



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**Caracterización mineralógica de la roca en la zona del Proyecto  
Minero Loma Larga.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO EN MINAS**

**Autor:**

**JOEL MARCELO CORONEL AMBROSI**

**Director:**

**CARLOS FEDERICO AUQUILLA TERÁN**

**CUENCA, ECUADOR**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a mi madre Delfa Ambrosi, por haberme motivado y brindado siempre su apoyo y confianza en todos los momentos de la vida y especialmente en los momentos de la vida universitaria.

A mis hermanos Diego Contreras y Jorge Contreras, que en todas las circunstancias han estado pendientes de mi correcto desarrollo como persona, y que en algunos momentos me han aconsejado y han sabido corregir mis errores.

## **AGRADECIMIENTOS**

En el presente trabajo quiero agradecer a los docentes de la Escuela de Ingeniería en Minas, que con todos sus conocimientos me han ayudado a culminar con éxito mi trabajo de graduación.

A mi director de tesis, el Ing. Federico Auquilla, quien siempre estuvo dispuesto a brindarme sus conocimientos, y tiempo para llevar a cabo y culminar el presente trabajo.

También quiero agradecer al Dr. Juan Calderón que siempre estuvo dispuesto a ayudarme y aportar sus conocimientos, motivación y tiempo para la realización del presente trabajo.

A mi amigo Christian Barros que me colaboró desde el inicio hasta el final de la realización del presente trabajo.

A la Ing. Doménica López que siempre estuvo dispuesta a ayudarme y brindarme sus conocimientos sobre el tema de investigación.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
CONTENIDO .....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE TABLAS .....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
GENERALIDADES .....	2
1.1    Datos Generales.....	2
1.1.1    Ubicación.....	2
1.1.2    Accesibilidad.....	3
1.1.3    Antecedentes de la zona.....	3
1.1.4    Morfología.....	5
1.1.5    Clima .....	6
1.2    Geología regional .....	7
1.3    Geología local .....	9

Formación Turupamba (MTU):.....	11
Formación Turi (Mt):.....	11
Formación Tarqui (MTq): .....	11
Formación Quimsacocha (MQ):.....	11
CAPÍTULO II.....	13
MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Microscopio de luz polarizante o microscopio petrográfico.....	13
2.1. Mineralogía y propiedades ópticas de los minerales.....	14
2.1.1. Color y pleocroísmo.....	14
2.1.2 Exfoliación.....	14
2.1.3. Índice de refracción.....	15
2.1.4. Relieve o refringencia.....	15
2.1.5. Isotropía.....	16
2.1.6. Anisotropía.....	16
2.1.7. Birrefringencia.....	16
2.1.8. Ángulo de extinción.....	18
2.1.9. Maclas.....	18
2.1.10. Alteración.....	19
2.1.11. Forma y hábito.....	20
2.2. Técnicas de análisis.....	22

2.2.1. Láminas delgadas .....	22
2.2.2. Análisis químico.....	23
CAPÍTULO III.....	24
CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DELGADAS .....	24
3.1 Obtención de muestras .....	24
3.2 Preparación de láminas delgadas.....	26
3.3 Caracterización mineralógica y clase de roca en la zona de investigación.....	28
3.3.1 Clase de roca .....	28
3.3.1.1 Andesita.....	28
3.3.1.2 Basaltos .....	29
3.3.1.3 Riolita.....	29
3.4 Propiedades ópticas de los minerales .....	29
CAPÍTULO IV.....	52
ANÁLISIS QUÍMICO Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....	52
4.1 Análisis de la muestra 1 .....	55
4.2 Análisis de la muestra 21 .....	56
4.3 Análisis y comparación de resultados .....	58
4.4 Comparación .....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	60

Conclusiones .....	60
Recomendaciones.....	60
Bibliografía .....	62
ANEXOS .....	64
Anexo 1 Análisis químico de las muestras.....	64

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación del proyecto Loma Larga .....	2
Figura 1.2: Acceso al proyecto Loma Larga desde la ciudad de Cuenca.....	3
Figura 1.3: Mapa Geomórfológico e Hidrológico.....	7
Figura 1.4: Terrenos geotécnicos del Ecuador .....	7
Figura 1.5: Geología regional.....	8
Figura 1.6: Mapa de geología local, Loma Larga .....	10
Figura 1.7: Corte geológico, Loma Larga .....	10
Figura 1.8: Geología Local.....	12
Figura 2.1: Microscopio petrográfico.....	13
Figura 2.2: Color y pleocroísmo de un mineral .....	14
Figura 2.3: Generación de relieve por refracción de los rayos de luz en el borde del grano ...	15
Figura 2.4: Escala de Birrefringencia.....	17
Figura 2.5: Ángulo de extinción en los minerales clinopiroxenos.....	18
Figura 2.6: Clasificación de las maclas .....	19
Figura 2.7: Transformación de biotina (marrón) a clorita (verde). .....	20
Figura 2.8: Habito de cristales.....	21
Figura 2.9: Forma de un mineral.....	22
Figura 3.1: Área de muestreo .....	24

Figura 3.2: Obtención y zonas de muestreo .....	25
Figura 3.3: Corte primario de la roca .....	26
Figura 3.4: Máquina para el corte secundario de la briqueta .....	27
Figura 3.5: Lámina delgada con un espesor aproximado de 30 micras .....	27
Figura 4.1: Diagrama QAFP para rocas ígneas.....	53
Figura 4.2: Diagrama QAFP para rocas volcánicas .....	54
Figura 4.3: Diagrama QAFP para la muestra 1 .....	56
Figura 4.4: Diagrama QAFP para la muestra 21 .....	57

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1 Calificativos para definir el habito .....	22
Tabla 3.1 Coordenadas de las muestras .....	25
Tabla 3.2 Minerales y sus porcentajes en las rocas andesitas .....	28
Tabla 3.3 Propiedades ópticas de los minerales .....	30
Tabla 3.4 Caracterización mineralógica de la muestra # 1 .....	31
Tabla 3.5 Caracterización mineralógica de la muestra # 2 .....	32
Tabla 3.6 Caracterización mineralógica de la muestra # 3 .....	33
Tabla 3.7 Caracterización mineralógica de la muestra # 5 .....	34
Tabla 3.8 Caracterización mineralógica de la muestra # 6 .....	35
Tabla 3.9 Caracterización mineralógica de la muestra # 7 .....	36
Tabla 3.10 Caracterización mineralógica de la muestra # 9 .....	37
Tabla 3.11 Caracterización mineralógica de la muestra # 10 .....	38
Tabla 3.12 Caracterización mineralógica de la muestra # 11 .....	39
Tabla 3.13 Caracterización mineralógica de la muestra # 13 .....	40
Tabla 3.14 Caracterización mineralógica de la muestra #14 .....	41
Tabla 3.15 Caracterización mineralógica de la muestra # 16 .....	42
Tabla 3.16 Caracterización mineralógica de la muestra # 17 .....	43
Tabla 3.17 Caracterización mineralógica de la muestra # 18 .....	44
Tabla 3.18 Caracterización mineralógica de la muestra #19 .....	45

Tabla 3.19 Caracterización mineralógica de la muestra # 21 .....	46
Tabla 3.20 Caracterización mineralógica de la muestra # 22 .....	47
Tabla 3.21 Caracterización mineralógica de la muestra # 23 .....	48
Tabla 3.22 Caracterización mineralógica de la muestra # 25 .....	49
Tabla 3.23 Caracterización mineralógica de la muestra # 26 .....	50
Tabla 3.24 Caracterización de mineralógica de la muestra # 27.....	51
Tabla 4.1 Porcentaje mineral presente en la muestra 1 de acuerdo al análisis químico.....	55
Tabla 4.2 Porcentaje de los minerales recalculados .....	55
Tabla 4.3 Porcentaje mineral presente en la muestra 21 de acuerdo al análisis químico.....	56
Tabla 4.4 Porcentaje de los minerales recalculados .....	57

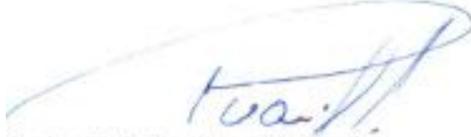
## CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA ROCA EN LA ZONA DEL PROYECTO MINERO LOMA LARGA

### RESUMEN

El presente trabajo de investigación realizó la caracterización mineralógica y determinó el tipo de rocas que existen en la zona del proyecto minero Loma Larga, mediante el estudio de láminas delgadas, para lo cual se tuvo que preparar las máquinas existentes en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería en Minas.

Se recolectaron muestras de la zona, sobre las cuales se realizó el proyecto de investigación, posteriormente se prepararon las muestras para realizar las láminas delgadas y mediante el proceso DRX y estudio visual se determinó la caracterización mineralógica y el tipo de rocas existentes en dicho proyecto.

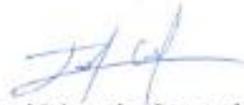
**Palabras claves:** caracterización mineralógica, láminas delgadas, DRX.



Carlos Federico Auquilla Terán  
Director del Trabajo de Titulación



Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
Coordinador de Escuela



Joel Marcelo Coronel Ambrosi  
Autor

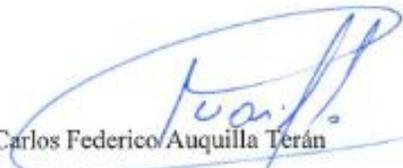
## ABSTRACT

### MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF ROCK IN THE AREA OF THE LOMA LARGA MINING PROJECT

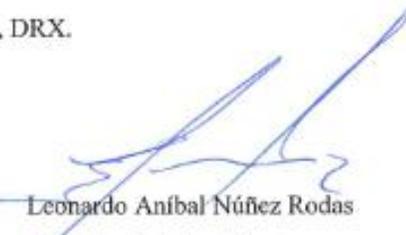
#### ABSTRACT

This research work carried out the mineralogical characterization and determined the type of rocks that exist in the area of the Loma Larga mining project through the study of thin sheets. For this, the existing machines from the laboratory of the Mining Engineering Faculty had to be prepared. Samples from the area were collected and used to carry out the research project. Subsequently, the samples were prepared to make the thin sheets. Mineralogical characterization and the type of rocks existing in this project were determined by the DRX process and a visual study.

**Keywords:** mineralogical characterization, thin sheets, DRX.



Carlos Federico Auquilla Terán  
**Thesis Director**



Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Faculty Coordinator**



Joel Marcelo Coronel Ambrosi  
**Author**

Joel Marcelo Coronel Ambrosi

Trabajo de Titulación

Ing. Carlos Federico Auquilla Terán

## **INTRODUCCIÓN**

La información recolectada sobre la zona de Quimsacocha es generalizada, por motivo de que se analizó de manera global las rocas existentes en la zona, para caracterizar y determinar la mineralogía de la región en la cual se desarrollará el presente estudio, la información ha sido recolectada a través de la revisión bibliográfica de artículos y libros de estudios que permitan conocer e investigar el tipo de roca y a su vez la caracterización de minerales no metálicos, que existen en la zona de Quimsacocha.

A través de la elaboración de láminas delgadas se fue conociendo la composición mineralógica de las rocas que se encontraron, fue necesario acceder a las propiedades ópticas de los minerales no metálicos, con esto se pudo conocer de mejor manera el tipo de roca y su caracterización de minerales de Loma Larga.

Para lograr obtener esta determinación característica de la roca se utilizó la observación in-situ, este proyecto investigativo utilizará el método de láminas delgadas, con esto se pretende crear una guía para caracterizar minerales en diferentes rocas ubicadas en nuestro país.

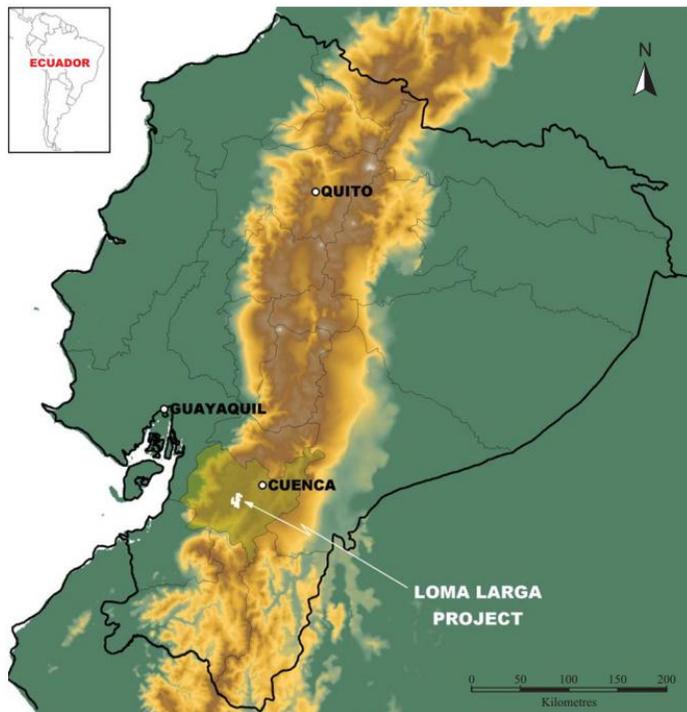
## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1 Datos Generales

##### 1.1.1 Ubicación

El proyecto Loma Larga se ubica en el sur del Ecuador, exactamente en la provincia del Azuay, aproximadamente se encuentra a una distancia de treinta kilómetros al suroeste de la ciudad de Cuenca, se encuentra en la Cordillera Occidental de Los Andes (INVMetals, 2019).

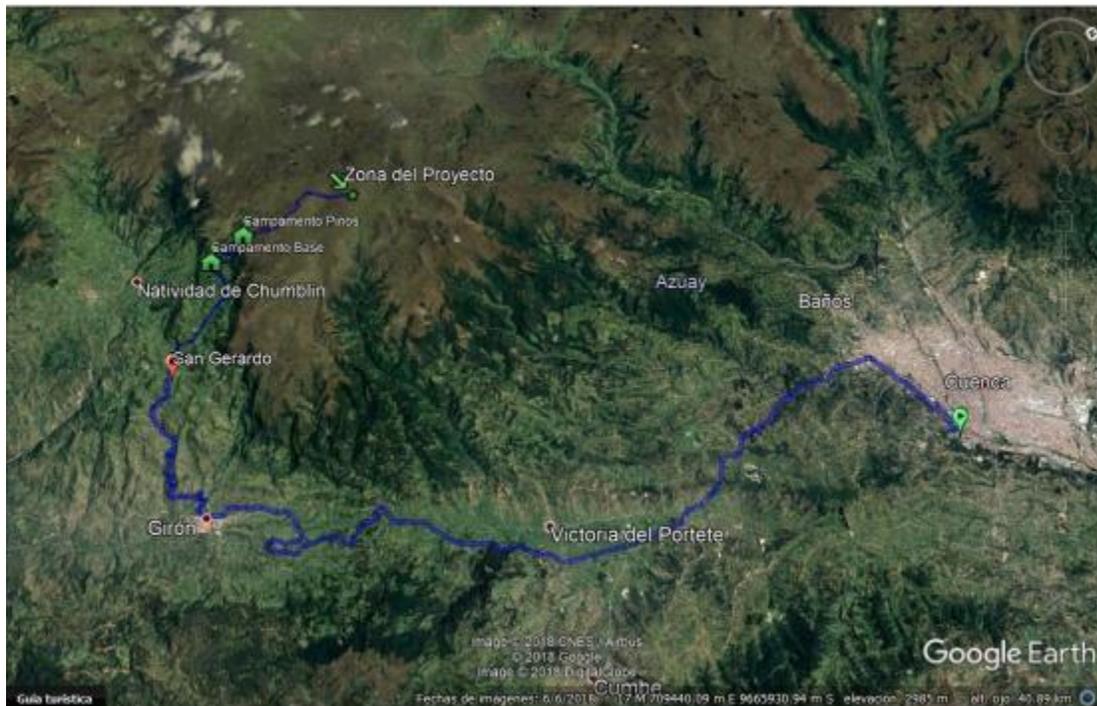


**Figura 1.1:** Ubicación del Proyecto Loma Larga.

**Fuente:** INVMetals (2015).

### 1.1.2 Accesibilidad

Para acceder al proyecto se debe viajar desde Cuenca hacia la panamericana sur, al llegar a San Gerardo, de aquí se deberá ir por el camino de tercer orden avanzando aproximadamente 18 km hasta el proyecto (INVMetals, 2019).



**Figura 1.2:** Acceso al Proyecto Loma Larga desde la ciudad de Cuenca.

**Fuente:** Google Earth (2019).

### 1.1.3 Antecedentes de la zona

En Loma Larga la primera exploración sistémica se llevó a cabo por las Naciones Unidas a final de los años 60, esto por motivo de definir anomalías de los metales básicos.

En el año 91 la propiedad fue concesionada por COGEMA, la cual completó la perforación de diez pozos para la obtención de testigos de roca, la perforación de diamante se realizó en vetas y objetivos diseminados, se obtuvo aproximadamente 1869 m de testigos de roca, los minerales que se pudieron encontrar fueron oro, plata y cobre.

La mineralización de oro, plata y cobre fue interceptada y, en el año 93 Newmont Mining y TVX Gold se convierte en socio de AREVA, entre los años de 1994 y 1996 se fueron ejecutando alrededor de 7.581m de perforaciones de diamante en ochenta y dos pozos, cabe recalcar que estos eran pocos profundos (INVMetals, 2019).

La compañía mencionada con anterioridad concluye su programa de exploración a principios del 2013, este programa constaba de doce pozos de perforación de diamante de alrededor de 3684,7 metros, esto incluye los pozos de prueba para ampliar el yacimiento, los pozos más profundos se usaron para probar lentes apiladas y otros pozos sirvieron para la obtención de testigos de roca y determinación de los minerales metálicos existentes en la zona (INVMetals, 2019).

En el 2013 exactamente en el mes de julio el gobierno de turno enmendó las leyes mineras y crearon categorías de mediana minería, la información que se ha publicado hasta Julio del 2013 demuestra que la producción subterránea de mediana minería estaría limitada a 1000 toneladas por día sería la base que está sujeta a impuestos sobre la renta en sociedades, esto quiere decir que se deberá pagar al estado 4% de oro de la producción total, 3% para las utilidades de empleados, un 12% de regalías que serán utilizadas en proyectos de desarrollo social.

El proyecto Loma Larga pertenece al rango de minería a gran escala en donde se aporta al estado ecuatoriano un mínimo de 5-8% de oro de la producción total del mineral, impuestos especiales y regalías anticipadas (INVMetals, 2019).

La compañía inicio sus estudios de factibilidad en junio del 2017, en noviembre del 2018 dan buenas noticias pues consiguieron resultados satisfactorios, su tasa de producción era aproximadamente tres mil toneladas al día, al año su producción de oro llegara a doscientos seis mil onzas, el periodo de recuperación es alrededor de 2.6 años, el estudio de factibilidad demostró

una sólida rentabilidad y viabilidad del proyecto en donde se explotara oro, plata y cobre, Loma Larga presenta una vida útil de doce años, la extracción de 2.6 millones de onzas de oro equivalente un promedio de 227000 onzas por año, con un promedio de 294000 onzas que serán extraídas durante los primeros cuatro años completos. El catorce de enero del 2019 se presentó un informe técnico por parte de la compañía y sus consultores, en esta fecha se culminó el estudio de factibilidad (INVMetals, 2019).

#### **1.1.4 Morfología**

La morfología del proyecto Loma Larga es regular, consiste en colinas alargadas, elevaciones que varían entre los 3700 y 3800 m.s.n.m. la montaña conocida como Cerro Casco es el punto más alto llegando a tener una altura de 3969 m.s.n.m (INVMetals, 2016).

Al oeste del proyecto encontramos una caldera volcánica que pertenecía a un extinto y antiguo volcán, su altura va desde los 3650 hasta los 3850 m.s.n.m., su diámetro es de 4 km, sus bordes están constituidos por flujos de lava radiales con composición andesítica, en estos se forma una planicie pantanosa con una inclinación no mayor a  $5^{\circ}$ , además de pequeñas elevaciones en la parte central de alrededor de 3770 m.s.n.m. al norte de esta caldera se encuentra el Cerro Casco mencionado con anterioridad, con estos datos se puede decir que la zona sur está a menor elevación a comparación con la norte (Morán, 2017).

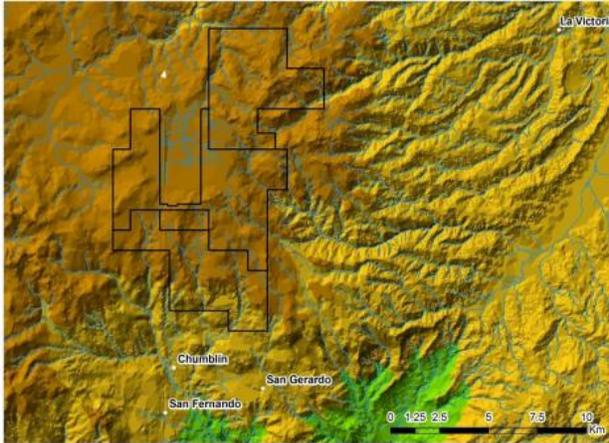
En zonas como Cerro Casco y Loma Costillas se observan pendientes casi verticales con escarpes, tiene incidencia en depósito de tipo morrenico, Loma Larga mantiene su morfología regular con colinas alargadas, el sistema hidrográfico está formado por un conjunto de lagunas causadas por la glaciación, estas forman ríos que corren hacia abajo por una corriente principal para circular alrededor de la base de la elevación, creando una cuenca de drenaje radial, la red de drenajes, está compuesta por las quebradas Satacu y Gulag, que descienden hacia el noreste para unirse con otros

ríos y formar parte del Yanuncay, sus quebradas de Aguaropamba (NW-SE), Quinuahuayco (NW-SE), Calloancay (NW-SE), Cristal (N-S), Río Falso (N-S), Zhurucay (N-S) y Lluchir (N-S) forman parte de la corriente colectora principal conformada por el río Girón-Tarqui, esto ha formado una topografía predominante ondulada que forman valles en forma de “U” gracias a sus pendientes de entre  $30^{\circ}$  -  $35^{\circ}$  (Morán, 2017).

### **1.1.5 Clima**

Generalmente las precipitaciones climáticas son uniformes excepto en los meses de marzo y noviembre en los que se presentan lluvias intensas, las variaciones de la lluvia van desde 1060 mm hasta los 1600 mm, en relación a la temperatura los datos demuestran que va desde  $2.2^{\circ}\text{C}$  a  $17.1^{\circ}\text{C}$ , el mes considerado como más cálido ha sido el mes de diciembre a diferencia de agosto que es considerado el más frío, en los meses más fríos la temperatura llega a estar bajo  $0^{\circ}\text{C}$ , en estos casos raros suele caer nieve, en general luego del medio día la temperatura alcanza su nivel más alto, alrededor de las 12:00 pm hasta las 15:00 pm, la temperatura mínima llega al amanecer alrededor de las 3:00 am hasta las 6:00 am (Morán, 2017).

Los datos obtenidos en relación a la meteorología Loma Larga en el periodo de 2009 hasta 2010 ha registrado una velocidad promedio del viento que va entre los 2,5 m/s a 4,75 m/s, estas velocidades altas suelen darse en los meses de julio a septiembre, su pico más alto llega en el mes de julio del 2009 brindando un registro de 7 m/s, y con una dirección predominante del viento hacia el oeste (INVMetals, 2016).

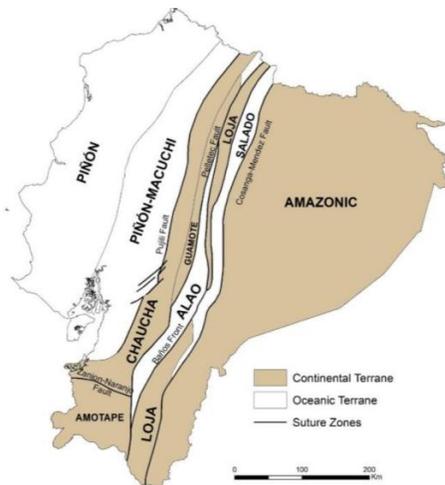


**Figura 1.3:** Mapa Geomorfológico e Hidrológico.

**Fuente:** Morán (2017).

## 1.2 Geología regional

La ubicación exacta del proyecto Loma Larga es en los andes ecuatorianos cuya tendencia es NNE, que fueron formados por la separación de la placa América Central y Sudamericana, esto acrecentó al Cratón Amazónico, estos eventos que se mencionan tuvieron lugar en la época Jurásica Superior al Eoceno (INVMetals, 2016).



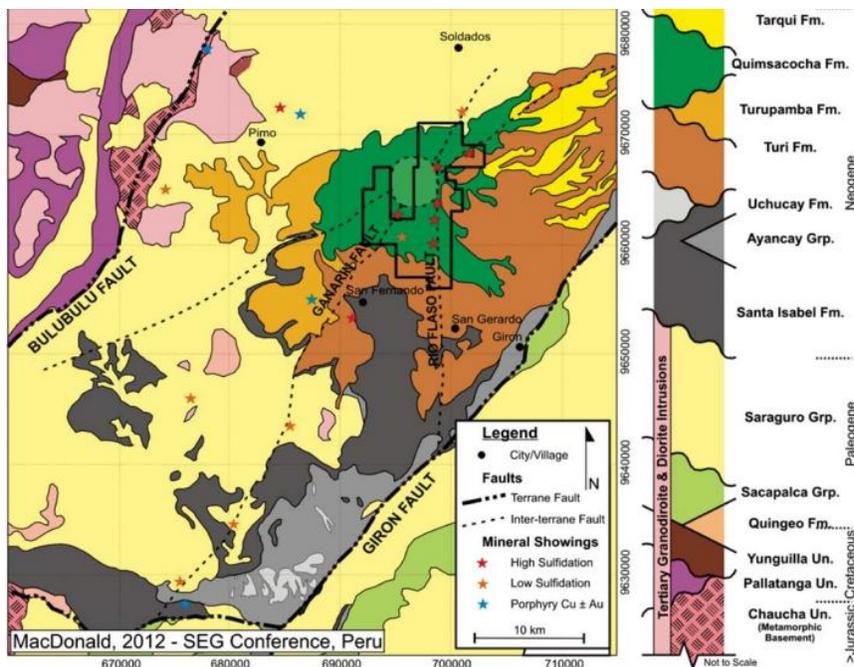
**Figura 1.4:** Terrenos geotécnicos del Ecuador.

**Fuente:** Litherland (1994).

Este terreno se encuentra limitado por fallas regionales con un rumbo característico Andino NNE, estos fueron formados durante el Terciario y Cuaternario debido a procesos de subducción relacionados al magmatismo del Arco Continental a más de la reactivación de las fallas que se mencionaron con anterioridad (Morán, 2017).

Loma Larga está situado en el terreno continental Chaucha exactamente en la parte sur del mismo, está limitado por dos sistemas de fallas que tienen tendencia NNE, estas se clasifican como activas durante la evolución de la cuenca, el sistema Bulu Bulu por el NE y el sistema Girón por el SE (Macdonald, 2006).

En cada fase de reactivación los movimientos de los sistemas de fallas brindaron las condiciones para la ubicación de cuerpos intrusivos y subvolcánicos, en estos casos ciertos canales permitieron la conducción de fluidos hidrotermales con mineralización (INVMetals, 2016).



**Figura 1.5:** Geología regional.

**Fuente:** Macdonald (2006).

### 1.3 Geología local

Entre la falla Gañarín al Nor-Este y la falla Girón al Sur-Este se encuentra el proyecto Loma Larga, se demostró la existencia en esta zona de una caldera colapsada de 4 km de diámetro (remanente de un estratovolcán erosionado), esta caldera es controlada por la falla Gañarín a unos 400 m al oeste del cuerpo principal mineralizado del Proyecto Loma Larga justamente en esta falla se sitúa la caldera (Morán, 2017).

Por otra parte, la falla río Falso tiene una orientación N-S, al parecer es una falla que conecta a Gañarín y Girón, en este punto se da origen a la alteración y fluidos mineralizantes, el proyecto y el área circundante inmediata, están en su mayoría subyacentes por rocas volcánicas y volcanoclásticas del Mioceno Superior, de las formaciones Turi, Turupamba, Quimsacocha y Tarqui. Estas formaciones tienen un suave buzamiento casi horizontal por lo general no afloran, los pocos afloramientos que se encuentran expuestos, están presentes alrededor de la caldera (Zuñiga, 2018).

Cuando colapsó la caldera se produjo la intrusión volcánica post-mineralización, dando paso a la formación de domos dacíticos, a riolíticos y criptódomos porfídicos de cuarzo y feldespato localizado alrededor y en la parte interna de la caldera en la época del Plioceno, con el colapso de la caldera se formaron brechas que contienen clastos mineralizados. El depósito Loma Larga contiene zonas de alteración, texturas minerales y mineralogía típica de un depósito epitermal de alta sulfuración. Además de que contiene asociaciones argílicas avanzadas, principalmente de: cuarzo, alunita, pirofilita, dickita y caolinita, esta mineralización se relaciona con el desarrollo de la caldera, que fue apostada por fracturas, fallas y varios cuerpos de brecha con origen tectónico e hidrotermal (Morán, 2017).

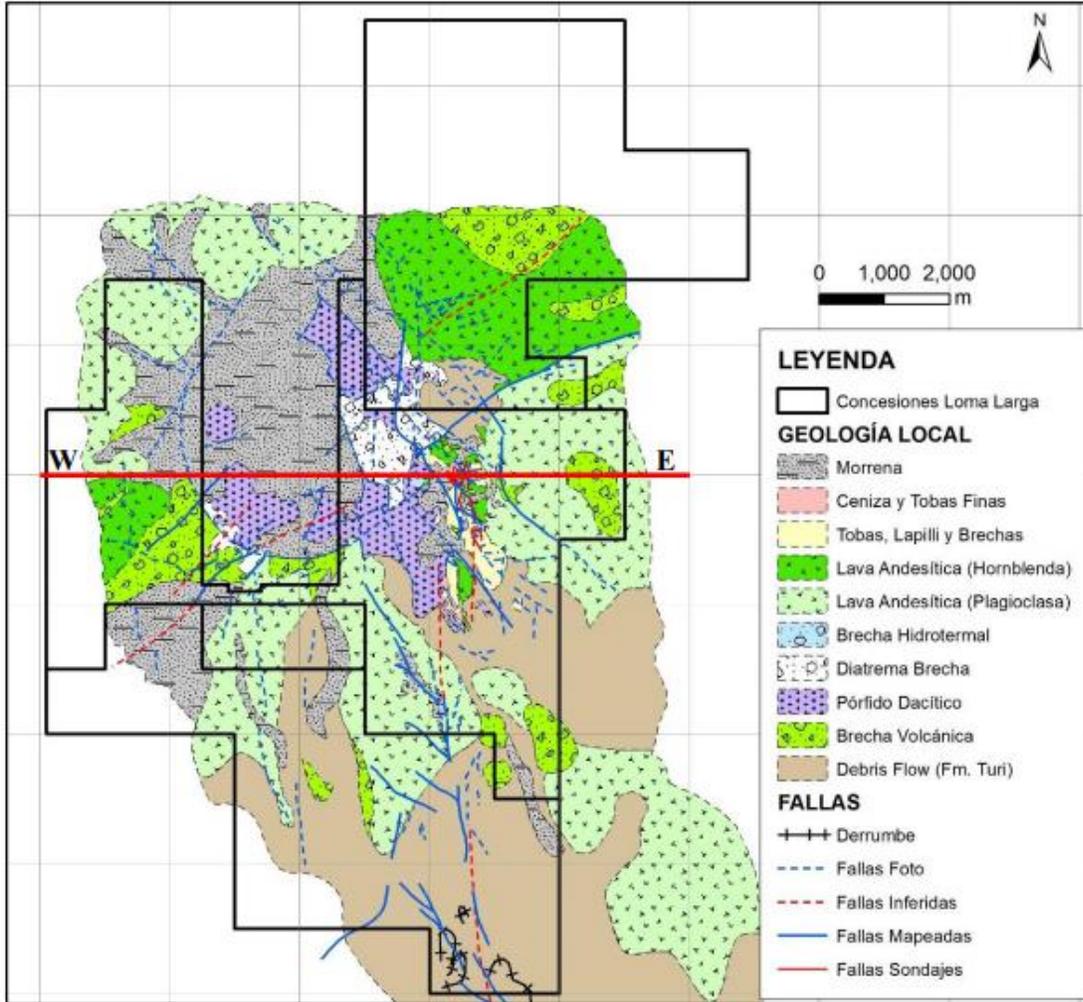


Figura 1.6: Mapa de Geología Local, Loma Larga.

Fuente: Morán (2017).

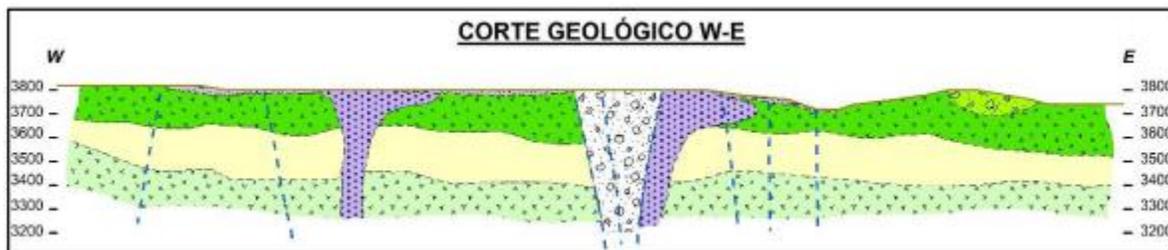


Figura 1.7: Corte Geológico, Loma Larga.

Fuente: Morán (2017).

Las formaciones geológicas que conforman el proyecto minero Loma Larga se presentan a continuación:

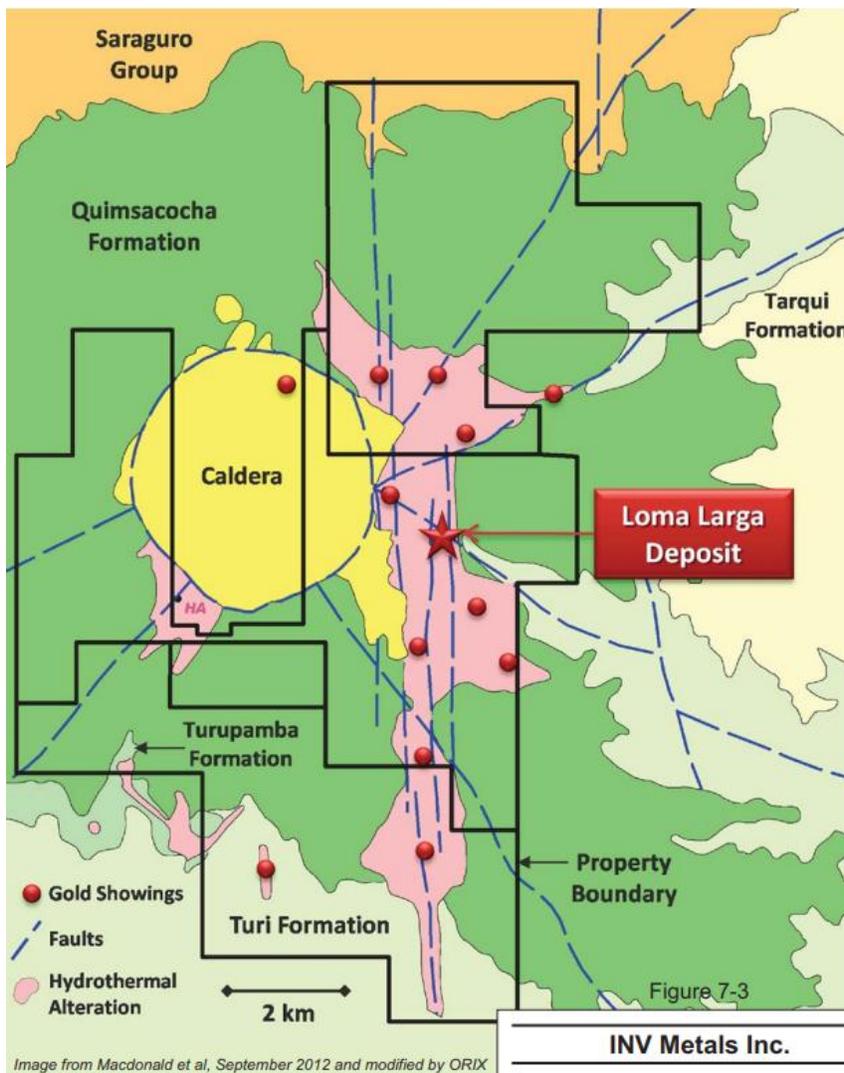
**Formación Turupamba (MTU):** Aflora únicamente en la esquina suroeste del proyecto, y está compuesta por tobas riolíticas y dacíticas con una menor cantidad de tobas lapilli, el origen de esta formación se da por la acumulación de varias caídas de ceniza con periodos de sedimentación fluvial y lacustre. Esta formación está por debajo de la formación Turi (INVMetals, 2016).

**Formación Turi (Mt):** Está compuesta por rocas sedimentarias fluviales confinadas en la cuenca de Cuenca y sus alrededores. AL SW de Turi, se presentan conglomerados andesíticos gruesos y brechosos, pobremente litificados y horizontalmente estratificados, de más de 300 m de espesor, intercalados con areniscas tobáceas, la zona Suscal-Cañar presenta conglomerados subhorizontales, conglomerados brechosos, discordantemente sobre el grupo Saraguro y se encuentra cubierta por la formación Quimsacocha, al inicio se consideró que su formación iniciaba en el Plioceno, nuevas dataciones de trazas de fisión indican una edad del Mioceno Tardío (8-9 Ma) (Morán, 2017).

**Formación Tarqui (MTq):** Surge principalmente en el flanco oriental de la caldera donde se encuentra la formación Turi, esta formación se sobrepone a todas las formaciones más antiguas, está compuesta por tobas acidas blancas y rojas de cuarzo, intensamente meteorizadas y caolinizadas con una potencia máxima de 400 m. su composición cambia hacia el norte principalmente a tobas más finas, areniscas tifáceas y conglomerados, existen restos vegetales y carbón presentes en la zona con bastante intensidad (INVMetals, 2016).

**Formación Quimsacocha (MQ):** El proyecto Loma Larga se encuentra asentado en gran parte sobre la formación Quimsacocha, por lo tanto alberga el depósito de interés, esta formación se

compone por flujos de lava porfiríticas andesíticas, con fenocristales de plagioclasas frescos, además de tobas y brechas de andesita distribuidas radialmente alrededor del exterior de la caldera, la edad es incierta, pero según estudios muestran que debe ser Mioceno Tardío o más joven (INVMetals, 2016).



**Figura 1.8:** Geología Local.

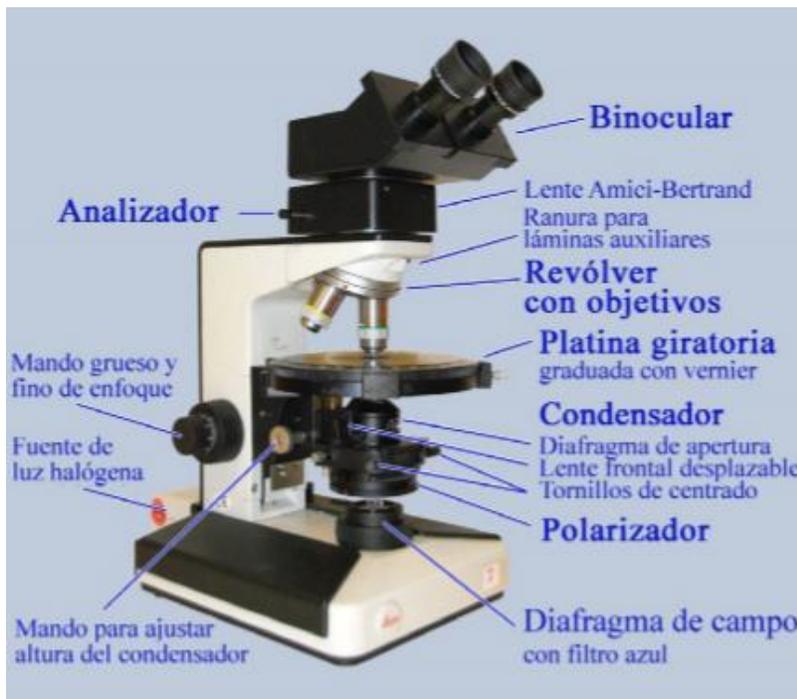
**Fuente:** INVMetals (2016).

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Microscopio de luz polarizante o microscopio petrográfico

Para el reconocimiento de minerales no metálicos o translucido en este estudio se utiliza el microscopio petrográfico o de luz polarizante, este instrumento está compuesto por una platina giratoria y dos filtros polarizadores, el primero denominado polarizador y se ubica bajo la base giratoria y el otro es el analizador y se ubica sobre la base, la luz que utiliza este microscopio vibra en un plano, mientras que la luz normal vibra en todas las direcciones (MacKenzie, 1997).



**Figura 2.1:** Microscopio petrográfico.

**Fuente:** Raith (2012).

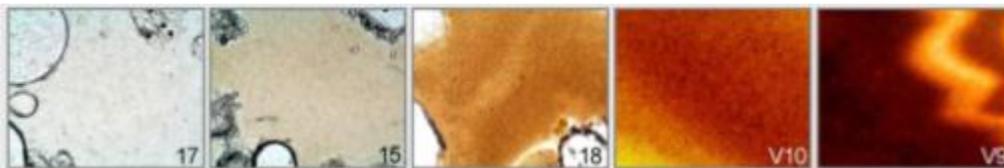
## 2.1. Mineralogía y propiedades ópticas de los minerales

Luego de recolectar las rocas de la zona y para realizar el reconocimiento de minerales presentes se utilizará el método de mineralogía óptica, esta técnica sirve para poder determinar minerales en base a propiedades ópticas presentes (Picot, 1982).

### 2.1.1. Color y pleocroísmo

Gran parte de los minerales presentan algún tipo de coloración a simple vista, el color se podrá notar debido al paso de la luz blanca a través del mineral, el color se altera debido a la absorción selectiva de ondas, esto es conocido como color de absorción, por otro lado, el pleocroísmo es el efecto que se produce dependiendo de la orientación del cristal de los minerales con respecto al plano polarizante del microscopio (Picot, 1982).

Una de las propiedades ópticas más útiles es el color del mineral, con esto se facilita el reconocimiento de cristales de los minerales, el color y el pleocroísmo se deberá describir con precisión, para definir el pleocroísmo se utilizará la terminología débil, marcado, intenso o muy intenso (Gil, 2009).



**Figura 2.2:** Color y pleocroísmo de un mineral.

**Fuente:** Raith (2012).

### 2.1.2 Exfoliación

La exfoliación es una propiedad que presentan ciertos minerales de separarse o partirse en cierta dirección en particular, la exfoliación generalmente es paralela a las caras cristalinas, generalmente

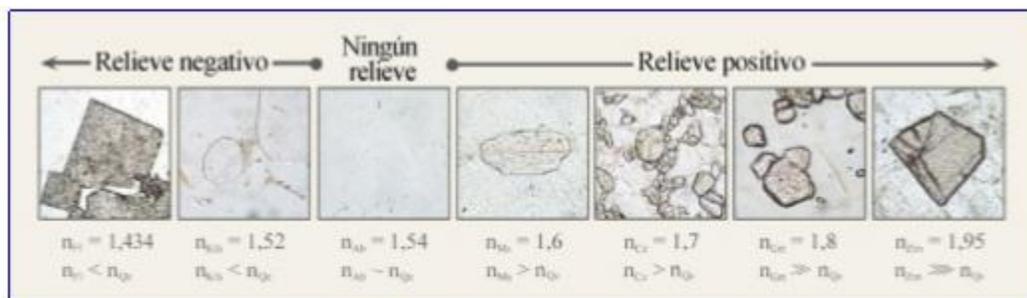
los minerales se dividen por planos débiles o de menor cohesión, con esta propiedad se facilita la determinación de minerales que morfológicamente no han cristalizado correctamente (MacKenzie, 1996).

### 2.1.3. Índice de refracción

Esta es una de las propiedades ópticas de los minerales que depende principalmente de la velocidad, densidad del mineral y la interface porta-objetos-mineral, es complicado determinar el valor cuantitativo de esta propiedad, este se caracteriza a través del relieve de los minerales (Picot, 1982).

### 2.1.4. Relieve o refringencia

Los granos minerales que presentan un mayor o menor índice de refracción que sus alrededores, muestran bordes marcados y generan un aspecto de mayor o menor relieve que los granos de los minerales adyacentes. El relieve se produce por la refracción y de la reflexión total de los rayos de la luz en la interfaz entre el grano del mineral y sus alrededores. Mientras mayor sea la diferencia entre los índices de refracción, más notorio será el borde del mineral y el relieve. Estos desaparecen si los índices de refracción de los materiales adjuntos son idénticos (Raith, 2012).



**Figura 2.3:** Generación de relieve por refracción de los rayos de luz en el borde del grano.

**Fuente:** Raith (2012).

### **2.1.5. Isotropía**

Esta propiedad ocurre en ciertos minerales, es independiente de la dirección de propagación de luz, esta propiedad generalmente se da en materiales sin forma como vidrio, gases, líquidos y los minerales que tienen un sistema cúbico de cristalización (Gil, 2009).

### **2.1.6. Anisotropía**

Esta propiedad óptica de igual manera es dependiente de la dirección de propagación de la luz, esta característica ocurre en la mayoría de minerales, en ciertos minerales anisótropos existen cambios en el índice de refracción, la luz atraviesa y no se trasmite a la misma velocidad de varias direcciones dependiendo la ubicación de la lámina (Gil, 2009).

### **2.1.7. Birrefringencia**

En algunos minerales podemos encontrar dos índices de refracción, esta característica en particular es conocida como doble refracción o birrefringencia, esta última es la media cuantitativa entre los índices mínimo y máximo de refracción de un mineral, esta propiedad se evidencia cuando la luz polarizada del microscopio choca en los cristales de los minerales, el haz de luz se divide en dos rayos con diferente velocidad de propagación, al a travesar el mineral los rayos se cruzan mostrando una zona conocida como colores de interferencia (MacKenzie, 1997).

Los colores de interfaz dependerán de lo siguiente:

- Espesor de la lámina.
- Birrefringencia de la lámina delgada.
- Orientación de la placa con el mineral.

# Carta de colores de interferencia de Michel-Lévy

(Espectro de colores calculado con Matlab: B. E. Sørensen, 2011)

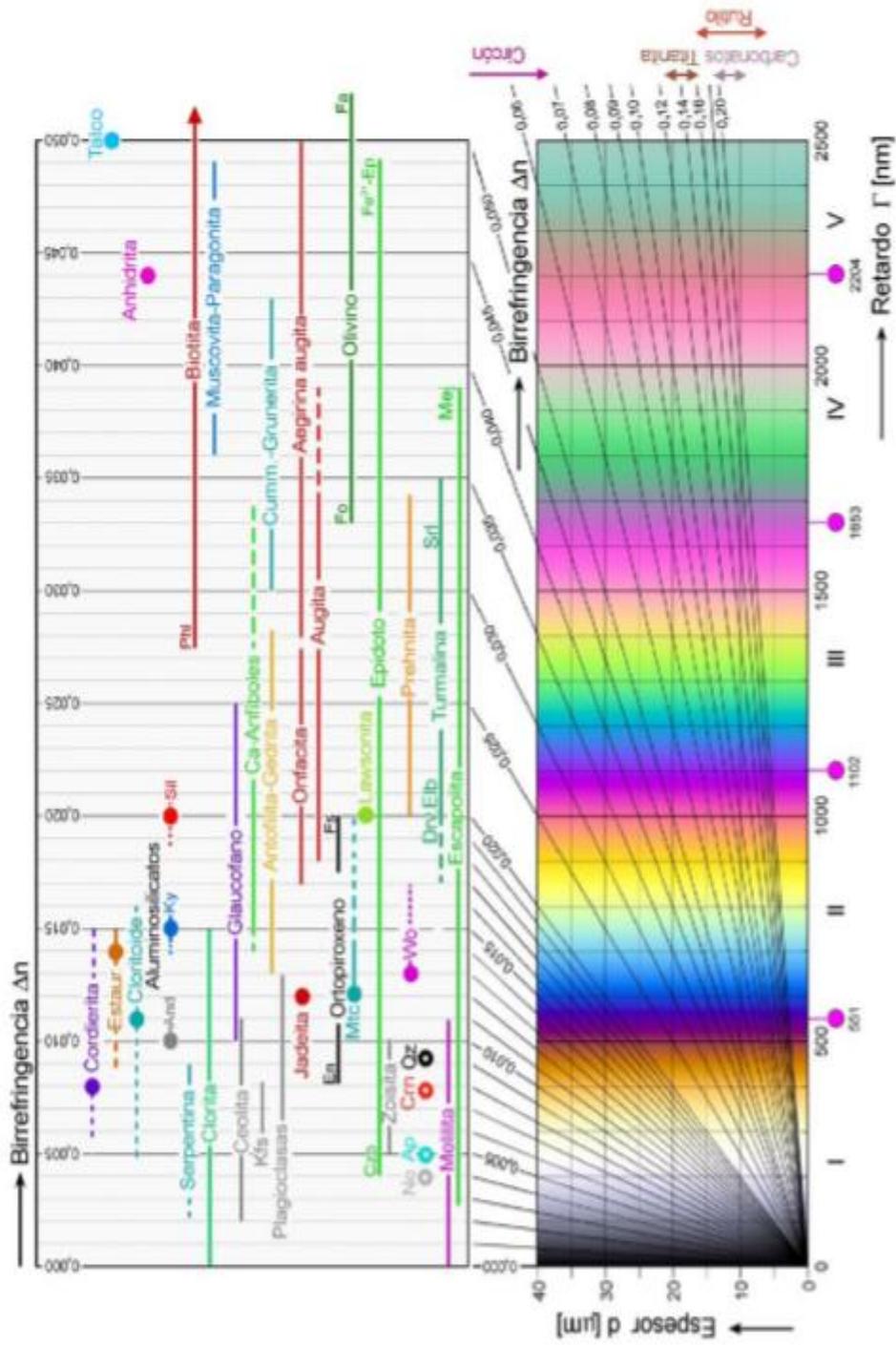


Figura 2.4: Escala de Birrefringencia.

Fuente: Raith (2012).

### 2.1.8. Ángulo de extinción

El ángulo generado entre el elemento morfológico de referencia y el sentido de la vibración, en una sección de un cristal se denomina ángulo de extinción, el mismo permite la caracterización de minerales monoclinicos y triclinicos (Raith, 2012).

El color de birrefringencia varía de intensidad al rotar la platina del microscopio petrográfico, la intensidad se vuelve casi nula al realizar una rotación de noventa grados, cuando el cristal no deja atravesar la luz se denomina como ángulo de extinción, el ángulo de extinción dependerá principalmente del ángulo formado entre una dirección bien definida y la posición de extinción (MacKenzie, 1997).



**Figura 2.5:** Ángulo de extinción en los minerales clinopiroxénicos.

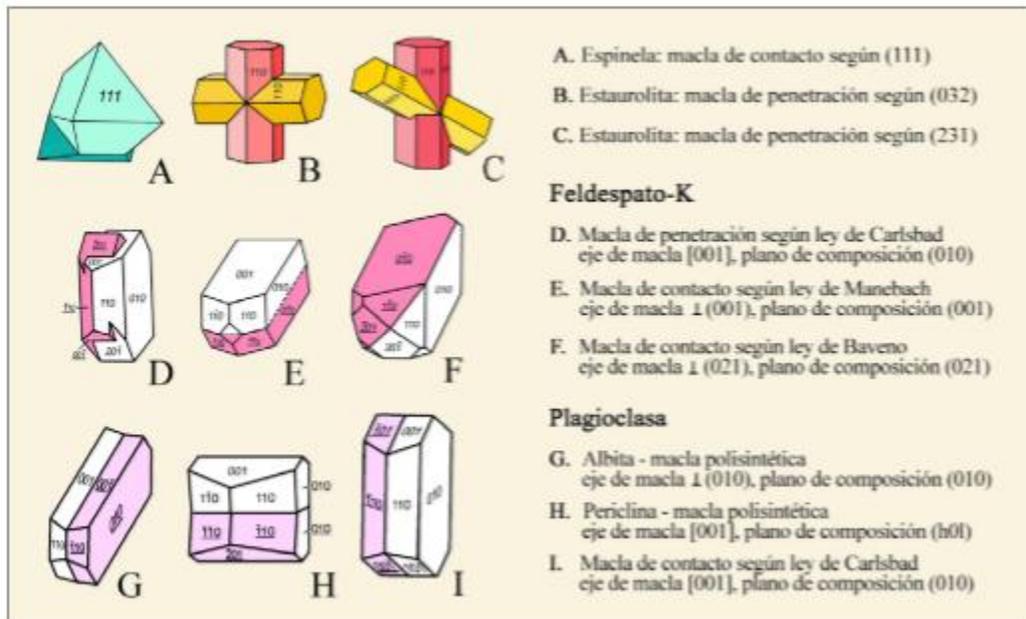
**Fuente:** Raith (2012).

### 2.1.9. Maclas

El origen de las maclas se da por el intercrecimiento de dos o más cristales del mismo tipo de mineral, el maclado también puede producirse por ciertos tipos de deformaciones. Cada parte de la especie de mineral maclado está intercedida de tal forma que una es la imagen especular de la otra, el plano de reflexión es el plano de macla o están giradas una con relación de la otra. La interfaz de macla corresponde normalmente con el plano de macla (Raith, 2012).

Según Raith (2012) existen varias clasificaciones de maclas:

- Maclas de contacto.
- Maclas de penetración.
- Maclas simples.
- Maclas polisintéticas.



**Figura 2.6:** Clasificación de las maclas.

**Fuente:** Raith (2012).

### 2.1.10. Alteración

La mayoría de minerales presentan este tipo de características que se genera debido a los factores de intemperismo (agua, viento, aire, calor, etc.) (MacKenzie, 1997).



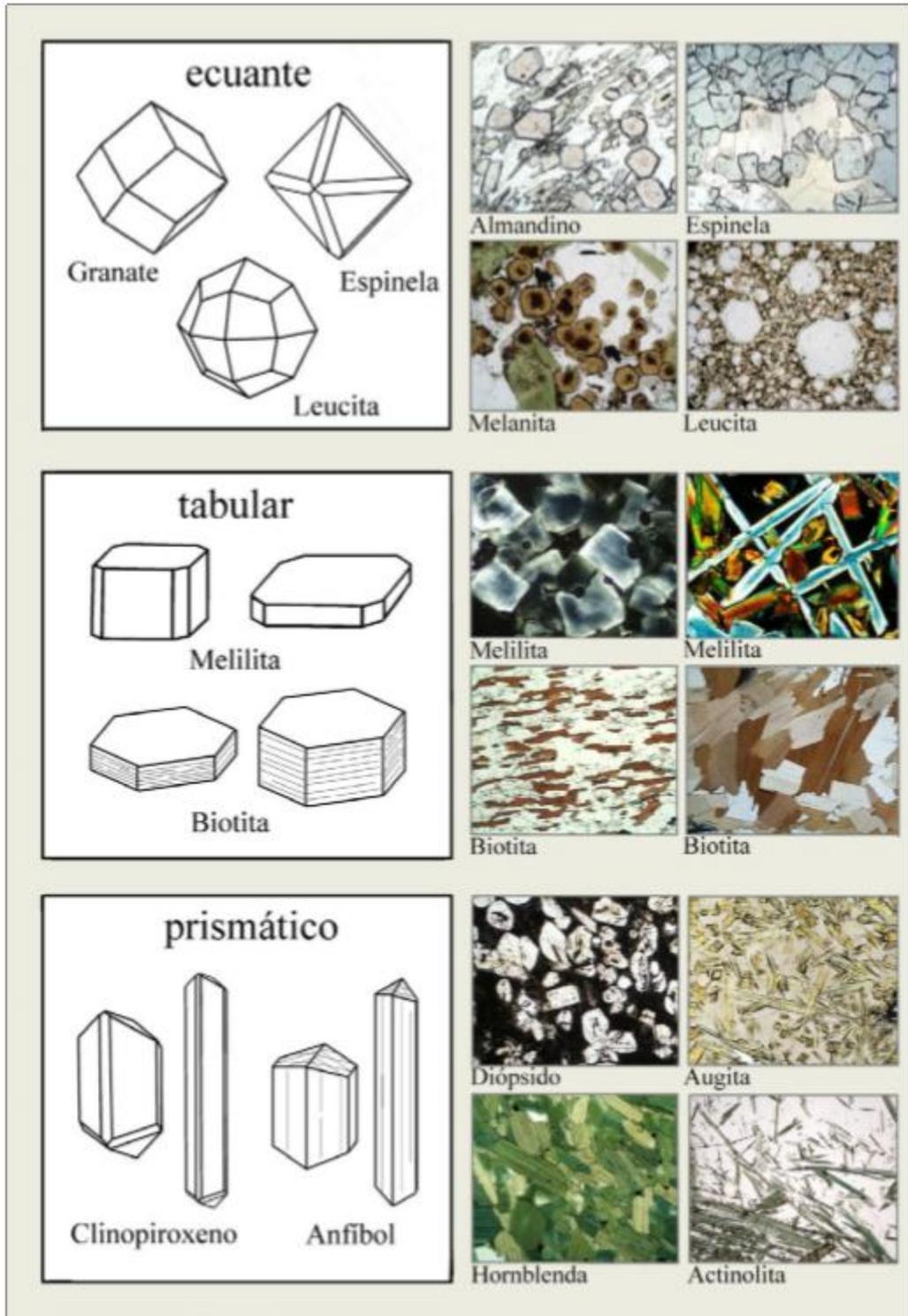
**Figura 2.7:** Transformación de biotina (marrón) a clorita (verde).

**Fuente:** Gil (2009).

### **2.1.11. Forma y hábito**

La forma se define por la presencia de caras bien formadas en los minerales, según estos parámetros los minerales se pueden clasificar en:

- **Automorfo:** Conocidos también como minerales euhedrales o idiomórficos, tienen límites rectilíneos con la presencia de caras bien formadas (Gil, 2009).
- **Subautomorfo:** Conocidos como minerales sudhedrales o hipidiomórficos, carecen de una forma definida con límites curvos y rectilíneos (Gil, 2009).
- **Xenomorfo:** Denominados también anhedrales o alotriomórficos y son minerales que carecen de límites en sus caras (Gil, 2009).



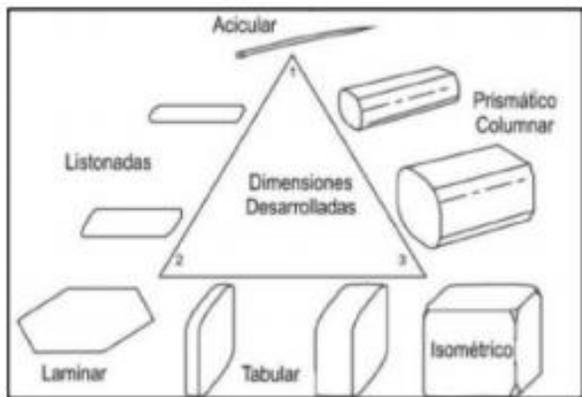
**Figura 2.8:** Hábito de cristales.

**Fuente:** Raith (2012).

El hábito es un término utilizado para describir a la forma que se presentan los cristales en una muestra macroscópica, esta es una vista en tres dimensiones y se define a través de la siguiente manera:

**Tabla 2.1** Calificativos para definir el hábito.

CALIFICATIVO	FORMA
Acicular	Agujas (prismático muy alargado)
Prismático	Alargada corta.
Tabular	Paralelepípedo
Planar	Hojosa o plana
Fibroso	Muy alargada



**Figura 2.9:** Forma de un mineral.

**Fuente:** Gil (2009).

## 2.2. Técnicas de análisis

### 2.2.1. Láminas delgadas

Para poder aplicar la técnica de microscopía óptica se debe generar láminas delgadas que consisten en seccionar la roca en láminas con un espesor de 30 micras, con esto al colocar la lámina en la

placa del microscopio polarizado atravesará la luz y permitirá que se distingan características particulares de los minerales traslúcidos que se encuentran en la muestra (Gil, 2009).

### **2.2.2. Análisis químico**

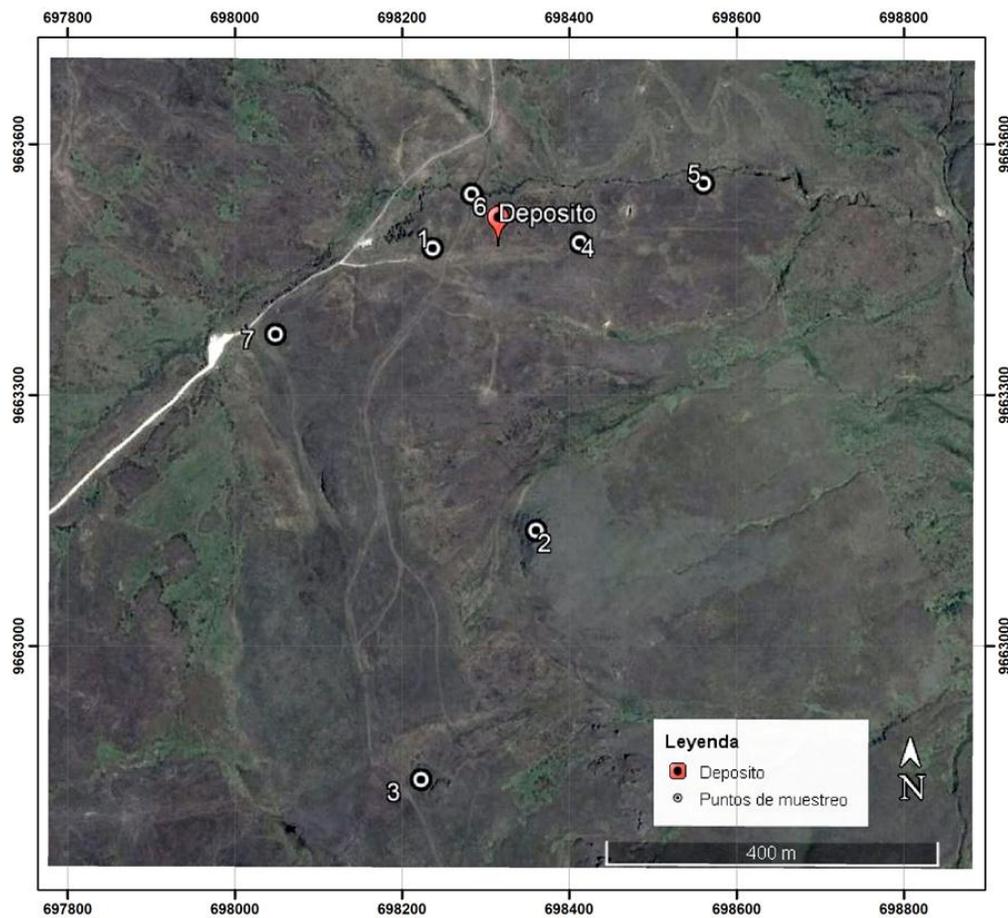
Para determinar los elementos y grupos funcionales presentes en un mineral se deberá realizar un análisis químico, este análisis se realiza mediante la aplicación de ciertas técnicas analíticas, dentro de estas técnicas está la de refracción de rayos X (DRX), esta es eficaz para determinar un análisis cualitativo y cuantitativo de las fases cristalinas presentes en la roca, en el ámbito minero esta se utiliza para caracterizar minerales con estructura cristalográfica definida, la difracción de los rayos X dependerá principalmente de la coacción del cristal y los rayos X, con la aplicación de esta técnica se logra determinar el porcentaje de los minerales presentes (Betancourt, 2010).

## CAPÍTULO III

### CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DELGADAS

#### 3.1 Obtención de muestras

Las muestras fueron tomadas de la zona aledaña al yacimiento mineral del Proyecto Loma Larga, georreferenciadas en mapas topográficos y geológicos para la correcta ubicación de cada muestra recolectada, las rocas pertenecen a la Formación Quimsacocha.



**Figura 3.1:** Área de muestreo.

**Fuente:** Google Earth (2019).

**Tabla 3.1** Coordenadas de las muestras.

Muestra	Coordenadas (X, Y) (WGS 84)
1	X: 698236; Y: 9663475
2	X: 698361; Y: 9663138
3	X: 698223; Y: 9662840
4	X: 698413; Y: 9663482
5	X: 698562; Y: 9663553
6	X: 698283; Y:9663540
7	X: 698047; Y:9663372

Se recolectaron 28 muestras en el campo utilizando GPS para obtener las coordenadas de cada punto en donde se tomaron las distintas rocas.

**Figura 3.2:** Obtención y zonas de muestreo.

### 3.2 Preparación de láminas delgadas

Para elaborar las láminas delgadas se deben seguir los siguientes procedimientos:

- Seccionar las rocas en una cortadora de diamante, la briqueta tendrá que tener las dimensiones adecuadas para ser pegado en una placa portaobjetos.



**Figura 3.3:** Corte primario de la roca.

- La briqueta tendrá que ser pulida para obtener una cara completamente plana para eliminar las rayas que se generan en el corte primario y evitar que se generen burbujas de aire al momento de adherirla a la placa portaobjetos.

Para el pulido de la cara de la briqueta se utilizó lijas número 400, 600, 800 y 1000 respectivamente.

- Para adherir la briqueta a la placa portaobjetos utilizamos pegamento epóxico, este pegamento está conformado por 2 componentes los que facilitan una adhesión óptima y que no genera burbujas de aire. El tiempo óptimo de secado es de 24 horas.
- Una vez que el adhesivo se ha secado por completo se procede a colocar la placa portaobjetos en una cortadora secundaria la cual generara la disminución del espesor de la muestra.



**Figura 3.4:** Máquina para el corte secundario de la briqueta.

- Posteriormente se realiza un pulido manual de las muestras para lograr un espesor aproximado de 30 micras, en este proceso es importante verificar las láminas en el microscopio para evitar una sobre devastación y evitar que los cristales que conforman la muestra pierdan su forma.



**Figura 3.5:** Lámina delgada con un espesor aproximado de 30 micras.

### 3.3 Caracterización mineralógica y clase de roca en la zona de investigación

#### 3.3.1 Clase de roca

Según los estudios realizados previamente por la empresa INV Metals, la roca existente en la zona de estudio es una andesita.

##### 3.3.1.1 Andesita

La andesita es una roca de tipo volcánico de composición media que tiene como matriz principalmente plagioclasa, y contiene minerales secundarios como: biotita, piroxeno y hornblenda (MacKenzie, 1996).

La textura de la andesita es afanítica-porfídica y de acuerdo a la escala de Mohs presenta una dureza entre 5 y 6. En su estructura presenta cuarzo, feldespato y piroxeno como minerales accesorios y en ocasiones presenta cristales de olivino (National Audubon Society, 2008).

**Tabla 3.2** Minerales y porcentajes en las rocas andesíticas.

Mineral	Porcentaje
Plagioclasa	> 90 %
Hornblenda	25-40 %
Biotita	25-40 %
Piroxeno (Augita)	25-40 %
Cuarzo	< 5 %
Feldespato	< 5 %
Piroxeno (hiperstena)	< 5 %
Olivino	< 5 %

**Fuente:** Dorrnsoro (2016).

### **3.3.1.2 Basaltos**

El basalto es un tipo de roca volcánica, en sus componentes se diferencian principalmente plagioclasa, piroxenos (ortopiroxeno o clinopiroxeno). Esta es una sub-clasificación de las rocas andesitas en el diagrama QAPF, la diferencia principal es su color más fuerte. Los basaltos generalmente presentan menor contenido de cuarzo como de olivino o feldespatoides (National Audubon Society, 2008).

### **3.3.1.3 Riolita**

Las rocas riolíticas son rocas volcánicas ricas en sílice formada principalmente por cristales de cuarzo, feldespatos y biotita como minerales principales, puede presentar textura vítrea o afanítica. Esta presenta una composición félsica (ácida) dominada por cuarzo (mayor al 30 %) y feldespatos (mayor al 30 %), suele presentar colores grises blanquecinos, a levemente rosados por el alto contenido de feldespatos.

## **3.4 Propiedades ópticas de los minerales**

Anteriormente se detalló las principales características ópticas que nos permiten identificar los minerales presentes en las rocas.

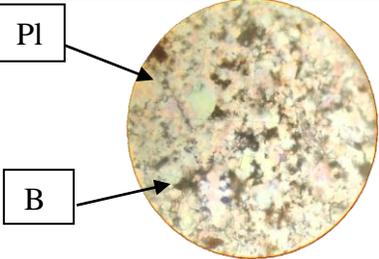
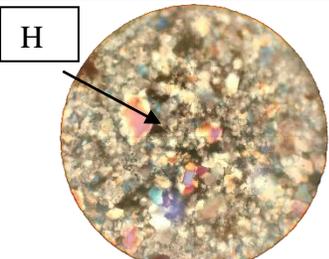
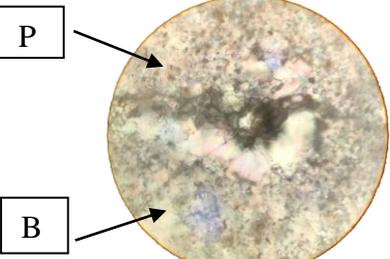
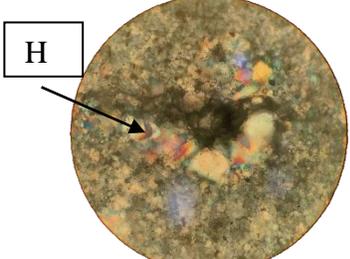
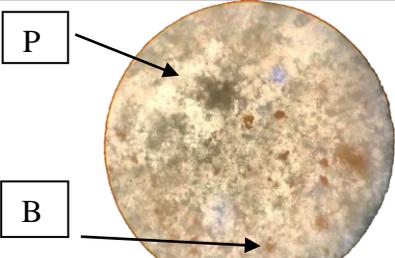
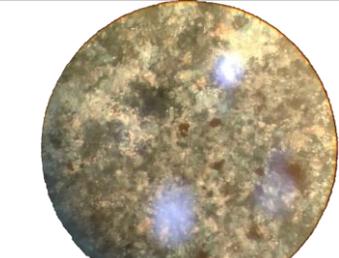
Tabla 3.3 Propiedades ópticas de los minerales.

MINE- RAL PROPIEDADES	CUARZO	PLAGIOCLASA	FELDESPATO	HORNBLENDA	OLIVINO	BOTITA	PIROXENO (AUGITA)	EPIDOTA
SISTEMA DE CISTALIZACIÓN	Hexagonal	Triclinico	Monoclinico	Monoclinico	Rómbico	Monoclinico	Monoclinico	Monoclinico
COLOR	Incoloro	Incoloro	Incoloro - Opaco por alteración	Verde a Café	Incoloro (amarillo presencia de Fe)	Café, café amarillento y rojizo, verde	Incoloro	Amarillo verdoso - Incoloro
PLEOCROÍSMO	No presenta	No presenta	No presenta	Marcado - verde a marrón	No presenta	Marcado	Débil	Débil
FORMA	Cristales prismáticos - forma anhedral	Cristales euhedrales o anhedrales	Fenocristales subhedrales y anhedrales	Secciones seudo hexagonales - cristales raramente definidos	Cristales masivos	Tabular, en láminas y placas	Cristales subhedrales de 4 y 8 lados	Prismática, fibrosa y Hexagonal
MACLAS	No	Si	Si	Si	Si	No	Si	No
RELIEVE	Muy bajo	Bajo	Bajo	Alto	Medio a alto	Alto	Alto	Alto
COLOR DE INTERFERENCIA	Blanco - Primer orden	Gris a blanco - primer orden	Blanco a gris - Primer orden	Segundo Orden	Final del segundo orden y comienzo del tercer orden	Tercer orden	Segundo Orden	Amarilla a rosado - Segundo orden
BIRREFINGENCIA	Débil	Débil	Débil	Moderado	Muy Alta	Medio	Medio	Medio
EXTINCIÓN	Paralela a los cristales euhedrales	13 - 27°	De 5 - 13%	12 - 30°	Recta	1 - 6°	36 - 45°	65 - 90°
ROCAS DONDE SE ENCUENTRAN	Todo tipo de Roca	Rocas ígneas	Rocas ígneas	Rocas ígneas	Rocas ígneas	Rocas ígneas y metamórficas	Rocas ígneas y metamórficas	Rocas ígneas y metamórficas

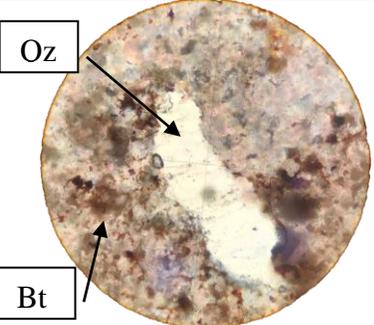
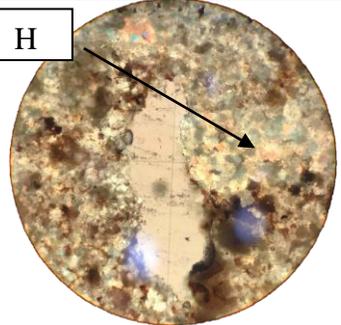
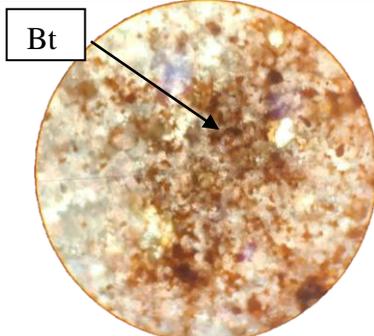
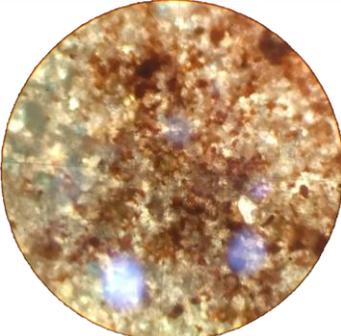
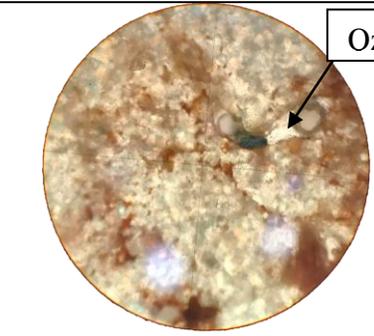
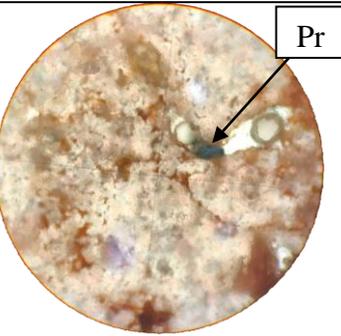
Fuente: MacKenzie (1997).

**3.5 Fotografías y caracterización mineralógica de las láminas delgadas mediante la luz polarizada plana (LPNA) y luz polarizada analizada (LPA)**

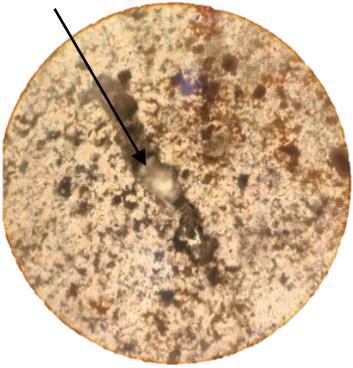
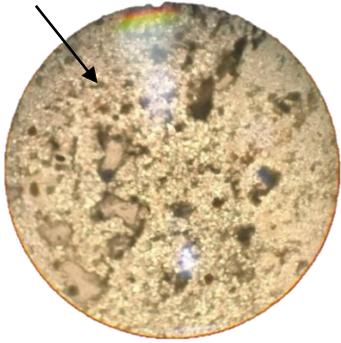
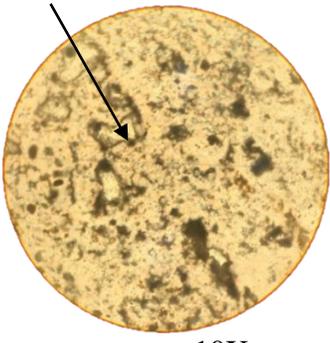
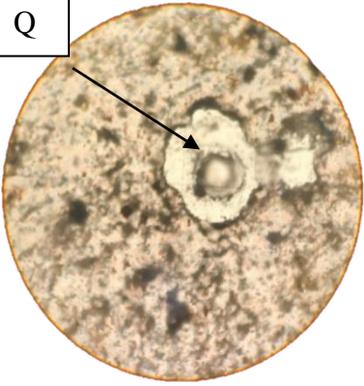
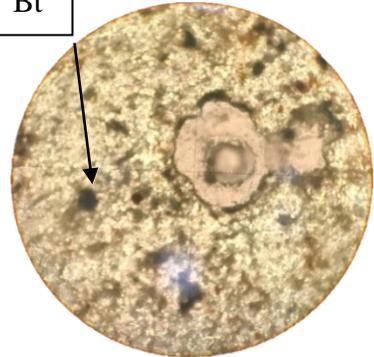
**Tabla 3.4** Caracterización mineralógica de la muestra # 1.

FICHA 1		MUESTRA 1	
Coordenada Este		698236	
Coordenada Norte		9663475	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Biotita (Bt) Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Biotita (Bt)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	
Biotita (Bt) Plagioclasa (Pl)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	

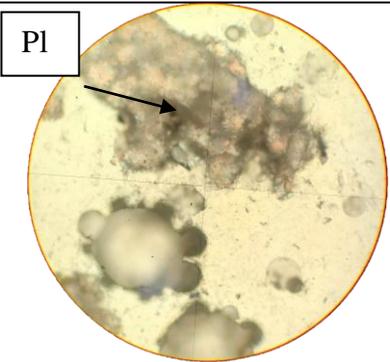
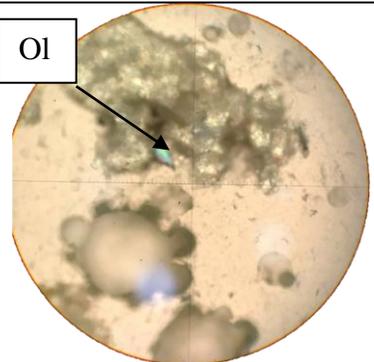
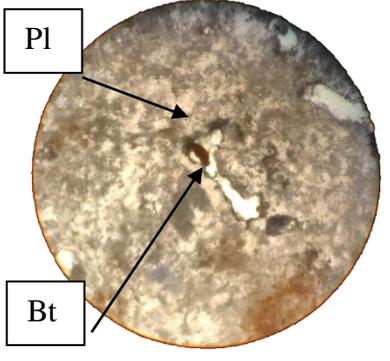
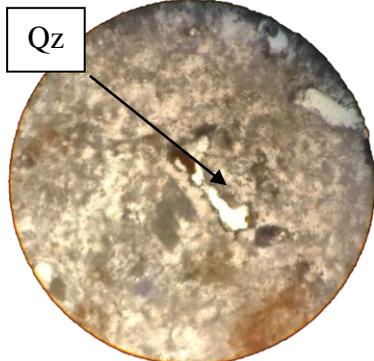
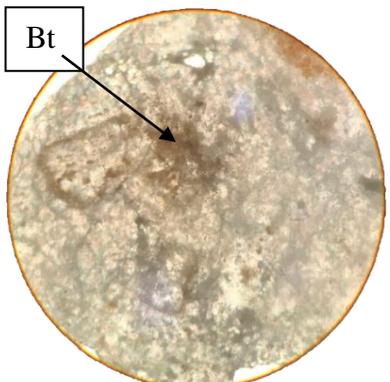
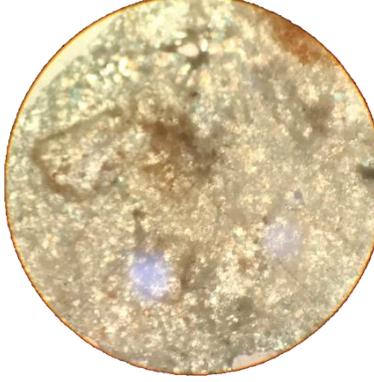
**Tabla 3.5** Caracterización mineralógica de la muestra # 2.

FICHA 2		MUESTRA 2	
Coordenada Este		698236	
Coordenada Norte		9663475	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Cuarzo (Qz) Hornblenda (H) Biotita (Bt)	 <p>Oz</p> <p>Bt</p> <p>20X</p>	 <p>H</p> <p>20X</p>	
Biotita (Bt) Plagioclasa (Pl)	 <p>Bt</p> <p>20X</p>	 <p>20X</p>	
Plagioclasa (Pl) Cuarzo (Qz) Piroxeno (Pr)	 <p>Qz</p> <p>20x</p>	 <p>Pr</p> <p>20x</p>	

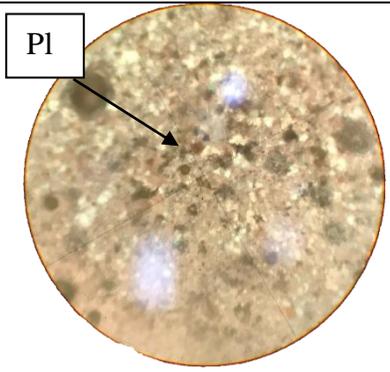
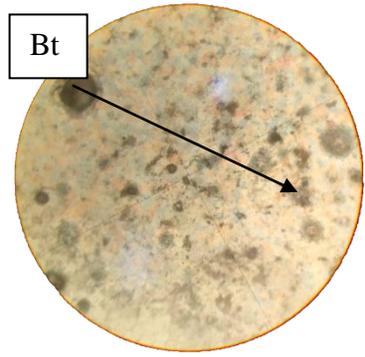
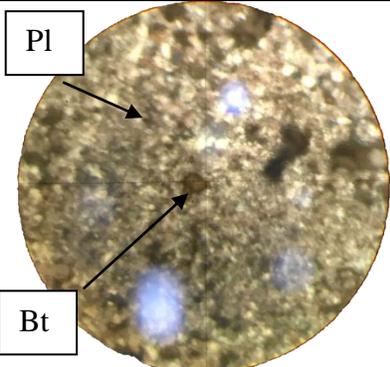
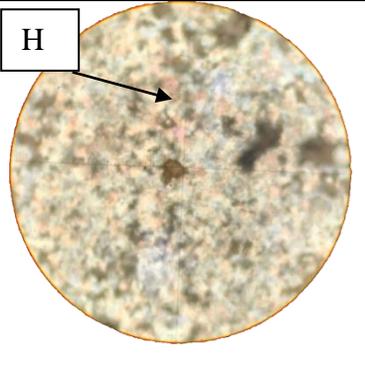
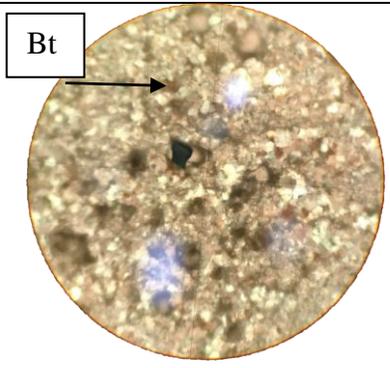
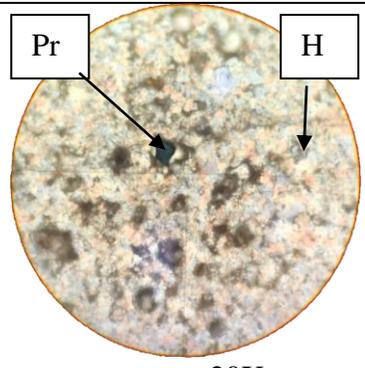
**Tabla 3.6** Caracterización mineralógica de la muestra # 3.

FICHA 3	MUESTRA 3	
Coordenada Este	698236	
Coordenada Norte	9663475	
Tipo de Roca	Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA
Biotita (Bt) Cuarzo (Qz)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Bt</div>  10X	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Qz</div>  10x
Plagioclasa (Pl) Cuarzo (Qz)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Pl</div>  10X	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Qz</div>  10X
Cuarzo (Qz) Biotita (Bt) Plagioclasa (Pl)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Q</div>  10X	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Bt</div>  10X

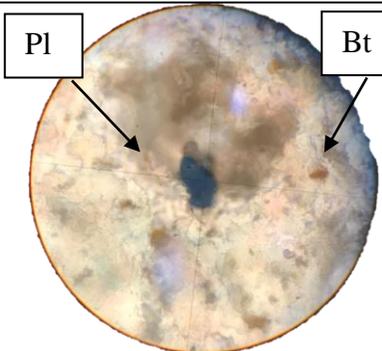
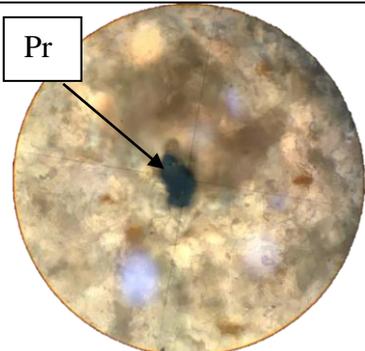
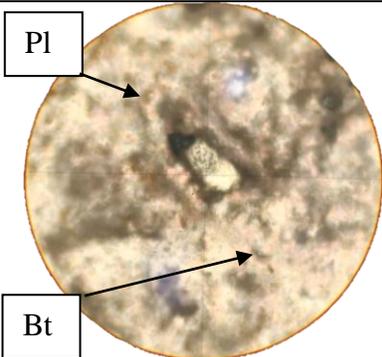
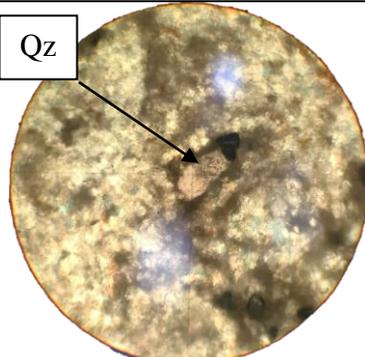
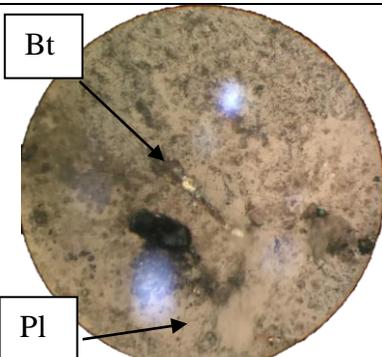
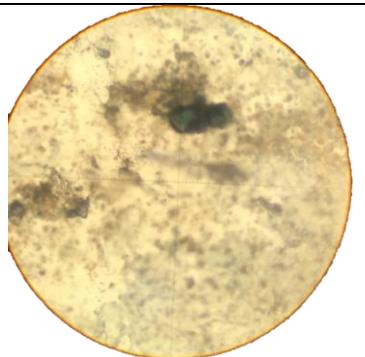
**Tabla 3.7** Caracterización mineralógica de la muestra # 5.

FICHA 4		MUESTRA 5	
Coordenada Este		698361	
Coordenada Norte		9663138	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Plagioclasa (Pl) Olivino (Ol)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Cuarzo (Qz)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Hornblenda (H)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	

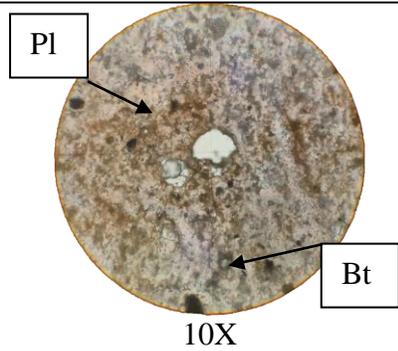
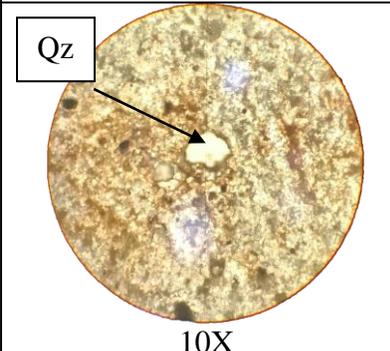
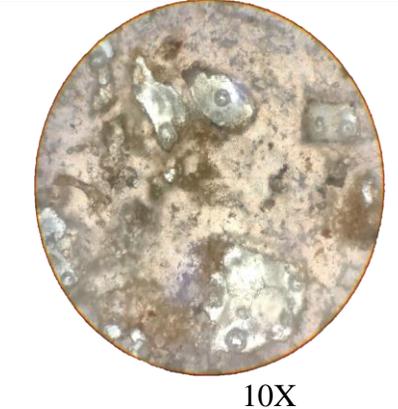
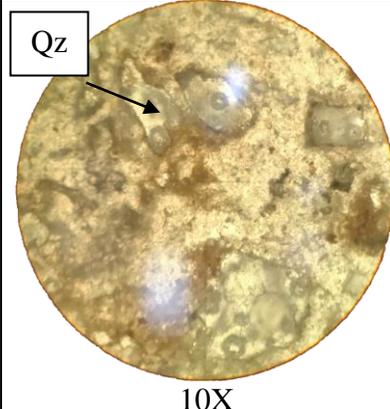
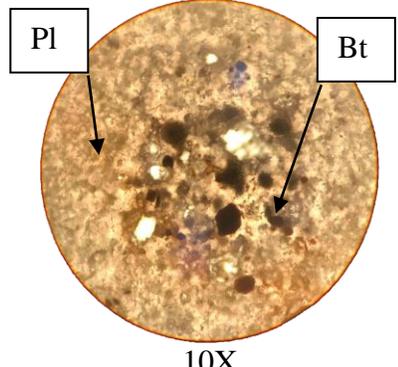
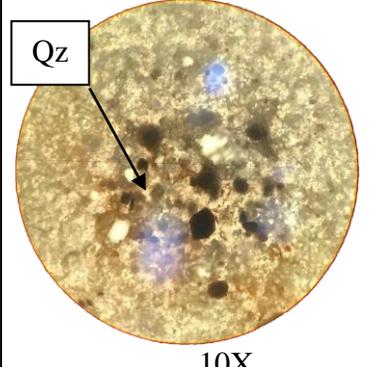
**Tabla 3.8** Caracterización mineralógica de la muestra # 6.

FICHA 5		MUESTRA 6
Coordenada Este		698361
Coordenada Norte		9663138
Tipo de Roca		Andesita
Minerales Presentes	LPNA	LPA
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Biotita (Bt)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Biotita (Bt) Piroxeno (Pr)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>

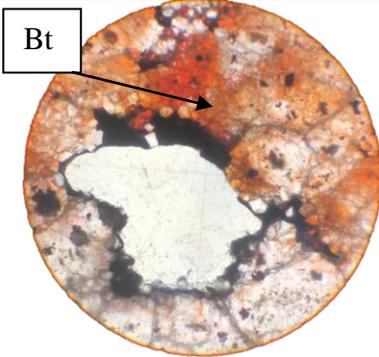
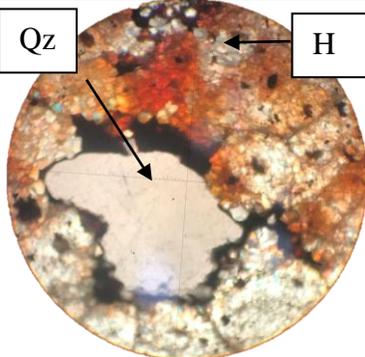
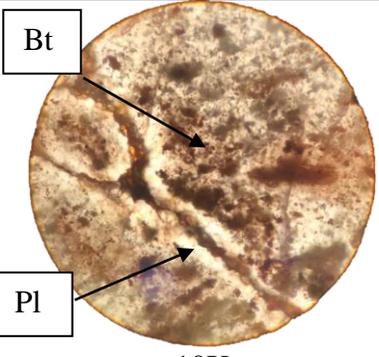
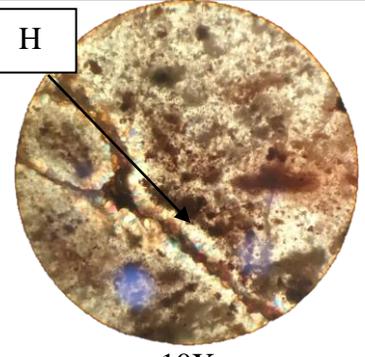
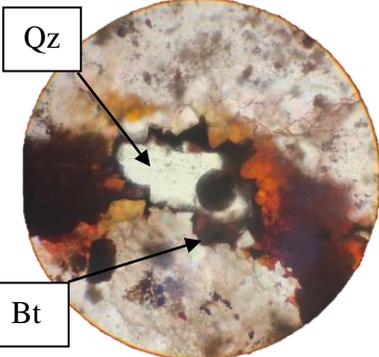
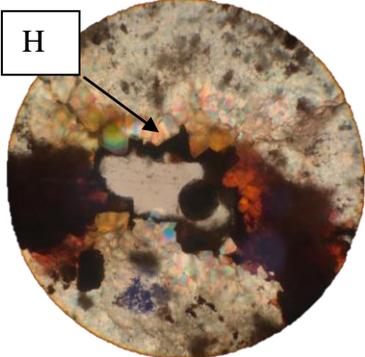
**Tabla 3.9** Caracterización mineralógica de la muestra # 7.

FICHA 6		MUESTRA 7	
Coordenada Este		698361	
Coordenada Norte		9663475	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Piroxeno (Pr)	 <p>40X</p>	 <p>40X</p>	
Cuarzo (Qz) Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	
Biotita (Bt) Plagioclasa (Pl)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	

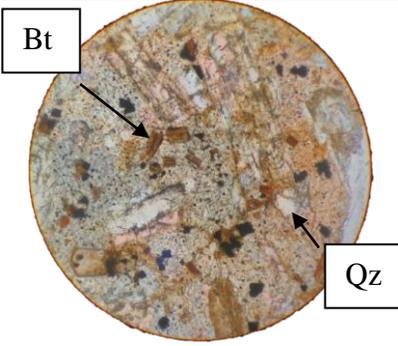
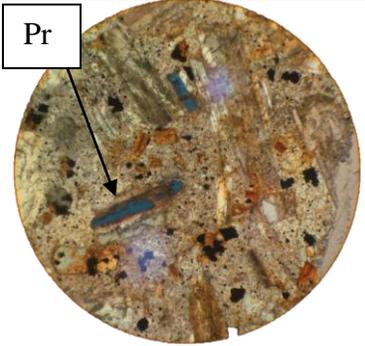
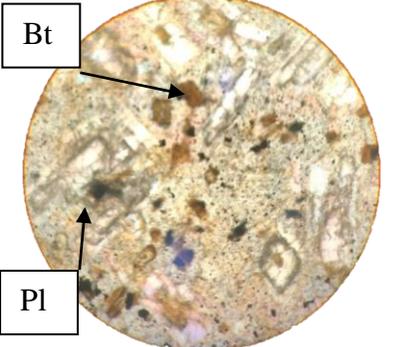
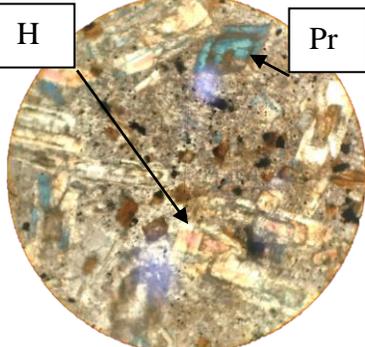
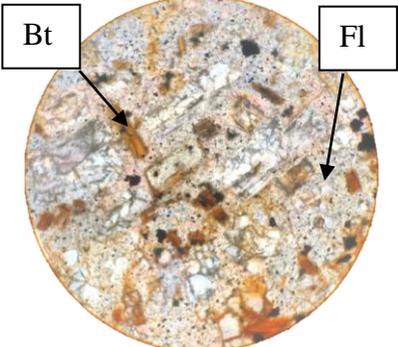
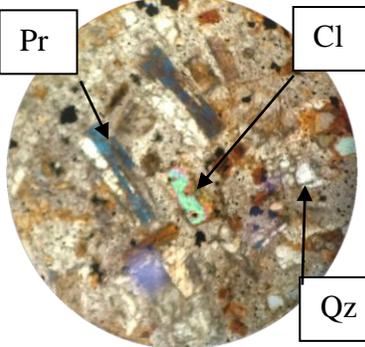
**Tabla 3.10** Caracterización mineralógica de la muestra # 9.

FICHA 7		MUESTRA 9	
Coordenada Este		698223	
Coordenada Norte		9662840	
Tipo de Roca		Riolita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Cuarzo (Qz)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Cuarzo (Qz)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Cuarzo (Qz)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	

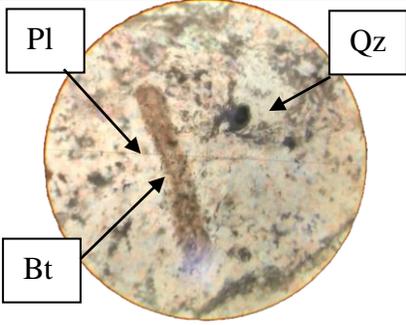
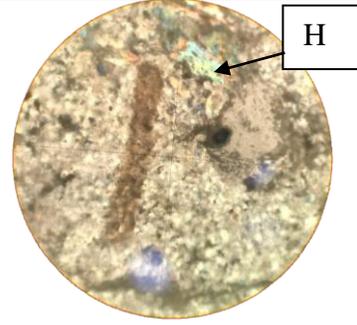
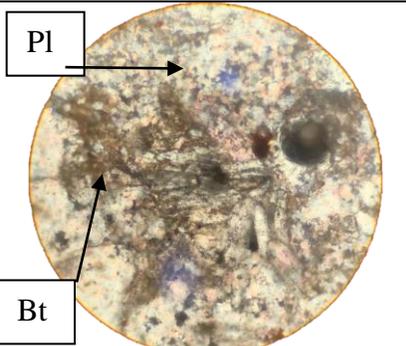
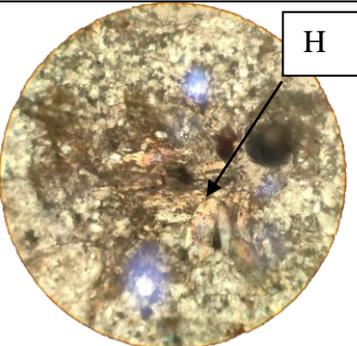
**Tabla 3.11** Caracterización mineralógica de la muestra # 10.

FICHA 8	MUESTRA 10	
Coordenada Este	698223	
Coordenada Norte	9662840	
Tipo de Roca	Riolita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA
Cuarzo (Qz) Biotita (Bt) Hornblenda (H)	 <p>Bt</p> <p>10X</p>	 <p>Qz</p> <p>H</p> <p>10X</p>
Biotita (Bt) Hornblenda (H) Plagioclasa (Pl)	 <p>Bt</p> <p>Pl</p> <p>10X</p>	 <p>H</p> <p>10X</p>
Cuarzo (Qz) Biotita (Bt) Plagioclasa (Pl)	 <p>Qz</p> <p>Bt</p> <p>10X</p>	 <p>H</p> <p>10X</p>

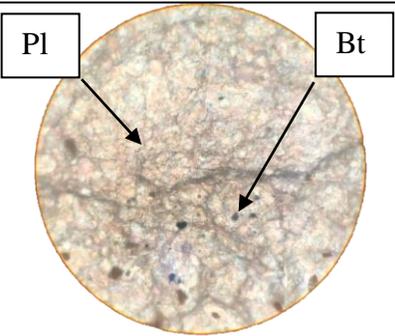
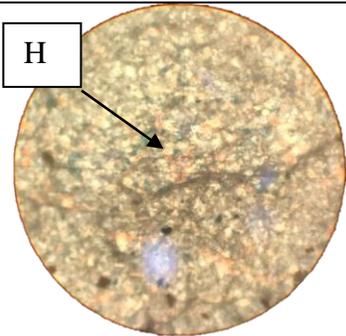
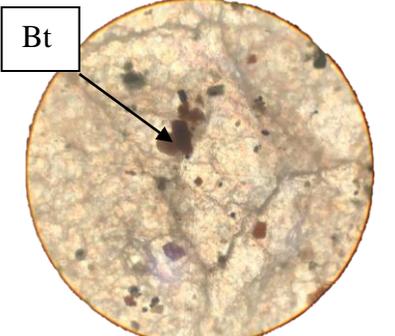
**Tabla 3.12** Caracterización mineralógica de la muestra # 11.

FICHA 9		MUESTRA 11	
Coordenada Este		698223	
Coordenada Norte		9662840	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Biotita (Bt) Piroxeno (Pr) Feldspato (Fl) Cuarzo (Qz)	 <p>Bt</p> <p>Qz</p> <p>10X</p>	 <p>Pr</p> <p>10X</p>	
Biotita (Bt) Hornblenda (H) Piroxeno (Pr)	 <p>Bt</p> <p>Pl</p> <p>10X</p>	 <p>H</p> <p>Pr</p> <p>10X</p>	
Biotita (Bt) Piroxeno (Augita) (Pr) Clorita (Cl) Hornblenda (H) Feldspato (Fl)	 <p>Bt</p> <p>Fl</p> <p>10X</p>	 <p>Pr</p> <p>Cl</p> <p>Qz</p> <p>10X</p>	

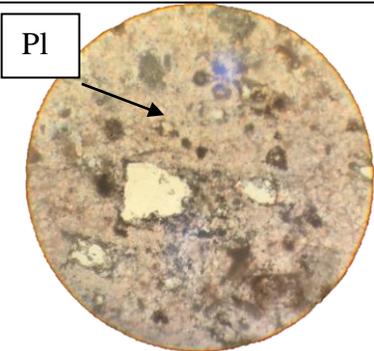
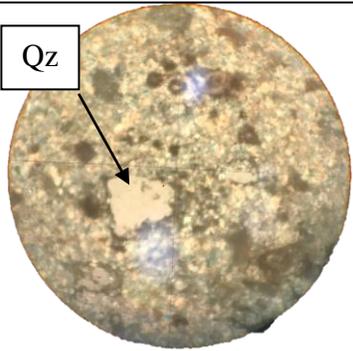
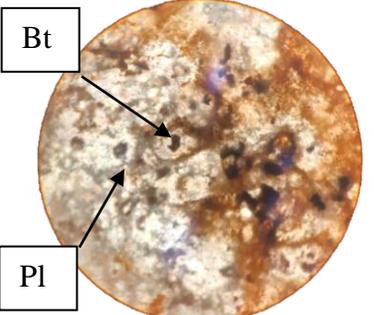
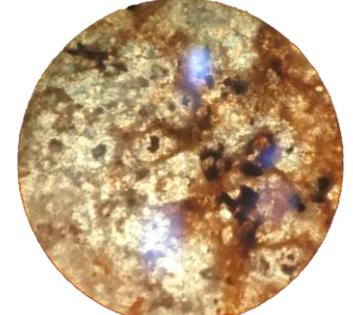
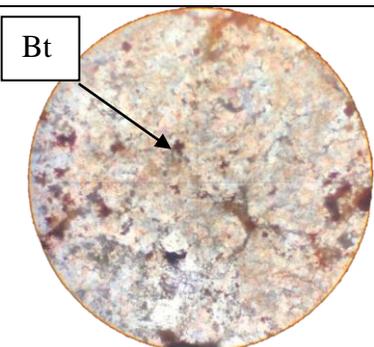
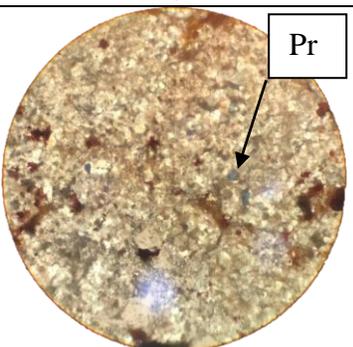
**Tabla 3.13** Caracterización mineralógica de la muestra # 13.

FICHA 10		MUESTRA 13	
Coordenada Este		698413	
Coordenada Norte		9663482	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Plagioclasa (Pl) Cuarzo (Qz) Hornblenda (H)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	
Hornblenda (H) Plagioclasa (Pl)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	

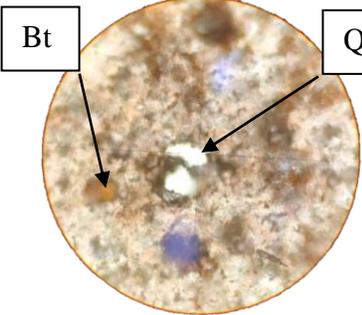
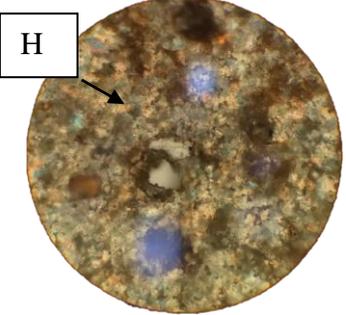
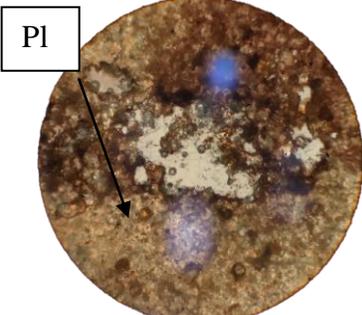
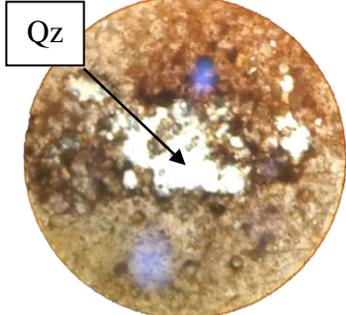
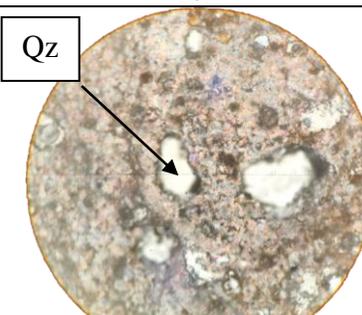
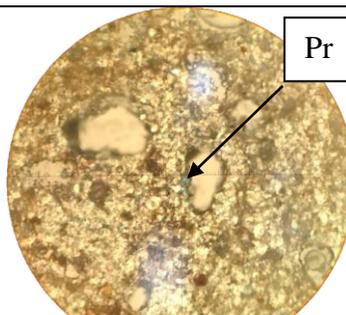
**Tabla 3.14** Caracterización mineralógica de la muestra # 14.

FICHA 11		MUESTRA 14	
Coordenada Este		698413	
Coordenada Norte		9663482	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Biotita (Bt) Hornblenda (H) Plagioclasa (Pl)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	
Biotita (Bt) Plagioclasa (Pl)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	

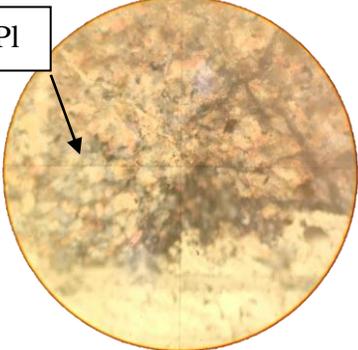
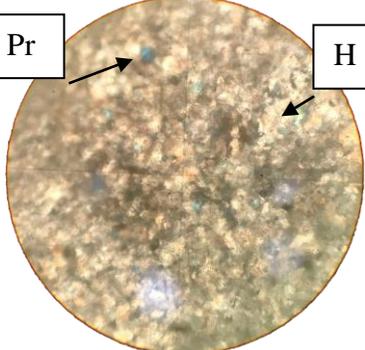
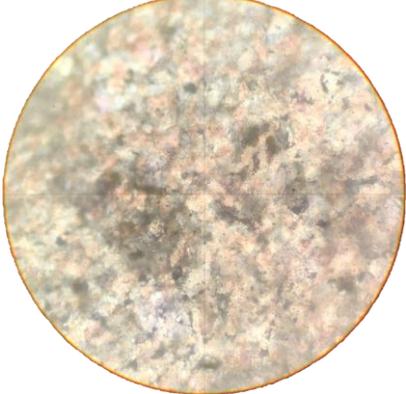
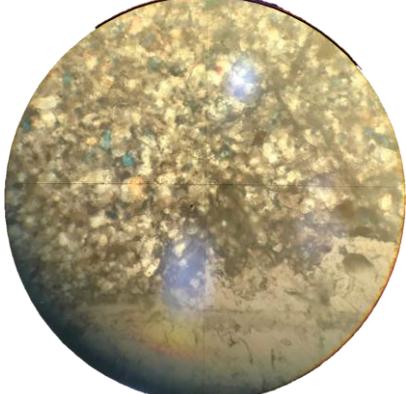
**Tabla 3.15** Caracterización mineralógica de la muestra # 16.

FICHA 12		MUESTRA 16
Coordenada Este		0698413
Coordenada Norte		9663482
Tipo de Roca		Andesita
Minerales Presentes	LPNA	LPA
Cuarzo (Qz) Plagioclasa (Pl)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>
Biotita (Bt) Plagioclasa (Pl)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Piroxeno (Pr)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>

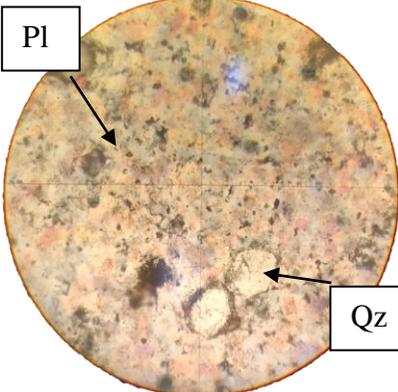
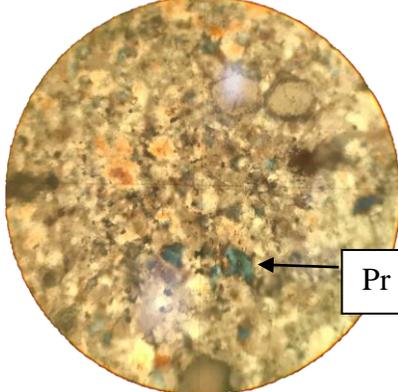
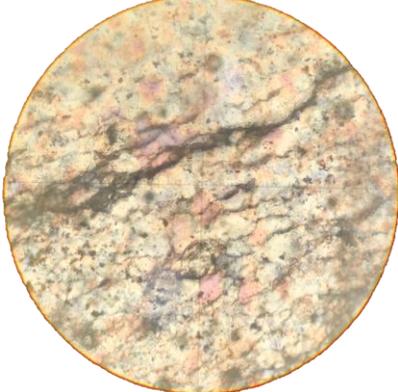
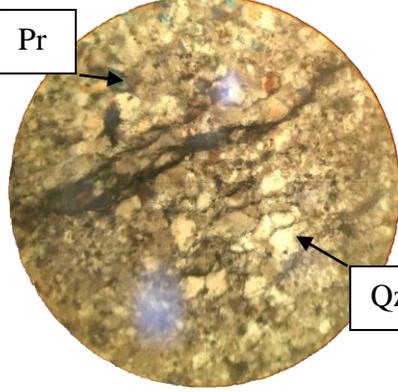
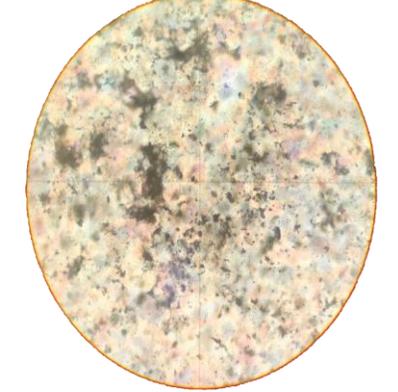
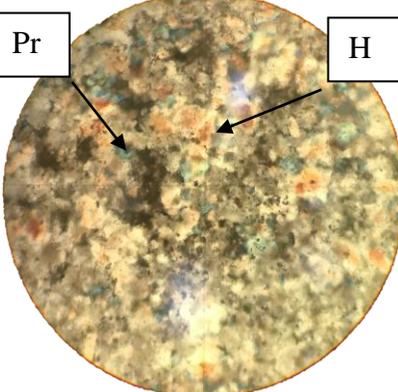
**Tabla 3.16** Caracterización mineralógica de la muestra # 17.

FICHA 13		MUESTRA 17	
Coordenada Este		698283	
Coordenada Norte		9663540	
Tipo de Roca		Riolita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Cuarzo (Qz) Biotita (Bt) Hornblenda (H) Plagioclasa (Pl)	 <p style="text-align: center;">20X</p>	 <p style="text-align: center;">20X</p>	
Cuarzo (Qz) Plagioclasa (Pl)	 <p style="text-align: center;">10X</p>	 <p style="text-align: center;">10X</p>	
Cuarzo (Qz) Plagioclasa (Pl) Piroxeno (Pr) Hornblenda (H)	 <p style="text-align: center;">10X</p>	 <p style="text-align: center;">10X</p>	

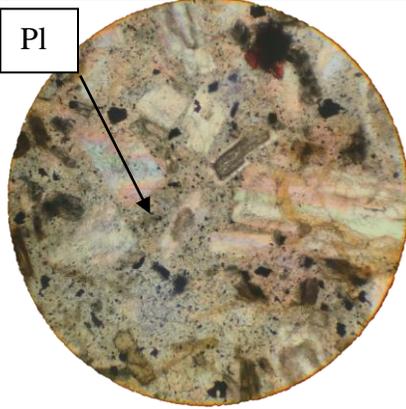
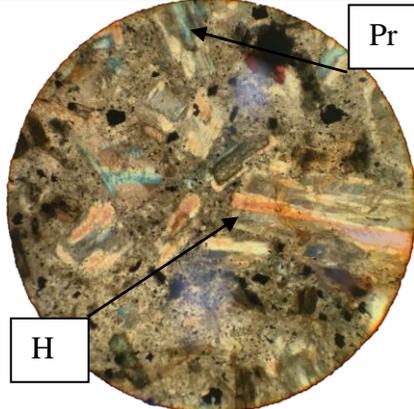
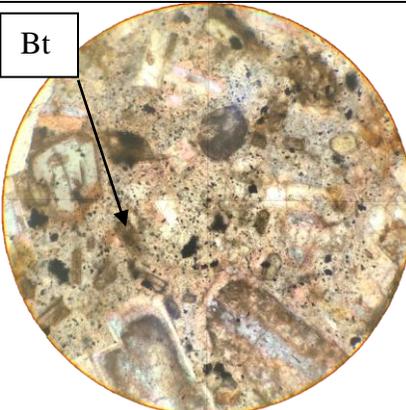
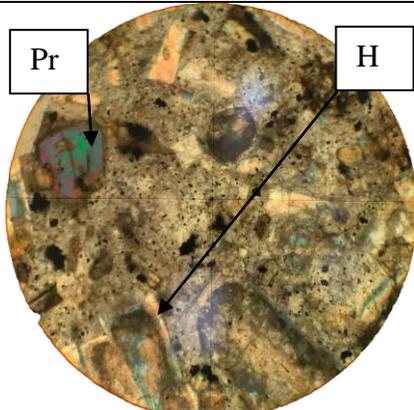
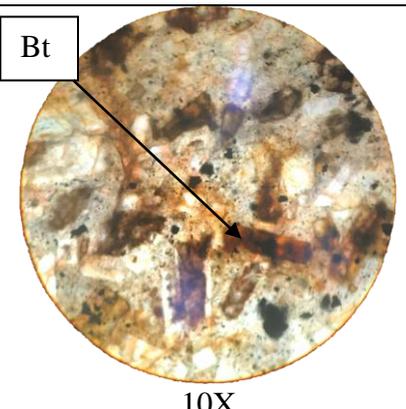
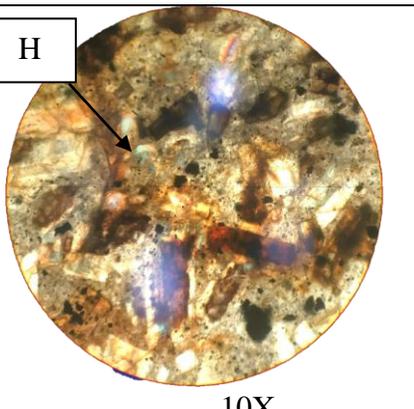
**Tabla 3.17** Caracterización mineralógica de la muestra # 18.

FICHA 14		MUESTRA 18	
Coordenada Este		698283	
Coordenada Norte		9663540	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Piroxeno (Pr)	 <p>Pl</p> <p>20X</p>	 <p>Pr</p> <p>H</p> <p>20X</p>	
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Piroxeno (Pr)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	

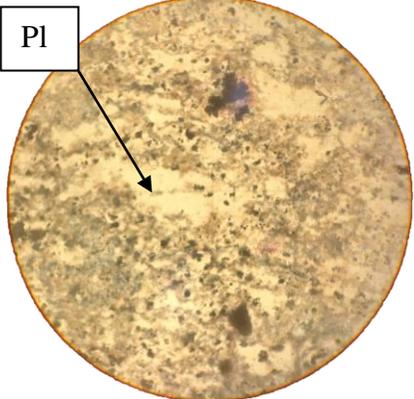
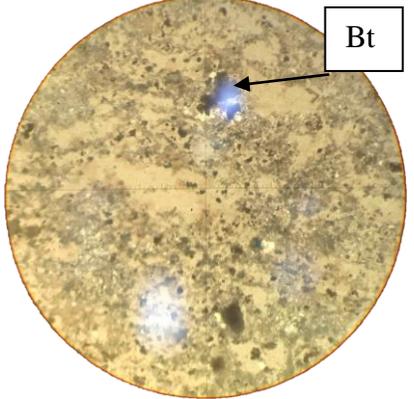
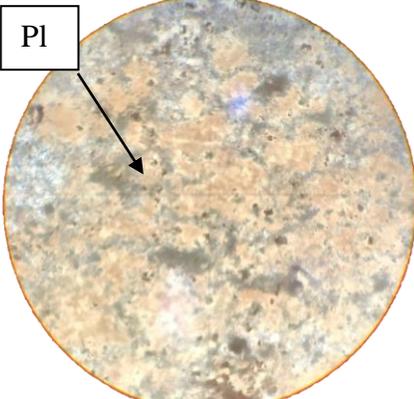
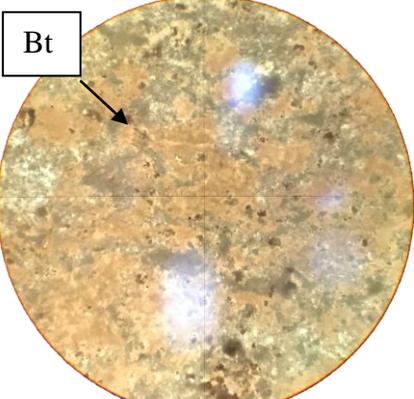
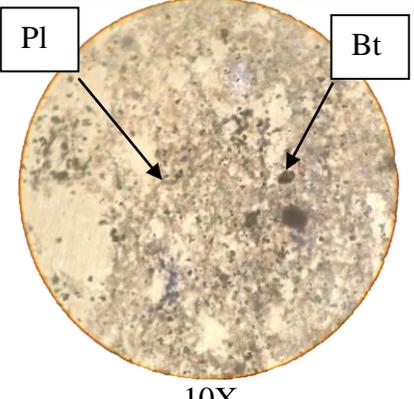
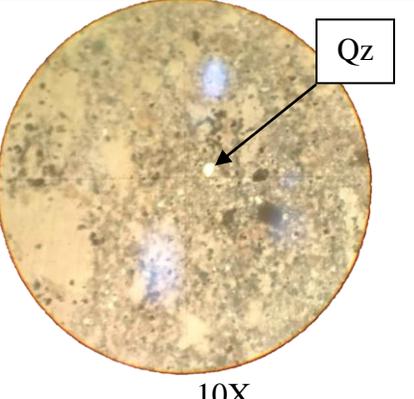
**Tabla 3.18** Caracterización mineralógica de la muestra # 19.

FICHA 15		MUESTRA 19	
Coordenada Este		698283	
Coordenada Norte		9663540	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Piroxeno (Pr) Cuarzo (Qz) Biotita (Bt)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Piroxeno (Pr) Cuarzo (Qz) Biotita (Bt)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H)	 <p>20X</p>	 <p>20X</p>	

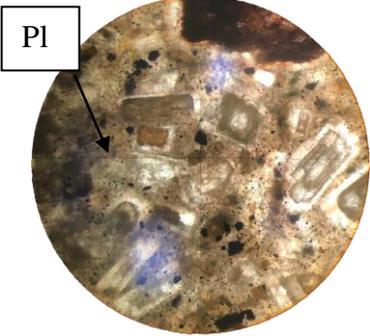
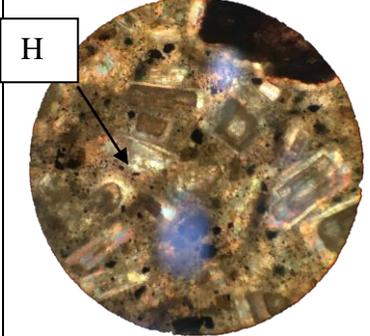
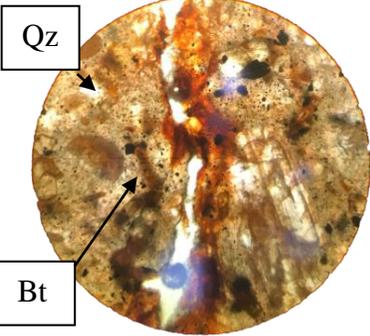
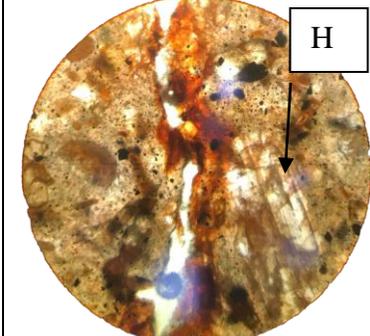
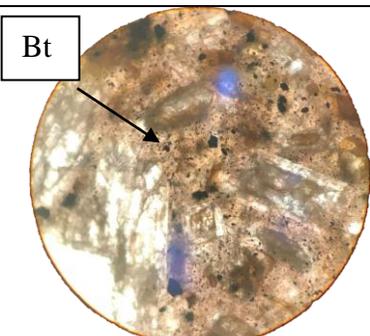
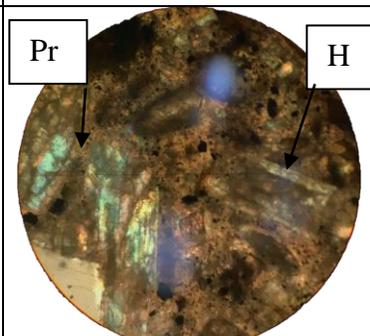
**Tabla 3.19** Caracterización mineralógica de la muestra # 21.

FICHA 16	MUESTRA 21	
Coordenada Este	0698562	
Coordenada Norte	9663553	
Tipo de Roca	Basalto	
Minerales Presentes	LPNA	LPA
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Biotita (Bt) Piroxeno (Pr)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Biotita (Bt) Piroxeno (Pr)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H) Biotita (Bt) Piroxeno (Pr)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>

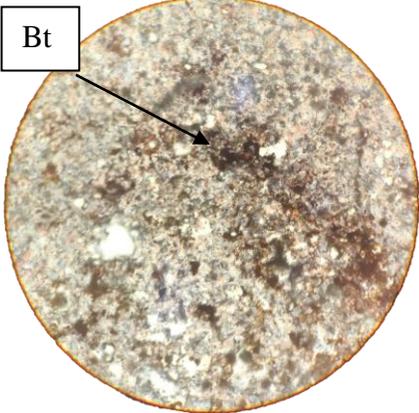
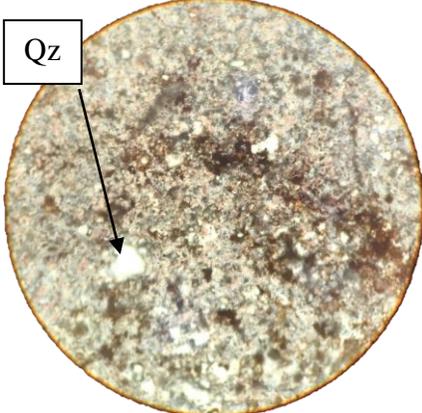
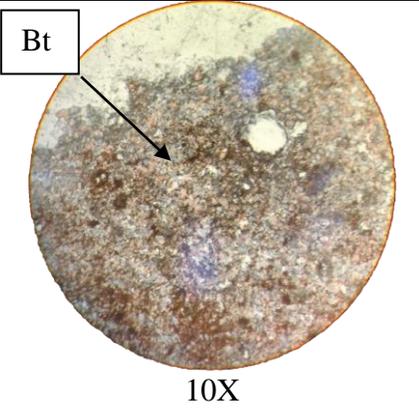
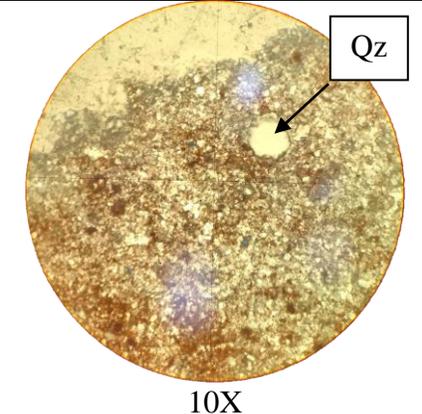
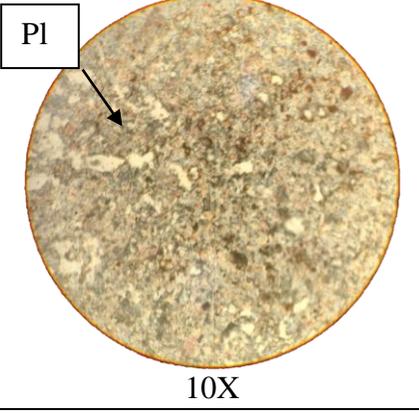
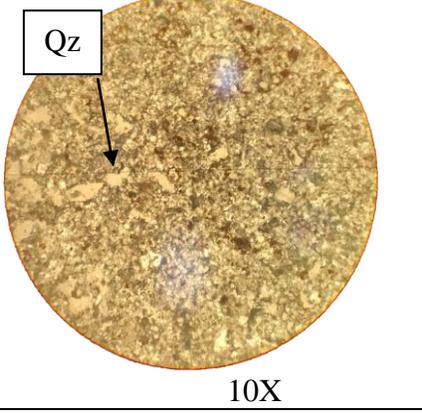
**Tabla 3.20** Caracterización mineralógica de la muestra # 22.

FICHA 17	MUESTRA 22	
Coordenada Este	0698283	
Coordenada Norte	9663540	
Tipo de Roca	Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Cuarzo (Qz)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Cuarzo (Qz)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>

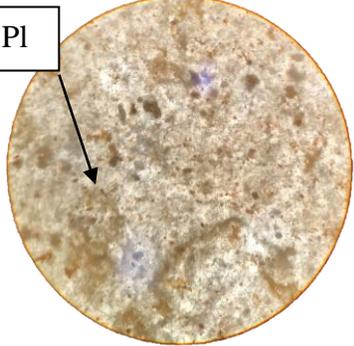
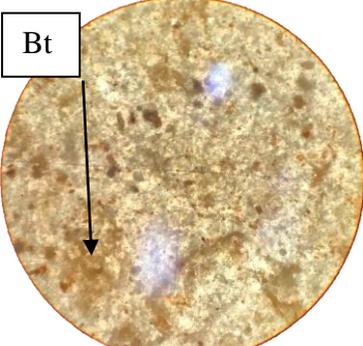
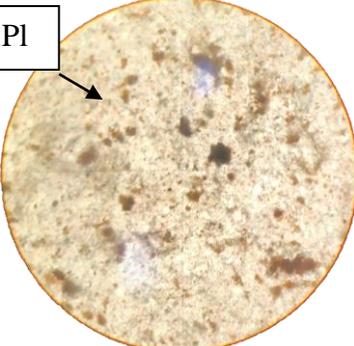
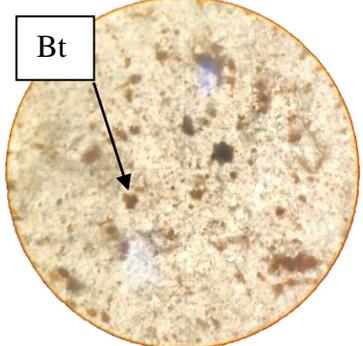
**Tabla 3.21** Caracterización mineralógica de la muestra # 23.

FICHA 18	MUESTRA 23	
Coordenada Este	0698283	
Coordenada Norte	9663540	
Tipo de Roca	Basalto	
Minerales Presentes	LPNA	LPA
Plagioclasa (Pl) Hornblenda (H)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>
Biotita (Bt) Cuarzo (Qz) Hornblenda (H)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>
Plagioclasa (Pl) Piroxeno (Pr) Biotita (Bt) Hornblenda (H)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>

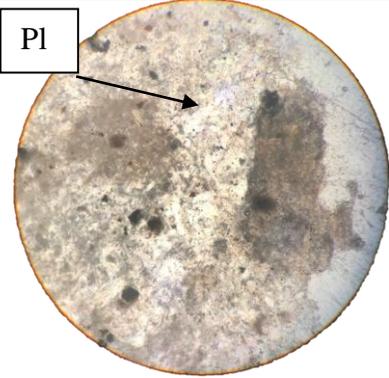
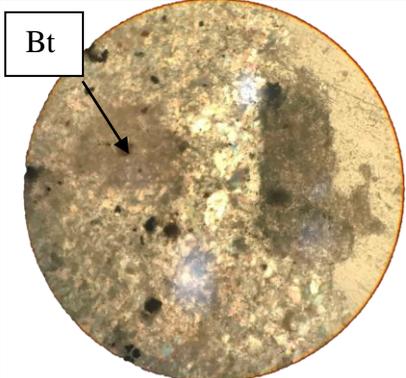
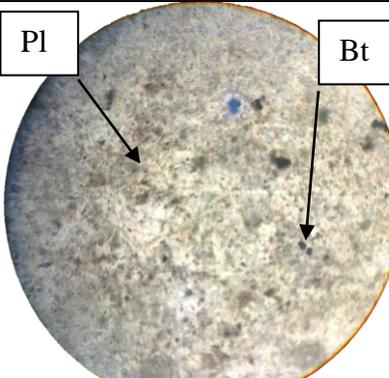
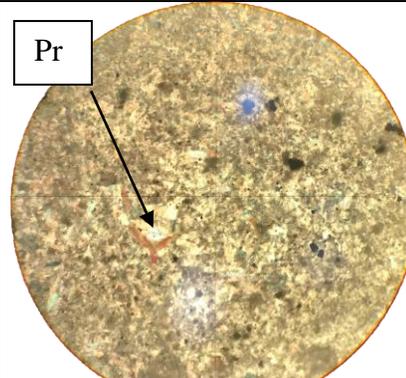
**Tabla 3.22** Caracterización mineralógica de la muestra # 25.

FICHA 19		MUESTRA 25	
Coordenada Este		0698047	
Coordenada Norte		9663372	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Cuarzo (Qz) Biotita (Bt)	 <p style="text-align: center;">10X</p>	 <p style="text-align: center;">10X</p>	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Cuarzo (Qz)	 <p style="text-align: center;">10X</p>	 <p style="text-align: center;">10X</p>	
Biotita (Bt) Plagioclasa (Pl) Cuarzo (Qz)	 <p style="text-align: center;">10X</p>	 <p style="text-align: center;">10X</p>	

**Tabla 3.23** Caracterización mineralógica de la muestra # 26.

FICHA 20		MUESTRA 26	
Coordenada Este		0698047	
Coordenada Norte		9663372	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	

**Tabla 3.24** Caracterización mineralógica de la muestra # 27.

FICHA 21		MUESTRA 27	
Coordenada Este		0698047	
Coordenada Norte		9663372	
Tipo de Roca		Andesita	
Minerales Presentes	LPNA	LPA	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	
Plagioclasa (Pl) Biotita (Bt) Hornblenda (H)	 <p>10X</p>	 <p>10X</p>	

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS QUÍMICO Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

El análisis químico es un método que permite determinar de forma cuantitativa y cualitativa los minerales que conforman las rocas. Para el caso de estudio se realizó el análisis químico de la muestra 1 y 21, en este caso se realizó el análisis de dos muestras puesto que mediante el análisis de láminas delgadas se determinó que solo existen dos tipos de rocas en la zona de estudio.

El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Rayos X de la Universidad Técnica Particular de Loja, para realizar el análisis químico es necesario triturar, moler, cuartear y tamizar la muestra.

Según (Streckeisen, 1976), para poder identificar el tipo de roca según los porcentajes de los minerales presentes es necesario utilizar el esquema de Streckeisen o diagrama QAPF. Este diagrama clasifica a las rocas ígneas en base al contenido de minerales esenciales como: cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa.

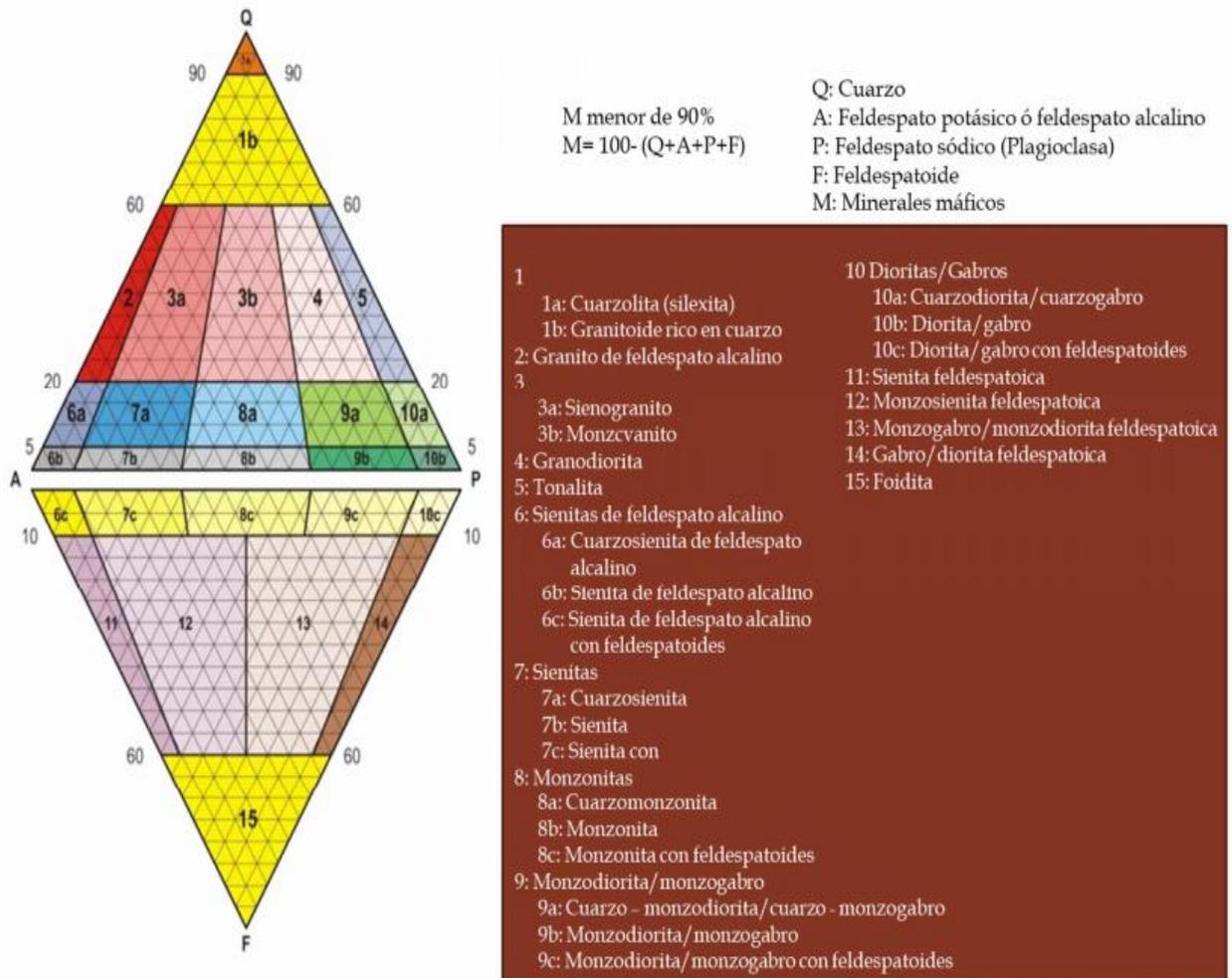
En este esquema se considera los porcentajes de los minerales antes mencionados, siendo así necesario recalcular los porcentajes obtenidos en el análisis químico utilizando las siguientes formulas:

$$S = \% \text{ Cuarzo} + \% \text{ Plagioclasa} + \% \text{ Feldespato Potásico}$$

$$\% \text{ Cuarzo recalculado} = \frac{\% \text{ Cuarzo}}{S} * 100$$

$$\% \text{ Plagioclasa recalculada} = \frac{\% \text{ Plagioclasa}}{S} * 100$$

$$\% \text{ Feldespato potásico recalculado} = \frac{\% \text{ Feldespato potasico}}{S} * 100$$



**Figura 4.1:** Diagrama QAFP para rocas ígneas.

**Fuente:** Streckeisen (1976).

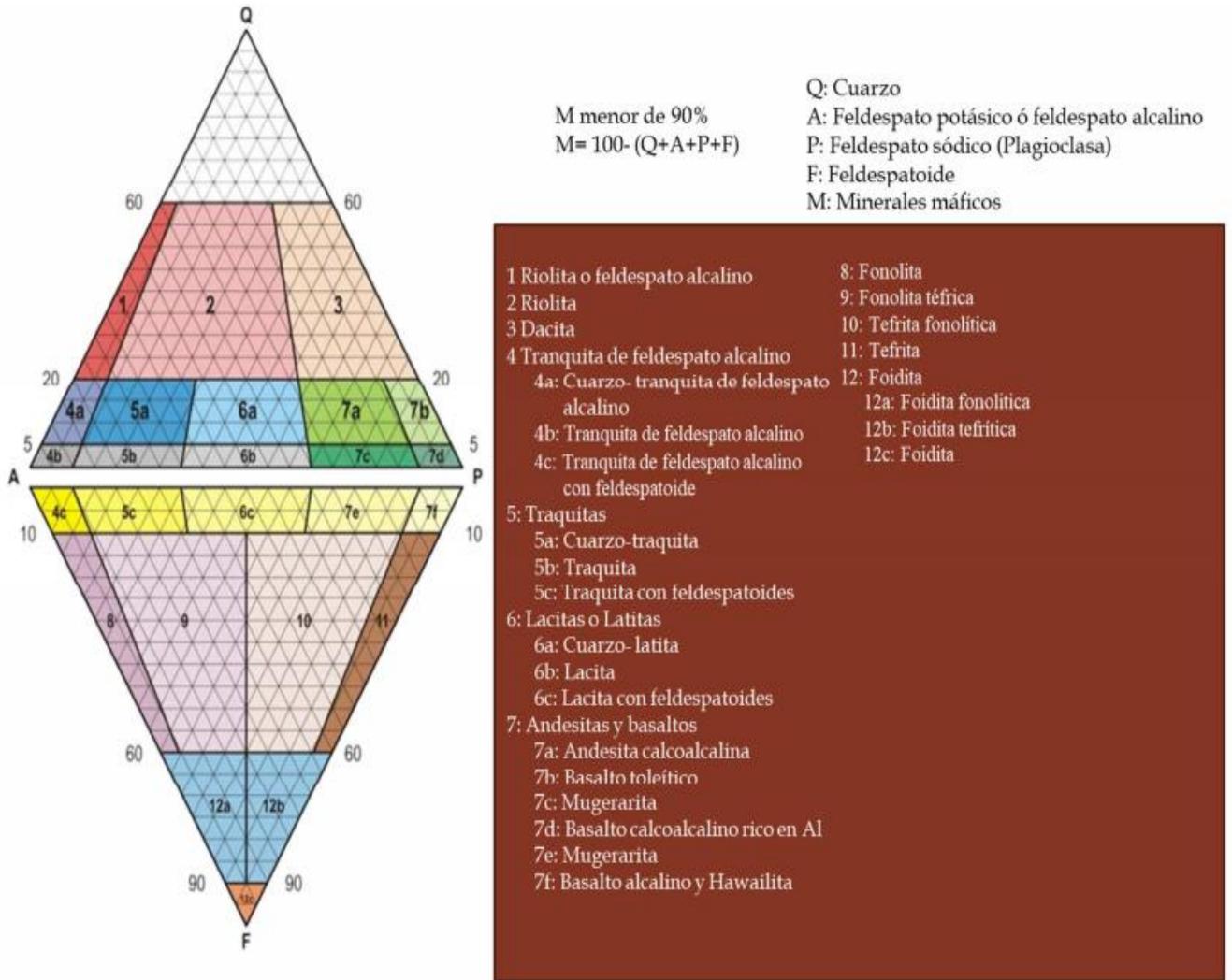


Figura 4.2: Diagrama QAFP para rocas volcánicas.

Fuente: Streckeisen (1976).

#### 4.1 Análisis de la muestra 1

Los resultados obtenidos en el análisis químico (anexo 1) fueron los siguientes:

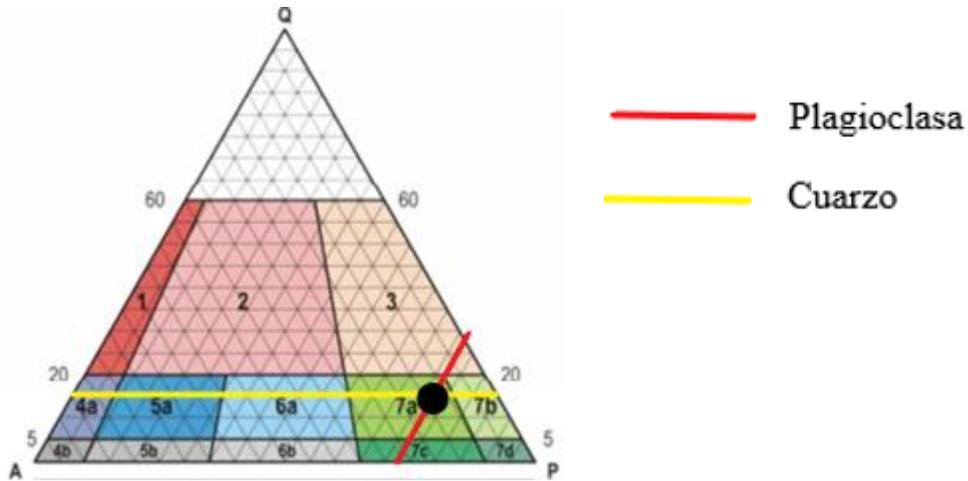
**Tabla 4.1** Porcentaje mineral presente en la muestra 1 de acuerdo al análisis químico.

Mineral	Análisis químico (%)
Cuarzo	17.2
Plagioclasa	72.21
Feldespatos	0
Total	89,41

**Tabla 4.2** Porcentaje de los minerales recalculados.

Mineral	Porcentaje Re-calculado (%)
Cuarzo	19.23
Plagioclasa	80.76
Feldespatos	0
Total	100

Después de realizar el diagrama QAFP para rocas volcánicas se determinó que la roca es una andesita.



**Figura 4.3:** Diagrama QAFP de la muestra 1.

#### 4.2 Análisis de la muestra 21

Los resultados obtenidos en el análisis químico (anexo 1) fueron los siguientes:

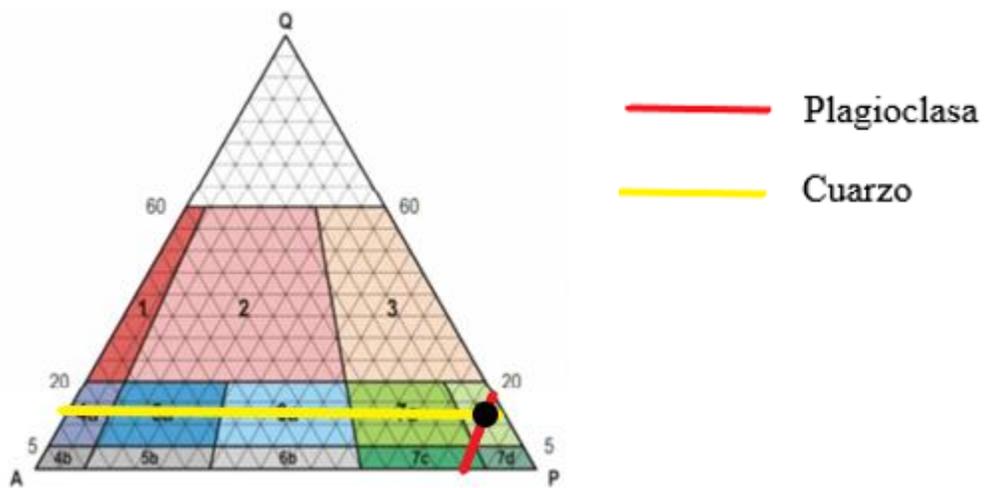
**Tabla 4.3** Porcentaje mineral presente en la muestra 21 de acuerdo al análisis químico.

Mineral	Análisis químico (%)
Cuarzo	11,61
Plagioclasa	72,21
Feldespato	< al 1 %
Total	86,25

**Tabla 4.4** Porcentaje de los minerales recalculados.

Mineral	Porcentaje Re-calculado (%)
Cuarzo	13,46
Plagioclasea	86,56
Feldespato	0
Total	100

Después de realizar el diagrama QAFP para rocas volcánicas se determinó que la roca es un basalto toleítico.



**Figura 4.4:** Diagrama QAFP para la muestra 21.

### 4.3 Análisis y comparación de resultados

Mediante el análisis de láminas delgadas se determinó que en la zona en la cual se realizó el proyecto de investigación existen tres tipos de roca: Andesita, Riolita y Basalto.

Los afloramientos en la Formación Quimsacocha están formados por rocas tipo andesíticas y riolíticas, las cuales se determinaron mediante el análisis de láminas delgadas y análisis químico (DRX).

La diferencia entre estas rocas es el porcentaje de minerales que están presentes; según el estudio de láminas delgadas se determinó que los cristales de los minerales en las rocas de la zona de estudio son:

- Las muestras numero: 1, 2, 3, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 22, 25, 26, y 27 pertenecen a la Formación Quimsacocha, que fueron recolectadas en el área circundante al depósito mineral “Loma Larga”, estas son rocas andesíticas y están constituidos por los siguientes minerales:
  - Cuarzo (< 3%)
  - Plagioclasa (> 90%)
  - Horblenda (25 – 40%)
  - Biotita (25 – 40%)
  - Piroxeno (< 5%)
  - Olivino (< 5%)
- Las muestras 9, 10 y 17 mediante el estudio de láminas delgadas fueron determinadas como rocas riolíticas, estas presentan en su composición alto contenido de cuarzo, feldespato y biotita como minerales principales.

- Las muestras: 11, 21 y 23 fueron tomadas en el lecho de las quebradas cercanas al depósito mineral por lo que se asume que estas son rocas pertenecientes a la Formación Quimsacocha, mediante el análisis DRX y el diagrama QAFP se determinó que estas son basaltos toleíticos, los basaltos presentan la misma composición química que las andesitas.

#### **4.4 Comparación**

- Mediante la técnica de láminas delgadas la identificación de las plagioclasas es muy complejo, puesto que estas están como matriz y en ocasiones presentan ciertos tipos de alteraciones e incluso intrusiones de otros minerales complicando la identificación del mineral. Mediante el análisis químico es posible la identificación del tipo de plagioclasa y su porcentaje en la roca.
- En las láminas delgadas se observó ciertos minerales que en la Difracción de Rayos X no se detectaron debido a que este método descarta los minerales presentes en muy bajo porcentaje.
- Mediante el DRX de la muestra 23 (anexo 1) se identificó la presencia de algunos minerales tales como: plagioclasa andesina, hornblenda, biotita, montmorillonita, augita, etc. Mientras que en el análisis visual de la lámina delgada de la muestra no se pudo diferenciarlos debido a que se encuentran en cantidades muy pequeñas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Se determinó que en la zona de investigación existen tres tipos de rocas: Andesitas, Riolitas y Basaltos, estos resultados fueron obtenidos mediante los métodos de láminas delgadas y análisis químico.
- De acuerdo a los resultados obtenidos mediante láminas delgadas se identificó que el tipo de roca predominante en el sector de Quimsacocha son andesitas de origen volcánico, las cuales presentan como mineral predominante plagioclasa.
- Se verificó que la información geológica existente sobre la Formación Quimsacocha es acertada, pues esta formación presenta rocas de tipo andesíticas y riolíticas.
- Se logró caracterizar de mejor manera las rocas de la zona, puesto que se determinó rocas de tipo basaltos toleíticos, que son una sub-clasificación de las rocas andesíticas.
- La mineralogía predominante del sector se verificó mediante el método óptica y se determinó plagioclasa como matriz en la mayoría de las muestras.

### Recomendaciones

- Ampliar el área de estudio y así abarcar más formaciones geológicas.
- Evitar tomar rocas que estén sueltas o que hayan sido arrastradas por cuerpos de agua, puesto que se podría generar confusiones al momento de determinar el tipo de roca.
- Tomar las rocas de los afloramientos del sector, las rocas tienen que ser competentes y no presentar mayor meteorización pues esto alterará los resultados de los análisis químicos.

- Utilizar los testigos de perforación de roca para realizar láminas delgadas y análisis DRX, así se podría determinar si las rocas a profundidades someras varían o pertenecen a la clasificación de rocas identificadas anteriormente.

## **Bibliografía**

- Betancourt, D. (2010). *Análisis por difracción de rayos x de rocas provenientes de región esmeraldífera*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- DORRONSORO, C. (2016). *Departamento de Edafología y Química Agrícola*. Obtenido de <http://edafologia.ugr.es/index.htm>
- Gil, P. (2009). Atlas de Mineralogía óptica. *Elsevier*, 13.
- INVMetals. (2015). *INVMetals*. Obtenido de <https://sp.invmetals.com/loma-larga-location-and-history/>
- INVMetals. (2016). *Technical Report on the Loma Larga Project, Azuay Province, Ecuador*. Obtenido de [https://www.invmetals.com/wp-content/uploads/2015/03/LL\\_NI43\\_101\\_TR\\_Mar20\\_2015.pdf](https://www.invmetals.com/wp-content/uploads/2015/03/LL_NI43_101_TR_Mar20_2015.pdf)
- Litherland, M. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*. Nottingham: British Geological Survey.
- Macdonald. (2006). The hydrothermal evolution of the Quimsacocha high sulfidation Au-Ag-Cu deposit, Azuay Province .
- MacKenzie, W. (1996). *Atlas de rocas Ígneas y sus texturas*. Barcelona: Masson S.A.
- MacKenzie, W. (1997). *Atlas en color de rocas y minerales en lámina delgada*. España: Elsevier.
- Morán, D. (2017). Análisis de continuidad de extensión de la mineralización alrededor del sistema de alta sulfuración Loma Larga. *UCE*, 129.
- National Audubon Society. (2008). *Field Guide to Rocks and Minerals*. Estados Unidos: Chanticleer Press, Inc.

Picot, P. (1982). Atlas of ore minerals. *Elsevier*, 24.

Raith, M. (2012). *Guía para la microscopia de minerales en lámina delgada*. Schönhorst: University of Bonn .

Streckeisen. (1976). *Clasificación modal de rocas plutónicas en el doble triángulo QAPF*.

Obtenido de Sitio web del departamento de geología de la universidad de Granada:

[www.ugr.es/~petgquim/P3cweb.htm](http://www.ugr.es/~petgquim/P3cweb.htm)

Zuñiga, V. (2018). *Evaluación geomecánica de la rampa de acceso del yacimiento Loma Larga*.

UCE.

## ANEXOS

## Anexo 1 Análisis químico de las muestras.



Universidad Técnica Particular de Loja  
 Departamento de Geología, Minas e Ing. Civil  
 Sección de Geodinámica, Minería y Metalurgia  
 Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X  
 Cliente: Joel Coronel  
 Fecha: 24-10-2019

## INFORME DE DRX

A continuación, se presente el informe sobre el análisis mineralógico de Difracción de Rayos X de las muestras: P1 y Muestra 21, empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, y los programas para la determinación cualitativa EVA y cuantitativa TOPAS, del Laboratorio de Difracción de Rayos X.

Muestra	Cuarzo (%)	Plagioclasa*	Biotita	Augita	Montmorillonita
P1	17,2 (%)	72,21(%)	5,61 (%)	1,72 (%)	n.d.
Muestra 21	11,61 (%)	74,64 (%)	5,87 (%)	1,86 (%)	5,73 (%)

\*La muestra 21 tiene plagioclasa, específicamente andesina. Esta muestra puede contener hornblenda y clorita, pero en concentraciones por debajo del límite de detección de la técnica analítica (<1%).

n.d. No se detectó.

M.Sc. en Geoquímica John Manrique  
 ANALISTA de DRX



MSc. Mónica Vega  
 RESPONSABLE DE LAB.