	4.17	4.17	5.36	5.36
Gd	4.53	3.69	5.03	5.03
Tb	3.70	2.78	3.70	4.63
Dy	3.12	1.63	2.99	2.99
Ho	2.44	1.22	2.44	3.05
Er	2.71	1.46	2.71	2.50
Yb	2.62	1.21	2.82	2.62
Y	2.53	1.43	2.64	2.86
Lu	2.70	1.35	2.70	2.70

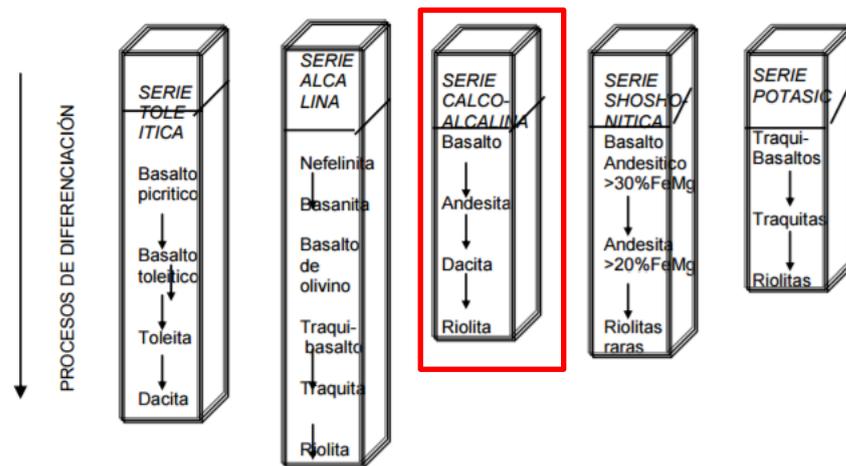
**Tabla 16:** Análisis químico de tierras raras, por medio de ICP-MS.



**Figura 22:** Diagrama tipo araña de tierras raras (Sun y McDonought, 1989)

El análisis de los diferentes aspectos relacionados a la petrología, descripción macroscópica, microscópica y geoquímica de las muestras, muestra un claro proceso de

diferenciación magmática, el cual marcara las características de la evolución eruptiva de la Fm. Porculla en el área de estudio.



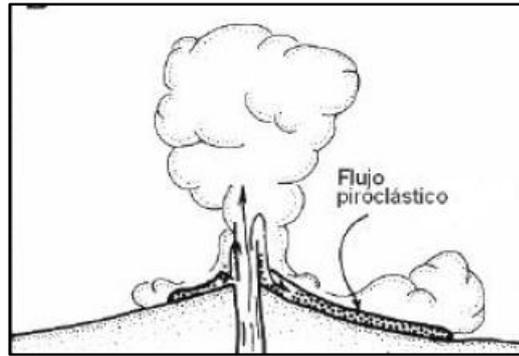
**Figura 23:** Series magmáticas, proceso de diferenciación del area de estudio (Petrología y Petrografía Ignea, Universidad Autonoma de Chiguagua, 2011)

### 4.3 EVOLUCIÓN ERUPTIVA

#### 4.3.1 PROCESOS DE FORMACIÓN

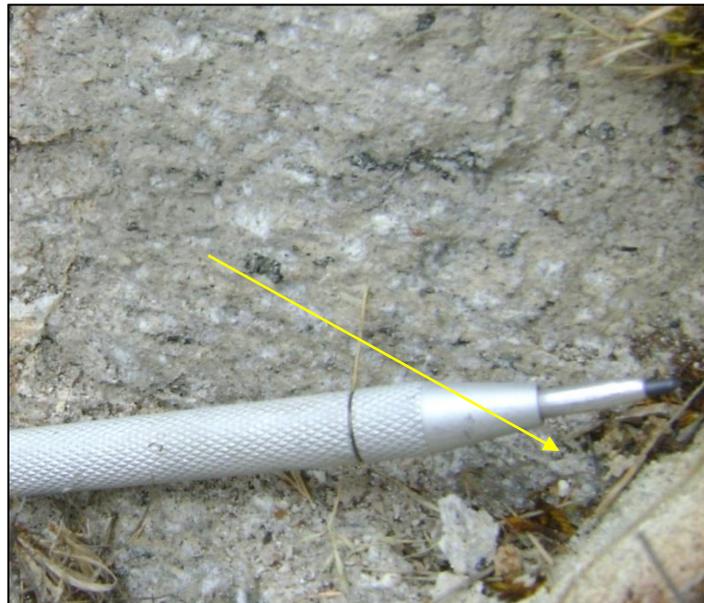
El estudio detallado de la petrografía y geoquímica define los tipos de rocas presentes, la descripción y reconociendo de campo de diferentes facies que juntas conforman la Fm. Porculla, nos indica que son rocas formadas por flujos de alta densidad, provenientes del centro eruptivo más cercano, ubicado al NO, caracterizado por su violenta explosión que es evidenciado por fragmentos líticos mayores a 30 cm encontrados en la *Facie 2*, tipificándolo como un vulcanismo tipo Pliniano, por ende los flujos de alta densidad como los generan las rocas de la Fm, Porculla.

Las rocas presentes en el área de estudio se tipifican genéticamente como depósitos de flujo piroclásticos, formados por el colapso de la columna eruptiva como resultado de la disminución de la violencia de la fragmentación, la parte inferior de la columna eruptiva, que es la porción más densa de la misma, pierde sustentación y colapsa. Esto es identificado por su la presencia de abundante de pómez, líticos en gradación inversa, y por el gran volumen que presentan observada en toda la columna estratigráfica.



**Figura 24:** Colapso de columna eruptiva.

Los flujos piroclásticos ricos en pómez y fragmentos líticos, además de cristales y pasta son genéticamente denominadas Ignimbritas, y presentan una lineación N 325° – N 335°, producto que la cristalización de la roca tuvo lugar en un magma o flujo en movimiento lo cual permitió el reacomodo de los minerales máficos con tendencia en dicha dirección. Estos movimientos son evidenciados en estructuras de flujos condicionadas por la paleotopografía en el momento de la depositación hoy conocidos como paleoflujos.



**Foto 11:** Lineación de minerales máficos N 325° – N 335°

Las condiciones físicas que prevalecieron durante la cristalización de la lava que dieron origen a las rocas de la Fm. Porculla, fueron de alta temperatura y presión por efecto alto contenido en volátiles tipifican al evento como un volcanismo explosivo tipo pliniano.

Los flujos de densidad son flujos horizontales con estratificación interna, la cual se forma por diferencias de densidad debido a la variación en la proporción de gases (Simpson, 1997). En consecuencia los flujos están internamente estratificados, con las partes más densas en la base del mismo.



**Foto 12:** Paleoflujos.

Son rocas con alto contenido de fragmentos líticos, poméz y cristales, como las descritas en el Capítulo IV Petrología volcánica, formadas por depósitos de flujo piroclástico poseen un nombre de connotación genética denominadas Ignimbritas de composición andesítica como la primera facie y dácitica como segunda facie.

Es frecuente que la erupción de una Ignimbrita sea precedida por depósitos de caída originados en una fase pliniana precursora, lo que es evidenciado en la *Facie 3* de la Fm. Porculla.

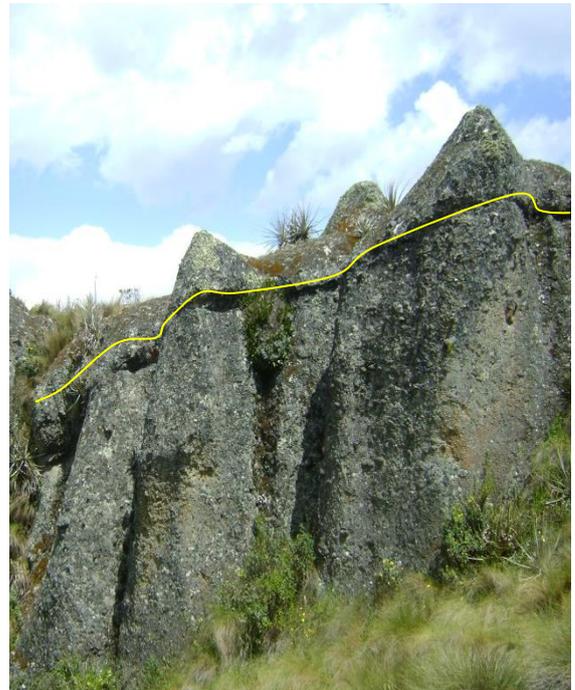
### 4.3.2 SECUENCIA ERUPTIVA

El área de estudio comprende 2 Km aproximadamente, las rocas volcánicas se depositaron en la paleodepresión formada por la interacción de las estructuras geológicas antes mencionadas. Esta formación se caracteriza por presentar flujos piroclásticos de composición acida a intermedia, además de estar caracterizados por disyunción columnar.

Se identificaron, 3 facies las cuales se describen desde la más joven a la más antigua:

#### *Facie 3:*

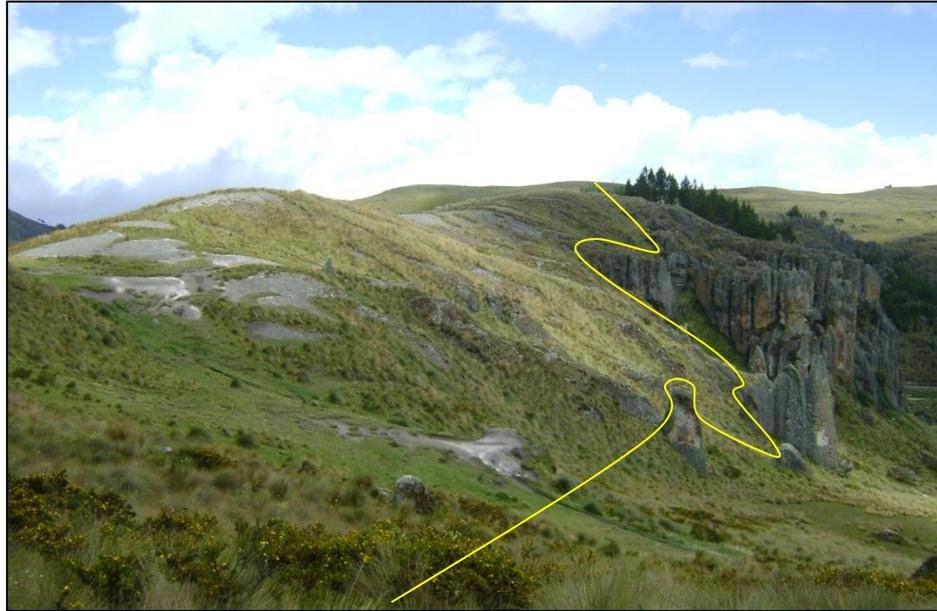
Litológicamente formado por de composición ácida, entre riolítica a dacítica, mostrando una estratificación paralela de espesor constante. Genéticamente constituye un depósito piroclástico de caída, formado después de que el material ha sido eyectado violentamente desde el foco volcánico hacia la atmosfera, el cual alcanza gran altura formando una pluma eruptiva, cuyo material cae en forma homogénea siguiendo la topografía existente, sobre dos facies anteriormente depositadas.



**Foto 13:** Depósitos de Caída.

#### *Facie 2*

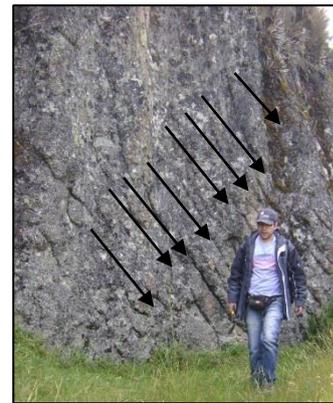
Litológicamente formado por tufos cristalinos y cristalolíticos de composición ácida, dacítica. Genéticamente constituye un depósito de flujo piroclástico, con estratificación interna los cuales fueron observados en el área de estudio reconocidos como los paleoflujos formados por diferentes episodios de depositación. Este caracterizado por presentar fragmentos líticos de gran tamaño y de pómez con gradación inversa hacia la zona superior esto debido a su naturaleza explosiva por el alto contenido en volátiles, a diferencia de la facie 1 que es de magma intermedio. Además de presentar grietas por enfriamiento conocida como disyunción columnar.



**Foto 14:** Depósitos de flujo piroclástico de composición dacítica.



**Foto 15:** Gradación inversa de fragmentos líticos.



**Foto 16:** Dirección de Paleoflujos N 335°

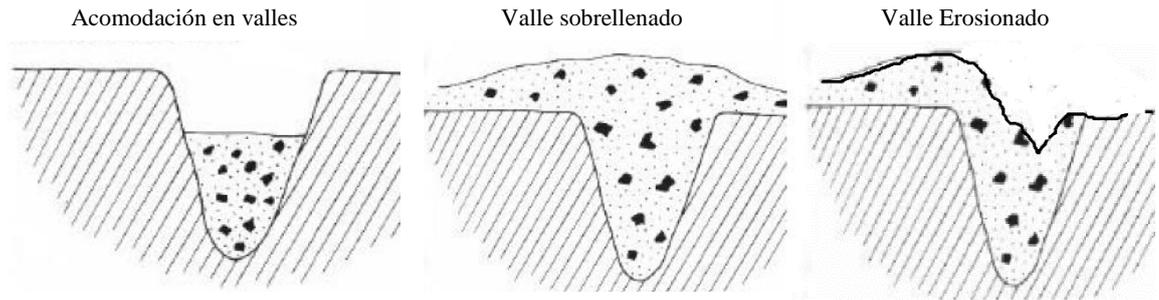
*Facie 1*

Litológicamente formado por tufos cristalinos de composición intermedia, andesítica. Genéticamente constituye un depósito de flujo piroclástico, con estratificación interna los cuales fueron observados en el área de estudio reconocidos como los paleoflujos formados por diferentes episodios de depositación. Este caracterizado por presentar fragmentos líticos de mediano tamaño en la zona superior y de pómez con gradación inversa y en la base se ausentan. Además de presentar gritas por enfriamiento conocidas como disyunción columnar.



**Foto 17:** Depósito de flujo piroclástico andesítica, menor proporción de litoclastos.

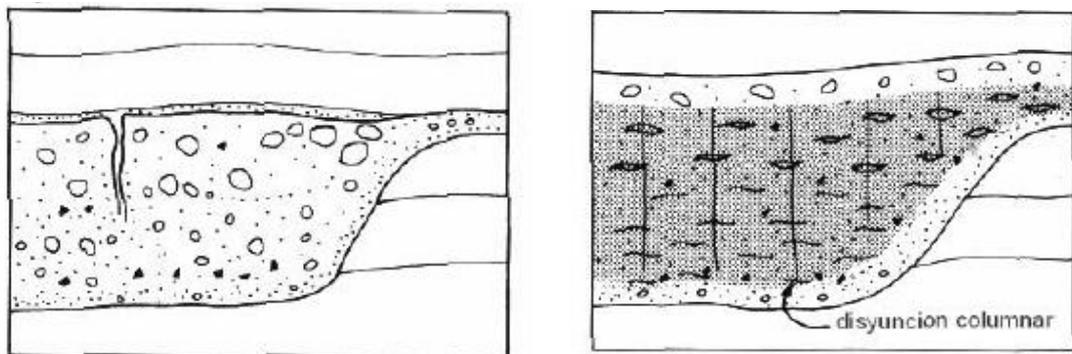
Estos flujos piroclásticos se emplazaron en zonas favorables de baja pendiente que constituyen la paleodepresión de Cumbemayo, controlada estructuralmente por las estructuras geológicas: Sinclinal y falla inversa que forman un valle.



**Figura 25:** Esquema evolutivo de la depositación de rocas en paleodepresión Cumbemayo.

Fuente: Elaboración Propia

Esta depresión fue rellenada por las rocas de la Fm. Porculla en sucesivos eventos que son evidenciados por los diferentes paleoflujos las cuales sufren inicialmente un aumento en la temperatura de corta duración generando fracturas por dilatación fracturas curvadas, y posteriormente genera un proceso de contracción por la disminución progresiva de la temperatura, caracterizadas por un fracturamiento en columna (cuatro lados) conocido como disyunción columnar.



Relleno de las rocas volcánicas en la paleodepresión, e inicio del enfriamiento

Formación de fracturas por contracción térmica, conocido como disyunción

**Figura 26:** Esquema evolutivo de la disyunción columnar.

### **4.3.3 IGNIMBRITA**

#### **4.3.3.1 TEXTURA**

##### **Características Texturales Mayores**

Las Ignimbritas de la Fm. Porculla presentan una categoría textural volcanoclástica caracterizadas por la presencia de fragmentos líticos volcánicos con variación en forma y tamaño, cristales de euhedrales a subhedrales, envueltos en pasta, como resultado de la violenta actividad que los origina, flujos piroclásticos.

##### **Características Texturales Menores**

Estas texturas se identifican a nivel de muestra de mano, rocas descritas en el capítulo de petrología volcánica.

De las 30 muestra analizadas presentan texturas de faneríticas a afanítica ya que petrográficamente corresponde a tufos de cristales, cristalolíticos y cristalovítricos, como resultado la fragmentación del magma, por la violenta y rápida explosión del centro volcánico.

#### 4.3.3.2 ESTRUCTURA DE LAS IGIMBRITAS DE LA FM. PORCULLA

Se identificó 3 unidades diferentes en génesis y composición mineralógica, textural y en tamaño de fragmentos.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	COMPOSICIÓN	DESCRIPCIÓN	PROCESO DE FORMACIÓN
	RIOLÍTICA	TCR y TCV	Depósitos de caída
	DACÍTICA	TCR y TCL	Depósito de Flujo Piroclástico.
	ANDESÍTICA	TCR y TCL	Depósitos de Flujo Piroclástico.

**Figura 27:** Estructura de la Ignimbrita de la Fm. Porculla, Cumbemayo; Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.3.3 TIPIFICACIÓN

Son ignimbritas tipo **LARI** son poco potentes (100m, en el área de estudio), tienen amplia extensión superficial y se adaptan a la topografía emplazándose en zonas deprimidas, como la paleodepresión de Cumbemayo.

Las Ignimbritas de Cumbemayo presentan una baja relación de aspecto ya que son depósitos relativamente delgados y extensos, formados a partir de flujos de alta velocidad. Se reconocen en rellenos de valles.

#### **4.3.3.4 VARIACIÓN TEXTURAL**

Al estar influenciados por la topografía, no siempre las partes más delgadas son las más distales, como en el caso de la *Facie 2*, la presencia de litoclastos disminuye con la distancia.

#### **4.3.3.5 ZONACIÓN COMPOSICIONAL**

La variación composicional de las Ignimbritas refleja zonación composicional o diferenciación magmática en la cámara del Centro Volcánico Rumiorco, gradando según lo normal de una composición intermedia (Andesítica- *Facie 1*) a una composición ácida (Dacítica- Riolítica – *Facie 2* y *Facie 3*).

### **4.3.4 CENTRO ERUPTIVO**

#### **4.3.4.1 Rumiorco**

Comprende cuatro eventos eruptivos:

- 1) Depósitos de flujos de lava andesítica, Sobre estas lavas yacen depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas, gris claros; intercalados con depósitos de flujos de ceniza gris blanquecinos, y depósitos de lahares.
- 2) Depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, dacíticos, gris claros; con fragmentos líticos monomíticos, porfiríticos, de tamaños centimétricos a decimétricos.
- 3) Depósitos de flujos piroclásticos de pómez y cenizas riolíticos, gris blanquecinos a beige.

4) Depósitos de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, gris verdosos, con fragmentos líticos juveniles de textura porfirítica; los fragmentos son de tamaño centimétrico a decimétrico. Se intercalan algunos depósitos de oleadas piroclásticas. (Ingemmet, 2010)

Centro volcánico	Unidad	Edad (M.a)
V. Yanacocha	Ya/4	8.4±0.04 (Longo, 2005)
	V. Yanacocha	12.6±0.05 (Longo, 2005)
	S. San José	
	S. Atazaico	
	S. Frailones	
	S. Tual Purhuay	
V. Rumiorco		11.4±0.15 (INGEMMET)

**Tabla 17:** Centros volcánicos presentes en Cajamarca, Centro volcánico Rumiorco, resaltado por ser posible fuente de emisión. Fuente: Variaciones Geoquímicas y Clasificación por Arcos Magmáticos de las Rocas Volcánicas del “Grupo Calipuy”: Cajamarca, La Libertad y Ancash; Lisenia Chavez et al, 2010.



#### **4.4 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

La investigación realizada nos permitió concluir que la hipótesis inicialmente planteada es correcta parcialmente, ya que con los estudios petrográficos y geoquímicos se detalló el tipo de roca presente en el área de estudio así como la serie magmática, y zona tectónica a la que pertenecen, así como el trabajo de campo detalló el orden temporal de depositación de las secuencias volcánicas de la Formación Porculla en la zona de Cumbemayo.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Los estudios macroscópicos de las 30 muestras de rocas de la Fm. Porculla, utilizando el diagrama de Streckeisen y Schmidt concluyeron en: 19 muestras de composición andesítica, 10 muestras de composición dacítica, y 1 muestra de composición riolítica; 15 tufos de cristales, 7 tufos cristalolíticos y 6 tufos cristalovítricos.
- La clasificación microscópica mediante secciones delgadas de 4 muestras de los 30 ejemplares confirman la clasificación macroscópica.
- La clasificación geoquímica mediante el diagrama de TAS concluyo: 2 muestras de composición dacítica, 1 andesítica y 1 riolítica, perteneciente a una serie magmática Calcoalcalina, asociadas a un ambiente continental, de margen activo, relacionado a procesos de subducción.
- La evolución eruptiva se identificó mediante 3 facies piroclásticas, depositadas en una sucesión de eventos, cuyo origen es un flujo de alta temperatura, generada por un vulcanismo explosivo tipo pliniano, ocupando 2.5 km de extensión en el área de estudio con 100m de espesor ricos en pómez, fragmentos líticos con gradación inversa y cristales, conocidos genéticamente como Ignimbritas caracterizadas por presentar disyunción columnar.
- Las estructuras a escala de campo e internas de cristalización de la roca muestran una dirección en general al NO, de la posible fuente de emisión denominado Centro Volcánico Rumiorco (INGEMMET – Navarro, 2012) activo entre el Oligoceno-Mioceno que sella su esta actividad volcánica con un domo de composición granodiorítica - andesítica (INGEMMET – Navarro, 2012) a finales del Mioceno.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar un mayor número de análisis geoquímicos para tener un mayor respaldo en la definición composicional química presente en la zona de estudio.
- Realizar un mayor número de secciones delgadas para tener mayor detalle del contenido mineralógico que respalde la información de la investigación de los diferentes tipos de roca presentes en el área de estudio.
- Realizar un muestro de roca sistemático para completar una mayor distribución de muestras de mano en el área de estudio.
- Realizar un cartografiado y muestreo del centro volcánico Rumiordo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Baragar, W. y Irvine, T.** 1971. Guía para la clasificación química de las rocas volcánicas. Canadá.
- **Calleja, L.** 2000. Clasificación de Rocas Ígneas, Universidad de Oviedo, España.
- **Cammera, A.** 2012. Calidad del agua en relación con las propiedades del geo-ecosistema, un estudio de caso en un área de Jalca cerca de Cajamarca.
- **Cas. R. y Wrigth. J.** 1988. Sucesión Volcánica: Moderna y antigua. Unwin Hyman, Londres.
- **Castro, A.** 1989. Petrografía Básica. Paraninfo. Madrid.
- **Chávez, L. et. al.** 2010. Variaciones Geoquímicas y Clasificación por Arcos Magmáticos de las rocas Volcánicas del “Grupo Calipuy”: Cajamarca, La Libertad y Ancash, INGEMMET
- **Clive, P.** 2004. Volcanes, II Ed. Oxford University, Inglaterra.
- **Dana, H.** 1959. Manual de Mineralogía, 2da Edición.
- **Dávila, J.** 2011. Diccionario Geológico.
- **Druitt, T.H.** 1998. Corrientes de densidad piroclástica, Sociedad geológica, Londres, Publicaciones Especiales
- **Echevarría, L.** 2002. Mapeo en terrenos Volcánicos.
- **Fisher, R.V.** 1961: Clasificación propuesta de sedimentos y rocas volcánicas. Geol. Soc. Amer. Bull. 72: 1409-1414.
- **Gómez, V.** 2011. Estudio petrográfico de unidades volcánicas, México.

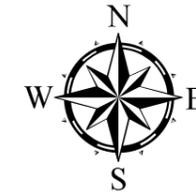
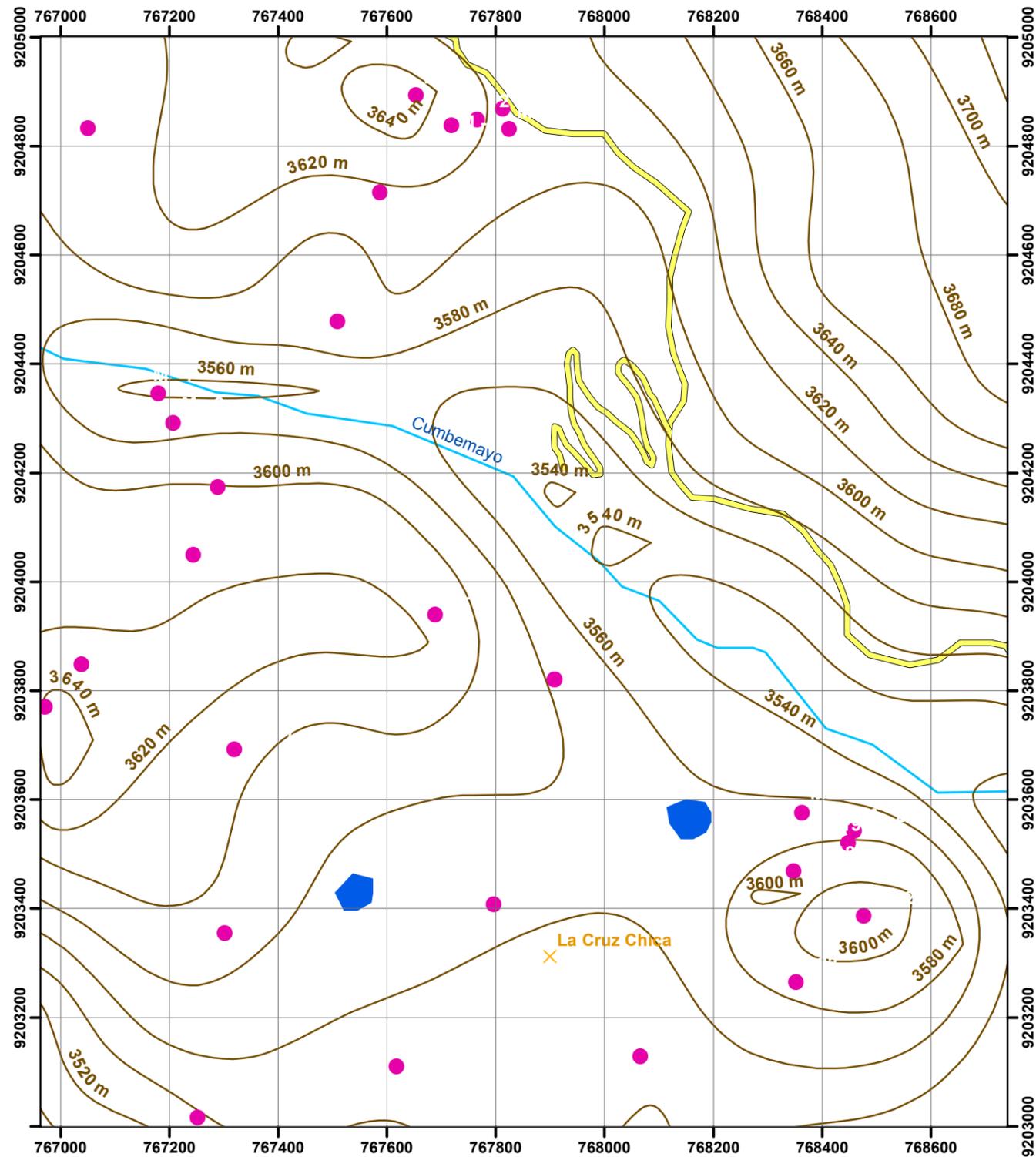
- **Huamán, L.** 2001. Metodología de la investigación: La tesis profesional, Arequipa.
- **Huang, W.** 1991. Petrología.
- **Le Maitre, R. et. al.** 2002. Rocas ígneas: Clasificación y glosario de términos, Universidad de Cambridge.
- **Lleras, R.** 1914. Lecciones de Petrografía, Universidad Nacional de Bogotá.
- **Longo, T.** 2005. Evolución del vulcanismo y la actividad hidrotermal en el distrito minero Yanacocha, Norte del Perú.
- **López, L.** 2010. Geoquímica de Elementos Traza.
- **Mcphie J. et. al,** 1993. Texturas Volcánicas.
- **Miyashiro. A** 1974. Series de rocas volcánicas y su configuración tectónica.
- **Navarro, P. et. al.** 2010. Boletín N° 28 – Serie D. Geología y Metalogenia del Grupo Calipuy (Volcanismo Cenozoico) Segmento Santiago de Chuco, Norte del Perú, INGEMMET
- **Navarro, P.** 2012. Centros Volcánicos Oligo-Miocénicos (Grupo Calipuy) en la Zona Sur de Cajamarca – INGEMMET.
- **Navarro, P. et. al.** 2014. Nuevas dataciones en el segmento sur de Cajamarca, INGEMMET.
- **Navarro, P. et. al.** 2012. Nuevos datos sobre el Volcanismo en el Norte del Perú, Grupo Calipuy, INGEMMET.
- **Navarro, P. et. al.** 2009 Periodos Eruptivos del Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en la Cordillera Occidental Del Norte Del Perú, INGEMMET.

- **Pearce, J., Gorman, B. and Birkett, T.** 1975. Diagrama de  $TiO_2 - K_2O - P_2O_5$ ; Un método de discriminación entre basaltos oceánicos y no oceánicos.
- **Quispe, Z. et. al.** 2011. Análisis Estructural y su relación con los intrusivo Miocénicos, Zona de Urubamba y alrededores. Cajamarca.
- **Raith, M. et. al.** 2012. Guía para la Microscopía de Minerales en Lámina Delgada, Universidad de Bonn, Alemania.
- **Rivera, I. et. al.** 2007. Características Metalogénicas de los Yacimientos asociados al Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en el Norte del Perú, Región Cajamarca, INGEMMET.
- **Sarks. y Walker,** 1973. Estudios en Vulcanología, Londres.
- **Simpson,** 1997. Edificios volcánicos y reservorios magmáticos superficiales, Argentina.
- **Sun, S., y McDonough, W.** 1989. Química e isótopos sistemáticos de basaltos oceánicos: implicaciones para la composición y procesos del manto. Geol. Soc. London.
- **Universidad autónoma de Chiguagua,** 2011, Petrología y petrografía ígnea. México.
- **Universidad de Castilla,** 2006. Mecánica de los diagramas ternarios: Aplicación en el diagrama de clasificación de las rocas ígneas de Streckeisen, España.
- **Walker, G.** 1983. Tipos de Ignimbritas, Diario de vulcanología y recursos geotérmicos.
- **Walker, G. y Sparkz R.** 1980, Erupciones volcánicas explosivas, Londres.
- **Wilson, M.** 1991. Petrogénesis Ignea. Harper Collins Academic.
- **Winter, J.** 2001. Igneous and Metamorphic Petrology, Cap. 3.
- **Williams, H. y McBirney, A.** 1979. Vulcanología, California.

## **ANEXOS**



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>	
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	
	<i>Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica</i>	
	<b>TESIS :</b>	CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LA FORMACIÓN PORCULLA (GRUPO CALIPUY), CUMBEMAYO, CAJAMARCA
	<b>PLANO :</b>	PLANO DE UBICACIÓN
<b>ASESOR :</b>	Ing. Zenón Quispe Mamani	<b>PLANO N° 1</b>
<b>TESISTA:</b>	Jhenyfer Jane, Spelucín Estela	
<b>FECHA :</b>	Octubre, 2016	<b>ESCALA : S / E</b>



### SIMBOLOGÍA

-  Curvas de Nivel
-  Drenaje
-  Lagunas
-  Vias
-  Cerros
-  Puntos de Muestreo

SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 84  
ZONA : 17 S

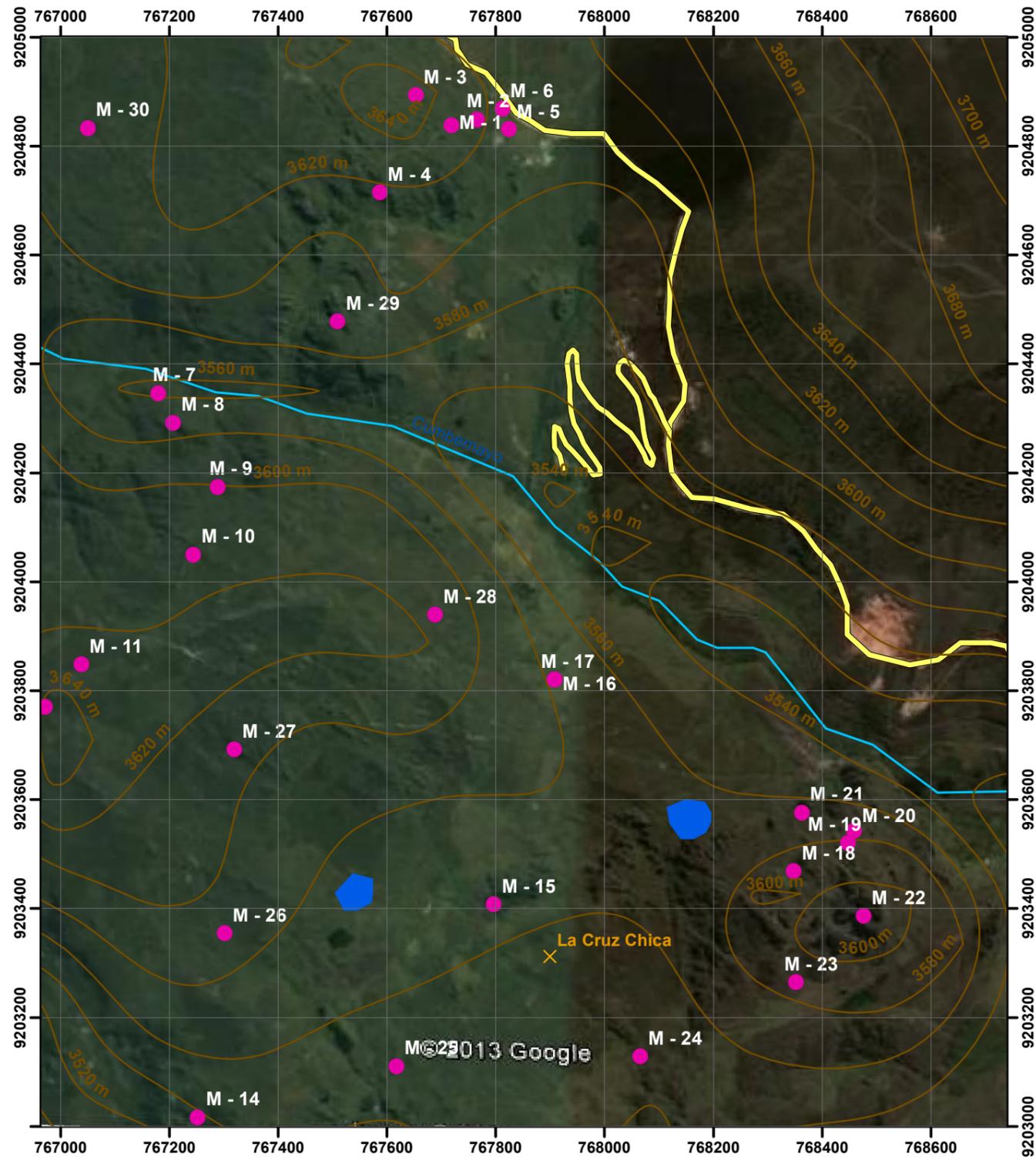


### UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

TESIS :	CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LA FORMACIÓN PORCULLA (GRUPO CALIPUY), CUMBEMAYO, CAJAMARCA	
PLANO :	PLANO TOPOGRÁFICO	
ASESOR :	Ing. Zenón Quispe Mamani	PLANO N° 2
TESISTA :	Jhennyfer Jane, Spelucín Estela	
FECHA :	Octubre, 2016	ESCALA : 1 / 10 000



### SIMBOLOGÍA

-  Curvas de Nivel
-  Drenaje
-  Lagunas
-  Vias
-  Cerros
-  Puntos de Mustreo

SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 84  
ZONA : 17 S

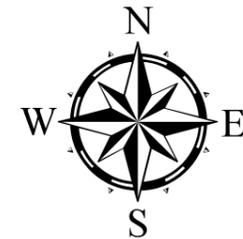
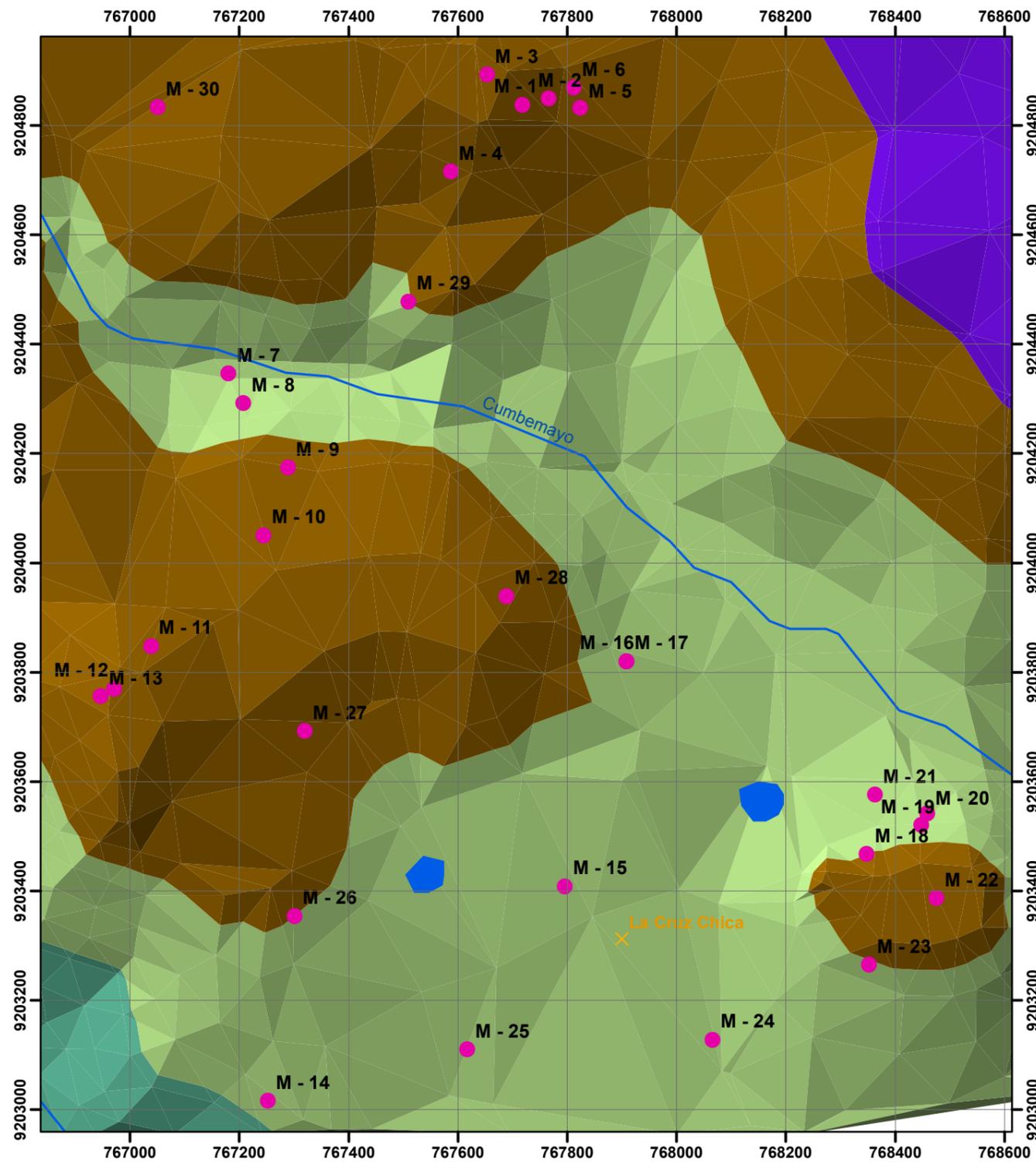


### UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

TESIS :	CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LA FORMACIÓN PORCULLA (GRUPO CALIPUY), CUMBEMAYO, CAJAMARCA	
PLANO :	IMAGEN SATELITAL	
ASESOR :	Ing. Zenón Quispe Mamani	PLANO N° 3
TESISTA :	Jhennyfer Jane, Spelucín Estela	
FECHA :	Octubre, 2016	ESCALA : 1 / 10 000



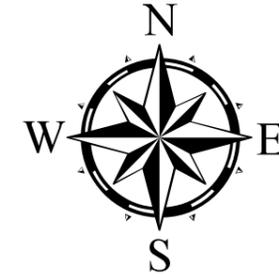
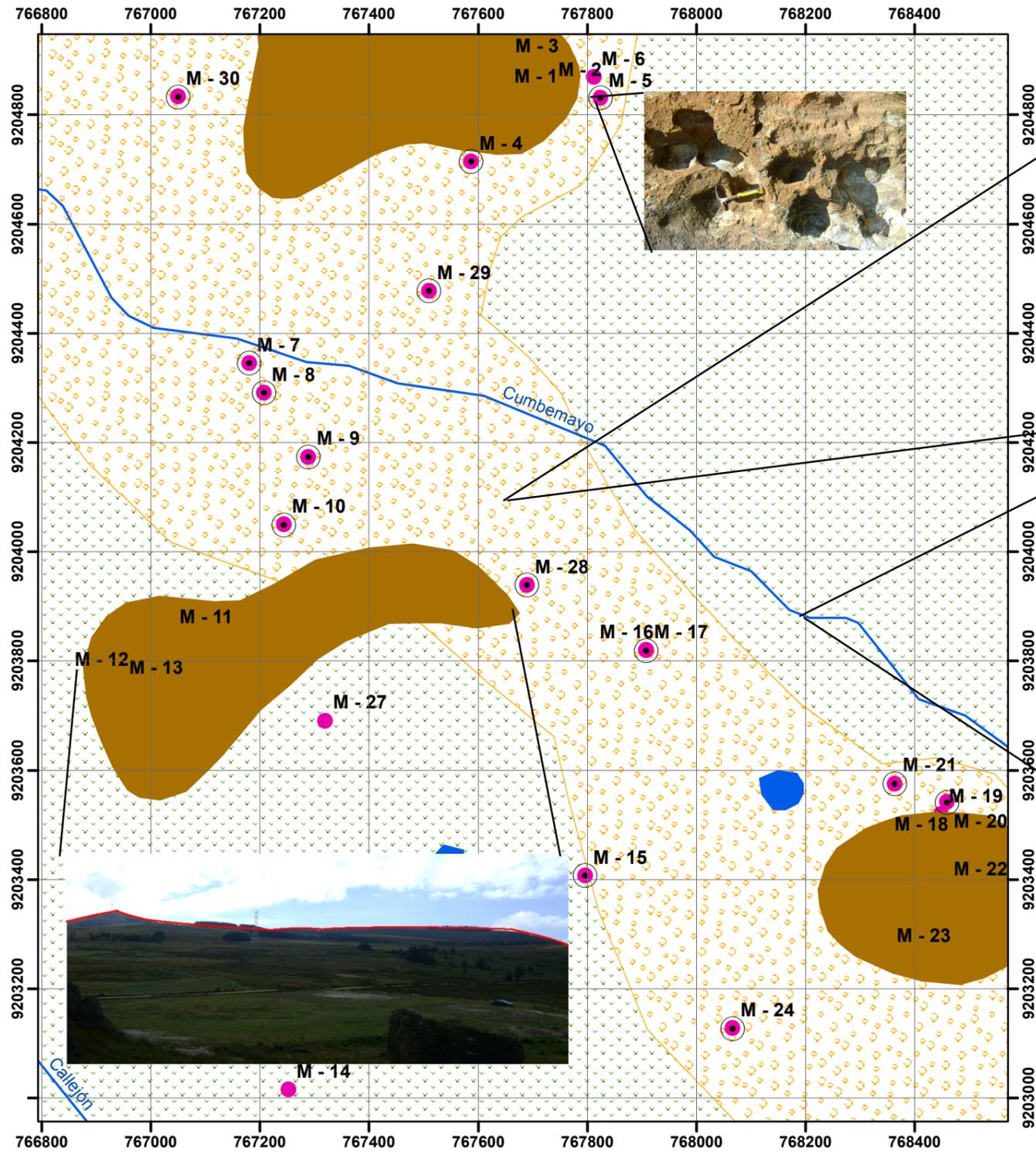
LEYENDA	
ALTITUD	
m.s.n.m	
	3655 - 3720
	3590 - 3655
	3525 - 3590
	3460 - 3525

SIMBOLOGÍA	
	Lagunas
	Drenaje
	Puntos de Mustreo

SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 84  
ZONA : 17 S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica		
TESIS :	CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LA FORMACIÓN PORCULLA (GRUPO CALIPUY), CUMBEMAYO, CAJAMARCA	
PLANO :	PLANO GEOMORFOLÓGICO ALTITUDINAL	
ASESOR :	Ing. Zenón Quispe Mamani	PLANO N° 4
TESISTA :	Jhennyfer Jane, Spelucin Estela	
FECHA :	Octubre, 2016	ESCALA : 1 / 10 000



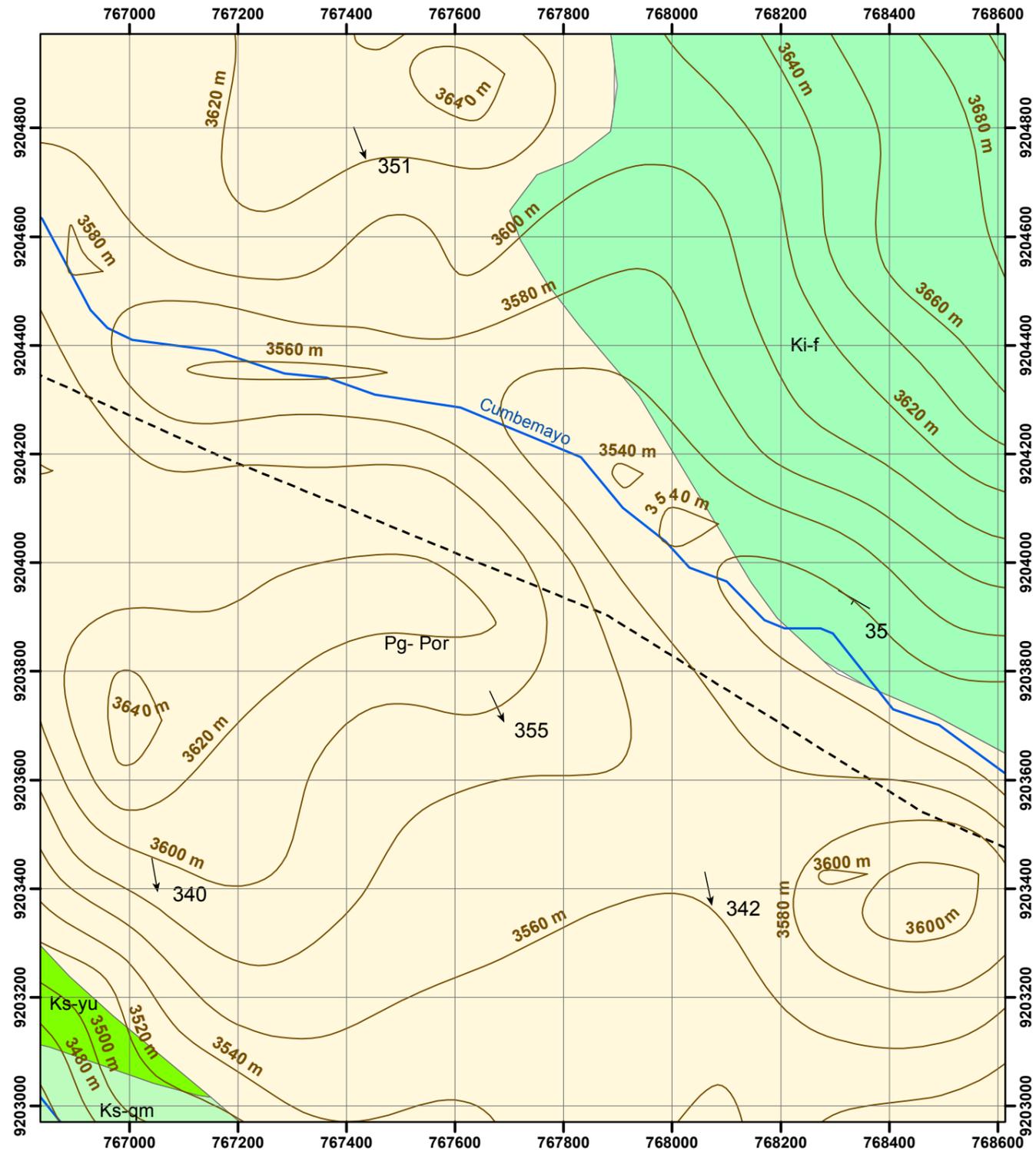


**UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS**

- Superficies de Erosión
- Valle Fluvioglaciar
- Disyunción Columnar
- Drenaje
- Lagunas
- Alveolos

SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 84  
ZONA : 17 S

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	<i>Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica</i>	
	TESIS :	CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LA FORMACIÓN PORCULLA (GRUPO CALIPUY), CUMBEMAYO, CAJAMARCA
	PLANO :	PLANO GEOMORFOLÓGICO
ASESOR :	Ing. Zenón Quispe Mamani	<b>PLANO N° 5</b>
TESISTA :	Jhennyfer Jane, Spelucín Estela	
FECHA :	Octubre, 2016	ESCALA : 1 / 10 000



**LEYENDA**

	Fm. Porculla
	Formación Quilquiñan/Mujarrun
	Formación Yumagual
	Formación Farrat

**SIMBOLOGÍA**

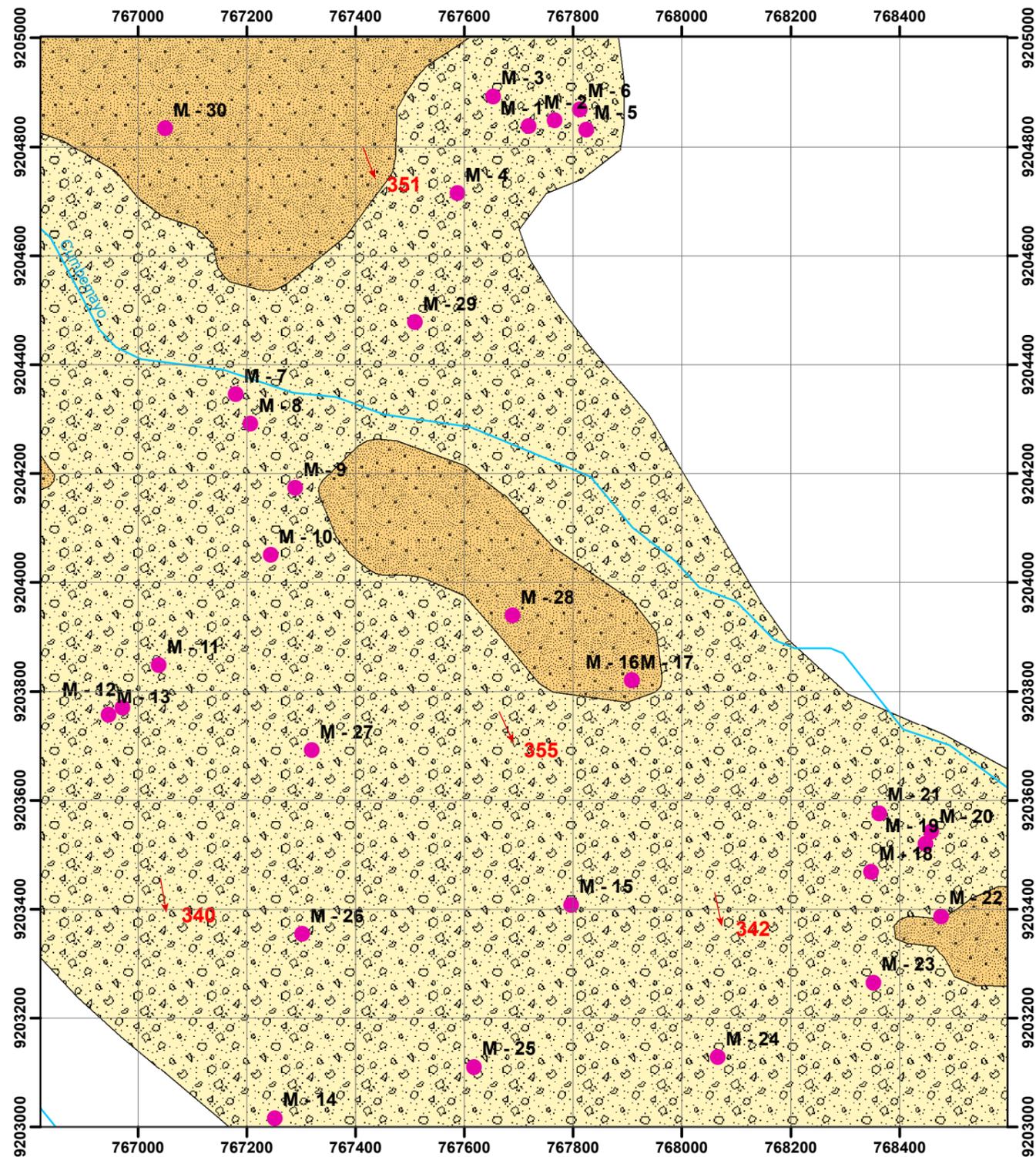
- Curvas de Nivel
- Drenaje
- ESTRATIFICACION
- PALEOFLUJO
- Puntos de Mustreo

**ESTUCTURAS**

- Fallas

SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 84  
ZONA : 17 S

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	<i>Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica</i>	
	TESIS :	CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LA FORMACIÓN PORCULLA (GRUPO CALIPUY), CUMBEMAYO, CAJAMARCA
	PLANO :	PLANO GEOLÓGICO
ASESOR :	Ing. Zenón Quispe Mamani	<b>PLANO N° 6</b>
TESISTA :	Jhennyfer Jane, Spelucín Estela	
FECHA :	Octubre, 2016	ESCALA : 1 / 10 000



### SIMBOLOGÍA

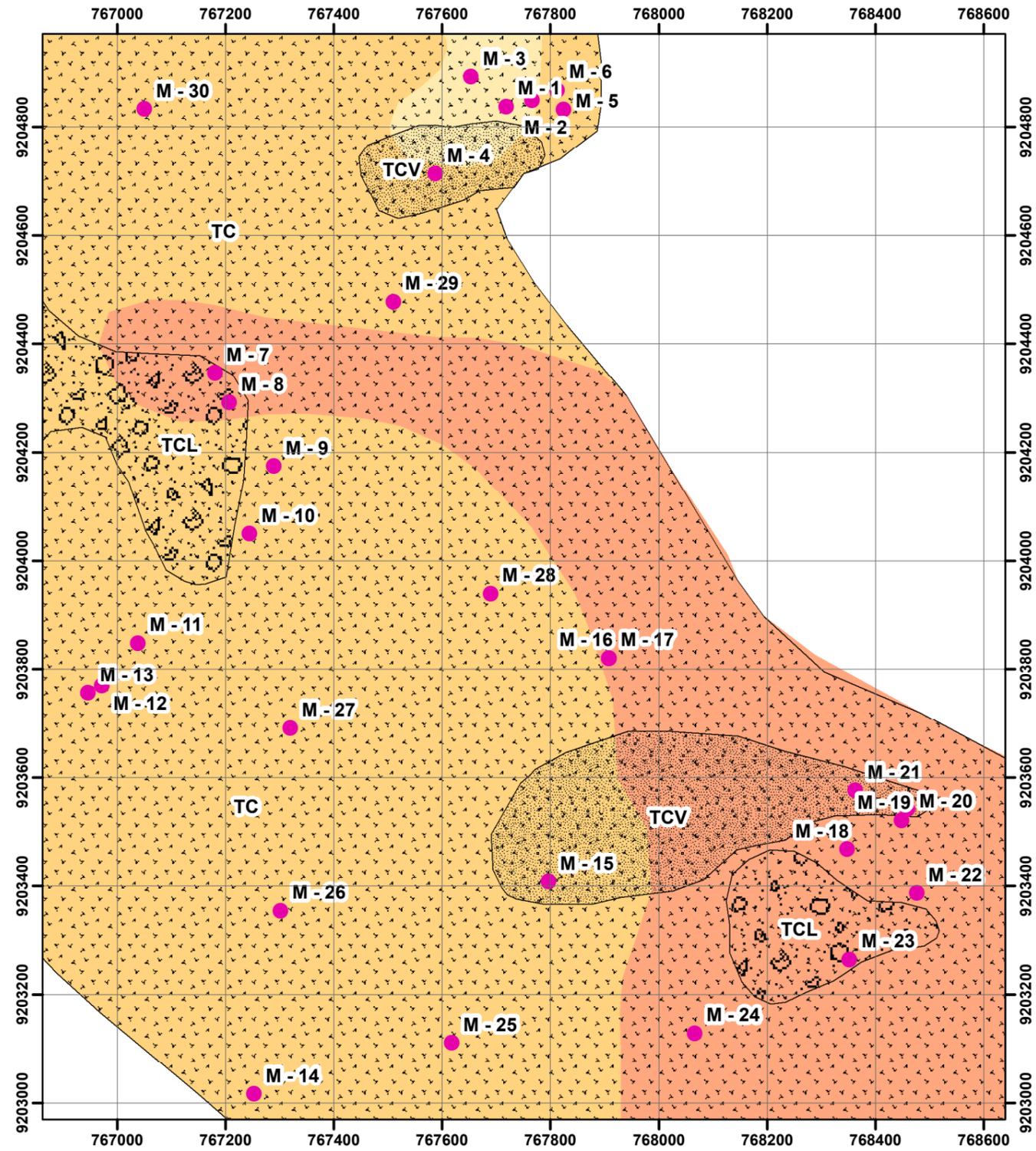
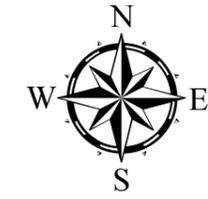
- Curvas de Nivel
- Puntos de Mustreo
- Rios
- PALEOFLUJO

### LEYENDA

- Depósitos de Caída
- Depósitos de Flujo piroclástico - Ignimbritas

SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 84  
ZONA : 17 S

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>	
	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	<i>Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica</i>	
	TESIS :	CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LA FORMACIÓN PORCULLA (GRUPO CALIPUY), CUMBEMAYO, CAJAMARCA
	PLANO :	PLANO PETROGENÉTICO
ASESOR :	Ing. Zenón Quispe Mamani	<b>PLANO N° 7</b>
TESISTA :	Jhenyfer Jane, Spelucín Estela	
FECHA :	Octubre, 2016	ESCALA : 1 / 10 000



## LEYENDA

### ROCAS VOLCÁNICAS

#### SEGUN COMPOSICIÓN:

- Dacítico
- Riolítico
- Andesítico

#### SEGÚN GEOMETRÍA Y COMPONENTES VOLCANOCLASTICOS:

- Tufo Cristalovítico - TCV
- Tufo Cristalolítico - TCL
- Tufo Cristalino - TC

SISTEMA DE COORDENADAS: WGS 84  
ZONA : 17 S

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>		
	FACULTAD DE INGENIERÍA		
	<i>Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica</i>		
	TESIS :	CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LA FORMACIÓN PORCULLA (GRUPO CALIPUY), CUMBEMAYO, CAJAMARCA	
	PLANO :	PLANO PETROGRÁFICO	
ASESOR :	Ing. Zenón Quispe Mamani	<b>PLANO N° 8</b>	
TESISTA :	Jhenyfer Jane, Spelucín Estela		
FECHA :	Octubre, 2016	ESCALA : 1 / 10 000	