

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAL DEL
CORTE ATILLO-MACAS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

OPCIÓN: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

FRANCISCO JAVIER CHÁVEZ RIERA

fcojavierchavez98@gmail.com

Director: Dr. Pedro Reyes

pedro.reyes@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2020

DECLARACIÓN

Yo, Francisco Javier Chávez Riera, declaro bajo juramento que el trabajo descrito es de mi autoría; y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que se he consultado las referencias bibliográficas incluidas en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Francisco Chávez Riera

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Francisco Javier Chávez Riera, bajo mi supervisión.

Dr. Pedro Reyes

DIRECTOR DE PROYECTO

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 Justificativos.....	2
1.3 Objetivo General.....	3
1.4 Objetivos Específicos.....	3
1.5 Metodología.....	3
1.6 Área de Estudio.....	4
1.5.1 Ubicación y Acceso.....	4
1.5.2 Aspectos Fisiográficos.....	6
1.5.3 Clima y Vegetación.....	6
1.5.4 Trabajos Previos.....	6
CAPÍTULO 2: MARCO GEOLÓGICO.....	12
2.1 Marco Geodinámico Actual.....	12
2.2 Unidades/Formaciones Geológicas de la Cordillera Real.....	14
2.2.1 División Loja.....	14
2.2.2 Arco Alao.....	16
2.2.3 Secuencia Guamote.....	17
2.2.4 Secuencia Ofiolítica Peltetec.....	18
2.2.5 División Salado.....	18
2.2.6 Subandino y Cuenca Oriente.....	19
CAPITULO 3 RESULTADOS GEOLÓGICOS DEL CORTE ATILLO-MACAS.....	20
3.1 Introducción.....	20

3.2 Estratigrafía y Petrografía	20
3.2.1 Rocas de la Cordillera Real	21
3.2.1.1 Unidad 1	21
3.2.1.2 Unidad 2	25
3.2.1.3 Unidad 3	28
3.2.1.4 Unidad 4	31
3.2.1.5 Unidad 5	34
3.2.1.6 Unidad 6	38
3.2.1.7 Unidad 7	43
3.2.1.9 Unidad 8	45
3.2.1.8 Unidad 9	48
CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN	52
4.1 Contactos y Relaciones estratigráficas	52
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
5.1 Conclusiones	55
5.2 Recomendaciones	57
CAPÍTULO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	61
ANEXO1: FICHAS DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	62
ANEXO 2: MAPA DE UBICACIÓN DE MUESTRAS MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS	84
ANEXO 3: MAPA GEOLÓGICO DEL CORTE ATILLO-MACAS	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación del Corte Geológico.....	5
Figura 1.2 Mapa Geológico del corredor de Patate-Puyo. Pratt et al. (2005).....	7
Figura 1.3 Corte según la sección mostrada en la figura 1. Se denota la ocurrencia del cuarzo azul en ambos lados en las Fm. Guamote, Hollín; y la ocurrencia de intrusivos dentro de las zonas de sutura. Pratt et al. (2005).....	8
Figura 1.4 Mapa Geológico y estructural del corredor de Baños-Puyo. Las medidas estructurales en ambos lados de la cordillera son parecidos. Pratt et al. (2005).	8
Figura 1.5 Mapa Geológico y estructural del corredor de Patate-Baños. Las medidas estructurales en ambos lados de la cordillera son parecidos. Pratt et al. (2005).	8
Figura 1.6 Reconstrucción tectónica del noroeste de Suramérica durante el Jurásico temprano al Cretácico temprano. (Cochrane et al., 2014).	9
Figura 1.7 Modelos esquemáticos para la evolución Noroeste del margen Sudamericano. (Spikings et al., 2014).	11
Figura 2.1 Marco geodinámico actual. Tomado de Yepes et al., 2016	13
Figura 2.2 Principales subdivisiones lito tectónicas de la Cordillera Real y sus respectivos límites a través de sistemas de fallas regionales. Tomado de Reyes (2009).	14
Figura 3.1 Resumen de la estratigrafía en el corte Macas-Atillo.....	21
Figura 3.2 Contacto entre la Unidad 3 y la Unidad 1. El Río Playas cruza por el contacto como una zona de mayor debilidad, definida como una falla.	23
Figura 3.3 (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una Ortocuarcita. muestra FC-46. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquisto-gnéisico, muestra FC-49. (c) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquisto Qz-Ms, muestra FC-50.....	24
Figura 3.4 (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquisto sericítico, muestra FC-36. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquisto de Qz-Ms, muestra FC-40. Pl: Plagioclasa; Ser: sericita; Qz: Cuarzo; Op: Opacos; Ms: Moscovita.....	27
Figura 3.5 (a) Intrusión de un dique meta diorítico en los esquistos grafitosos.....	28

- Figura 3.6** (a) Afloramiento del Plutón meta-diorítico el cual se encuentra como un ortogneiss. (b) Muestra de mano del Plutón metamorfozado. 29
- Figura 3.7** (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una Granodiorita, Muestra FC-44. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un Gneiss, Muestra FC-45. Pl: Plagioclasa; Ser: Sericita; Chl: clorita; Bt: Biotita; Ms: Moscovita; Op: Opacos. 30
- Figura 3.8** (a) y (b) Afloramiento de los metavolcánicos en contacto estratigráfico con las filitas. Las capas forman anticlinales, y las filitas se encuentran fuertemente plegadas como se observa en (b) 31
- Figura 3.9** (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una meta-andesita. Muestra FC-51. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de filita negra tobácea. Muestra FC-14. (c) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una meta toba. Muestra FC- 52. Opx: Ortopiroxeno; Pl: Plagioclasa; Cal: Calcita; Am: Anfíbol; Qz: Cuarzo; Ep: Epidota; Chl: Clorita; Op: Opacos 33
- Figura 3.10** Afloramiento de las meta-andesitas, las rocas se encuentran diaclasadas. (Martillo de escala en círculo rojo) 34
- Figura 3.11** Contacto de entre esquistos verdes de la Unidad 5 (hacia la derecha) y filitas negras de la Unidad 4, en el centro se encuentra una zona de cizalla donde las rocas son brechas de falla. 35
- Figura 3.12** (a) Afloramiento de las rocas verdes. (b) Acercamiento a la zona derecha del afloramiento. Nótese el ángulo de inclinación de las capas. (c) Muestra de mano de una roca verde..... 36
- Figura 3.13** (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una meta-toba. Muestra FC-11. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de meta-toba. Muestra FC-12. Qz: Cuarzo; Pl: Plagioclasa; Op: Opacos; Hbl: Hornblenda. 37
- Figura 3.14** (a) Contacto de las Filitas con un intrusivo diorítico en el Río Abanico. (b) Acercamiento al afloramiento: se aprecia la zona de contacto de las filitas con el intrusivo. (c) Parte de las filitas queda mezclada con el intrusivo. 40
- Figura 3.15** (a) Afloramiento del esquisto sericítico, martillo como escala en círculo rojo (b) muestra de mano obtenida del afloramiento, se observan los diferentes planos de esquistosidad..... 40

Figura 3.16 (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una filita, muestra FC-19. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquisto sericítico, muestra FC-35. (c) Otra sección de la lámina delgada de la muestra FC-35 donde se encuentra pirita que está diseminada por toda la muestra. (d) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquisto sericítico, muestra FC-33. Pl: Plagioclasa; Ser: Sericita; Rt: Rutilo; Ms: Moscovita; Op: Opacos; Bt: Biotita; Py: Pirita; Qz: Cuarzo.	42
Figura 3.17 (a) Afloramiento del Plutón granodiorítico cerca del poblado 9 de Octubre. (b) Tiene xenolitos de la misma composición (marcados en el círculo rojo)	44
Figura 3.18 Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una cuarzo-monzonita. Muestra FC-34. Qz: Cuarzo; Kfs: Feldespato Potásico; Bt: Biotita.....	44
Figura 3.20 “Redbeds” en la vía Macas-Guamote hacia la intersección de la Gral. Proaño.....	46
Figura 3.21 Intercalación de Lutitas, areniscas y capas de carbón.....	47
Figura 3.22 Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una arenisca con cierta orientación de los granos. Muestra FC-28. Pl: Plagioclasa; Ms: Moscovita; Op: Opacos	47
Figura 3.23 (a) Afloramiento (martillo como escala en círculo rojo) y tres muestras de las brechas volcanoclásticas. Se muestra como el tamaño de los clastos aumenta según el avance hacia el este. La muestra FC-8 (d) tiene clastos de tamaño 2-10mm; la muestra FC-9 (c) clastos de tamaño 2-6mm; y la muestra FC-10 (b) clastos de tamaño 1-2 mm.	50
Figura 4.1. Resumen de la estratigrafía de la zona de estudio con la correlación a las Unidades de la Cordillera Real, el subandino y la Cuenca Oriente además se incluyen edades obtenidas de otros estudios junto con las fallas regionales que se encuentran en el sector.....	52
Figura 4.2 Sección esquemática de la Cordillera Real.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de láminas microscópicas.	51
---	----

RESUMEN

Se describe la sección de Atillo-Macas que contienen rocas de la Cordillera Real, el Subandino y parte de la Cuenca Oriente. Una zona de cizalla provocada por la falla Cosanga separa las capas rojas de Chapiza y areniscas de Hollín, hacia el Sur, de rocas del Subandino conformada por pizarras y metasedimentos determinados como la Unidad Upano. Un intrusivo cuarzo-monzonítico (Plutón Colimbo) afecta a las rocas de la Unidad Upano en su extensión. La unidad Upano que está conformada por filitas negras grafitosas, meta-grauvacas y esquistos de Pl, Bt; se encuentra afectada durante toda la sección por el Plutón. Estas rocas tienen un plano de foliación S1 con un ángulo bajo, hacia el oeste aumenta su grado de inclinación. Las litologías de Chigüinda son de esquistos grafitosos y esquistos de Qz, Ms. Estas rocas presentan dos deformaciones principales, y el ángulo de buzamiento aumenta hacia el Oeste. Esta unidad presenta pliegues determinados por el buzamiento de sus capas. La unidad Chigüinda se encuentra afectada por un intrusivo granodiorítico que se encuentra foliado, y lo separa de la unidad Agoyán. La unidad Agoyán está conformada por esquistos grafitosos, esquistos de Qz, Ms, Pl con tamaño que forman bandas, y cuarcitas. Esta zona donde se encuentran las unidades Chigüinda y Agoyán es la zona con el mayor grado de metamorfismo. La unidad Alao-Paute está conformada por meta-volcánicos, meta-andesitas y filitas tobáceas. Cerca del contacto con la Unidad Maguazo, las rocas de la Unidad Alao-Paute compuesta por meta-volcanosedimentos se encuentran formando pliegues. El contacto con la unidad Maguazo es a través de una zona de cizallamiento provocada por una falla regional San Antonio. La unidad Maguazo está conformada por meta-volcanosedimentos verdosos y cherts. Estas rocas de la Unidad Maguazo se encuentran sobreyacidas por volcánicos del Sangay.

ABSTRACT

The Atillo-Macas section contains rocks from the Cordillera Real, the Sub-Andean and part of the Oriente Basin. A shear zone caused by the Cosanga fault separates the red layers of Chapiza and Hollín sandstones, towards the South, from rocks of the Sub-Andean region made up of slate and metasediments determined as the Upano Unit. An intrusive quartz-monzonitic (Pluto Colimbo) affects the rocks of the Upano Unit in its extension. The Upano unit, which is made up of graphite black phyllites, meta-grauvacs and schists of Pl, Bt; it is affected throughout the section by this Pluton. These rocks have a low angle S1 foliation plane, their degree of inclination increases towards the west. The Chigüinda lithologies are graphite shales and Qz, Ms schists. These rocks show two main deformations, and the dip angle increases towards the West. This unit presents folds determined by the dip angle of its layers. The Chigüinda unit is affected by a granodioritic intrusive that is foliated, and separates it from the Agoyán unit. The Agoyán unit is made up of graphite shales, Qz, Ms, Pl shales with band-like size, and quartzites. This area where the Chigüinda and Agoyán units are located is the area with the highest metamorphic grade. The Alao-Paute unit is made up of meta-volcanics, meta-andesites, and tobaceous phyllites. Near the contact with the Maguazo Unit, the rocks of the Alao-Paute Unit composed of meta-volcano sediments are found forming folds. Contact with the Maguazo unit is through a zone of shear caused by a San Antonio regional fault. The Maguazo unit is made up of greenish metavolcano sediments and cherts. These rocks of the Maguazo Unit are overlaid by Sangay volcanosediments.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Dentro del programa de cooperación técnica bilateral anglo-ecuatoriano, entre los años 1986 y 1992, se efectuó el Proyecto de Investigación Geológica de la Cordillera Real; realizado por el Instituto Ecuatoriano de Minería (INEMIN) y la Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico Minero Metalúrgica (CODIGEMM), y el Servicio Geológico Británico (BGS). Dentro del proyecto se realizaron estudios geológicos y mineralógicos de las rocas metamórficas del Ecuador que en su mayoría se localizaron en la Cordillera Real y El Complejo Metamórfico de El Oro. El objetivo fue definir la naturaleza, estructuras, relaciones, génesis de las rocas de la cordillera y generar una base de datos mineralógica para promover una minería industrial viable en el país (Litherland et al., 1994). Los productos finales del Proyecto Cordillera Real fueron una serie de informes anuales de geología, una memoria de parte de la BGS, publicaciones en revistas, junto con dos mapas geológicos, uno para la zona norte de la Cordillera, y otro para la zona sur de la misma Cordillera (Geological and metal occurrence maps of the northern Cordillera Real metamorphic belt y Geological and metal occurrence maps of the southern Cordillera Real and El Oro metamorphic belts).

La BGS conjunto con el INEMIN y CODIGEMM realizaron una reagrupación de las Unidades litológicas previamente cartografiadas, además, muchas Unidades geológicas fueron descubiertas: la faja ofiolítica Peltetec, el arco de isla Alao y Salado, la intrusión Tampanchi, el granito Tres Lagunas, los batolitos Azafrán y Zamora y el cinturón cenozoico de pórfidos. En este proyecto se describió la geología de la Cordillera Real mediante cinco divisiones lito-tectónicas informales: (W-E) Guamote, Alao, Loja, Salado, Zamora. Se interpretaron varios eventos acrecionarios y tectono-termales en el Mesozoico, siendo el evento más antiguo de edad Triásico-tardío. En el Jurásico se definió la intrusión de batolitos calco-alcalinos (Zamora, Abitagua, Azafrán) y el depósito de rocas volcánicas (Misahuallí), mientras que en el Jurásico tardío al Cretácico temprano se determinó el depósito de rocas volcano-sedimentarias (división Alao) (Litherland et al., 1994).

Spikings et al. (2015) propone un modelo geológico desde 290 a 75 Ma, basado en información de geocronología, geoquímica, termocronología y sedimentología. La información recolectada fue interpretada como un "rifting" en la Pangea más occidental que empieza a los 240 Ma y como resultado se forma piso oceánico entre los bloques de América Central y América del Sur para los 216 Ma. El margen activo del Pacífico comienza a los 209 Ma y continúa hasta los 115 Ma sobre una zona de subducción con

inclinación hacia el este que migra hacia el oeste, atenuando Sur América y formando nueva corteza continental. La apertura del Atlántico desplaza Sudamérica hacia el oeste, comprimido por el margen del Pacífico del noroeste Sudamericano a los 115 Ma y obductando una zona de subducción exhumada. El margen activo continúa hasta que el Plateau Oceánico Piñón-Pallatanga con el arco de islas (Río Cala) desarrollándose sobre el Plateau, chocan y se acrecionan a Suramérica a los 70 Ma (Spikings et al., 2015).

El corte Atillo-Macas es una zona con pocos estudios realizados, la última publicación con datos de esta zona es “The Metamorphic belts of Ecuador” (Litherland et al., 1994). Con el objetivo de ampliar el conocimiento geológico de esta zona y obtener nuevos datos (petrológicos, contactos entre formaciones, etc.) que permitan clarificar los ambientes geológicos durante el Triásico – Cretácico, las litologías que se generaron, y su relación con las Unidades de basamento, se realiza su estudio dentro del proyecto “Estudio geológico y de potencial minero de las rocas máficas y ultramáficas del margen occidental de la Cordillera Real, Peltetec (Ecuador)”. El objetivo principal es esclarecer la geología de la zona, y su relación con las Unidades previamente descritas en la Cordillera Real, definir Unidades de manera más precisa, y determinar el nivel de metamorfismo que sufren las rocas dentro del corte Atillo-Macas.

1.2 Justificativos

El metamorfismo de la Cordillera Real fue interpretado por Litherland et al. (1994) como el resultado de la amalgamación de varios Terrenos alóctonos durante el Cretácico tardío al Paleógeno. Pratt et al. (2005), encuentran similitudes entre la Cordillera Real y la Zona sub-Andina y presentan una historia estructural común, por lo que consideran inapropiados los modelos de Terrenos, sino más bien modelos autóctonos. Según Massonne & Toulkeridis (2012), la continuidad del metamorfismo sugiere una sola acreción: un micro continente que colisiona con el margen del continente sudamericano en el Cretácico temprano, sin embargo, identifican una asociación mineral de alta presión. Spikings et al. (2015) en base a datos geoquímicos, isotópicos y termocronológicos sugieren que hay poca evidencia para la existencia de Terrenos continentales alóctonos y se propone un origen autóctono a partir de una zona de subducción inclinada hacia el E.

El presente trabajo pretende establecer las asociaciones minerales y condiciones de metamorfismo entre las diferentes litologías y Terrenos propuestos para la Cordillera Real (Litherland & Aspden, 1992). Además de aclarar los tipos de contactos entre ellos. Un estudio estructural permitirá definir los eventos de deformación registrados en cada Unidad, para generar un modelo coherente con las observaciones.

El corte a analizar, objeto de este trabajo, se localiza en la vía Guamote-Macas, entre la laguna de Atillo y Macas. Posee una longitud de 78,8 km y a lo largo del mismo se realizará un levantamiento litológico, estructural y muestreo, mediante campañas de campo.

1.3 Objetivo General

Determinar la naturaleza de las Unidades aflorantes en el corte Atillo-Macas mediante el levantamiento geológico – estructural y el estudio petrográfico.

1.4 Objetivos Específicos

- Definir los límites de las Unidades de la Cordillera Real dentro del área de estudio.
- Realizar la descripción petrográfica a nivel macroscópico y microscópico de las rocas aflorantes en el corte Atillo-Macas.
- Caracterizar las estructuras presentes en la zona, y definir las deformaciones registradas en cada Unidad.
- Elaborar un corte geológico del área de estudio.
- Definir las condiciones del metamorfismo de las rocas dentro del área de estudio a través de la definición de la paragénesis mineral de las rocas dentro del corte Atillo-Macas.

1.5 Metodología

La realización del presente trabajo se basará en el siguiente proceso metodológico:

- a) Recopilación bibliográfica y cartográfica.
- b) Trabajo de campo.

- c) Levantamiento de información geológica y estructural a escala 1:50000.
- d) Recolección de muestras de rocas.
- e) Descripción petrográfica de 30 láminas delgadas de las muestras más representativas de la zona de estudio. La abreviación mineral se hace según Whitney & Evans (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals: American Mineralogist, v. 95, p. 185 – 187.
- f) Elaboración del corte geológico de la zona.

1.6 Área de Estudio

1.5.1 Ubicación y Acceso

MAPA DE UBICACIÓN: VÍA ATILLO - MACAS

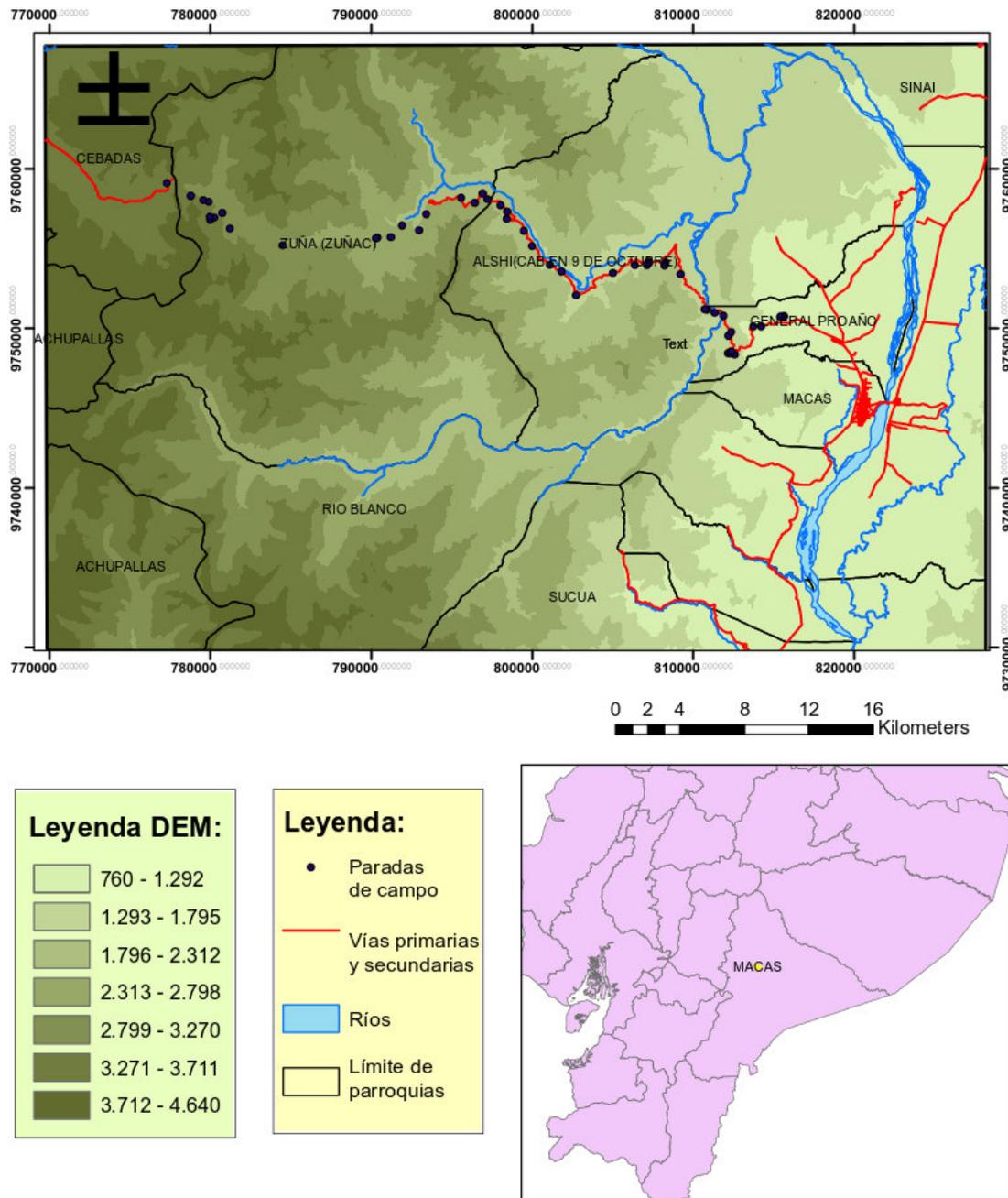


Figura 1.1 Mapa de ubicación del Corte Geológico.

El corte Atillo-Macas se localiza en la vía Macas-Guamote (figura 1.1), entre las poblaciones de Cebadas y Macas. Posee una longitud de 78,8 km. El sector incluye las poblaciones de Zhuñac, 9 de Octubre, Jimbitono y General Proaño. La zona de estudio se encuentra dentro de las hojas topográficas Macas y Zuña, a escala 1:50000. Pertenece a la cuenca hidrográfica de Santiago.

1.5.2 Aspectos Fisiográficos

El área de estudio corresponde a una sección de la cordillera Real, desde Macas hasta las Lagunas de Atillo, con Terrenos montañosos que varían desde 1000 hasta los 5230 m.s.n.m. Pertenece a la cuenca hidrográfica de Santiago (*Mapa Cuencas Hidrográficas del Ecuador*, 2012), el drenaje está conformado por el río Upano, el río Abanico y las lagunas de Atillo.

1.5.3 Clima y Vegetación

La temperatura de la zona oscila entre 6-24°C, con una precipitación anual de 500-4000 mm. El tipo de vegetación dominante corresponde a un Bosque siempre verde montano bajo, bosque de neblina montano, bosque siempre verde montano alto, páramo herbáceo, páramo seco, páramo de almohadillas, gelidofitia, matorral húmedo montano bajo, bosque siempre verde piemontano y herbazal lacustre (*PARQUE NACIONAL SANGAY – Ministerio del Ambiente y Agua*, 2019).

1.5.4 Trabajos Previos

Algunos estudios previos sobre las rocas metamórficas que afloran desde la laguna de Atillo fueron realizados específicamente por Feininger & Bristow (1980); Litherland et al. (1994); Sauer (1950).

Sauer, (1950) produce un mapa geológico del Ecuador donde divide el basamento de la Cordillera Real en Unidades metamórficas y semi-metamórficas. Realiza una descripción litológica dentro del corte Guamote-Macas, donde describe a la Unidad semi-metamórfica como las rocas metamórficas y sedimentos cretácicos de la plataforma oriental y rocas de bajo grado metamórfico dentro de la Cordillera Real.

Litherland et al. (1994) describe la travesía de Guamote-Macas donde identifica la división de "Greenstone" de Alao en ambos lados de una zona mayor de cizalla; cherts verdes y filitas negras son litologías subordinadas. Define que la división Alao sigue hasta el sur dentro del área del grupo Paute. Describe a la formación San Francisco definida por Feininger & Bristow (1980) como una fracción metavolcánica, que comprende rocas verdes de origen andesítico con filitas menores verdes y negras, y cuarcitas. Identifica esquistos de El Pan al este de estas rocas verdes, donde está conformado por secuencias semipelíticas de filitas negras, filitas feldespáticas verdes, cuarcitas y mármoles negros. La estructura predominante es un clivaje S1 de fuerte

inclinación con un rumbo andino. Describe el frente subandino con un cambio repentino hacia el este, a lo largo del río Abanico, de las rocas intrusivas de composición calcoalcalinas pertenecientes al batolito de Azafrán, donde en algunos lugares varía desde gneílica a lavas ácidas débilmente deformadas junto a rocas de la formación Napo. Hacia el este encuentran bloques de conglomerado, con clastos de metalimonita negra, y en los cerros con inclinación al oeste no deformados de Macas existen afloramientos de la formación Hollín.

Pratt et al. (2005) sugieren una secuencia de rocas pertenecientes a una corteza oceánica (secuencia volcánica de Alao y la Unidad Peltetec) que se forman in-situ, y como dice Litherland et al. (1994), por un evento compresivo a los 140-120 Ma. Plantean que las suturas de los Terrenos de la Cordillera Real planteados por Litherland et al. (1994) en su mayoría son contactos intrusivos entre plutones principales como Azafrán, Abitagua y pelitas que se forman en la cordillera como se ve en las figuras 1.4 y 1.5. En vez de ciertas suturas entre Terrenos encuentran transiciones estratigráficas igual denotado en las figuras 1.2 y 1.3. y que ambos flancos de la Cordillera Real tienen la misma historia estructural, con la presencia de cuarzo azul encontrado dentro de la formación Guamote (en el lado más alejado de la cordillera hacia el oeste), y dentro de las rocas siliciclásticas sedimentarias de la formación Hollín como se encuentra en las figuras 1.3 y 1.4.

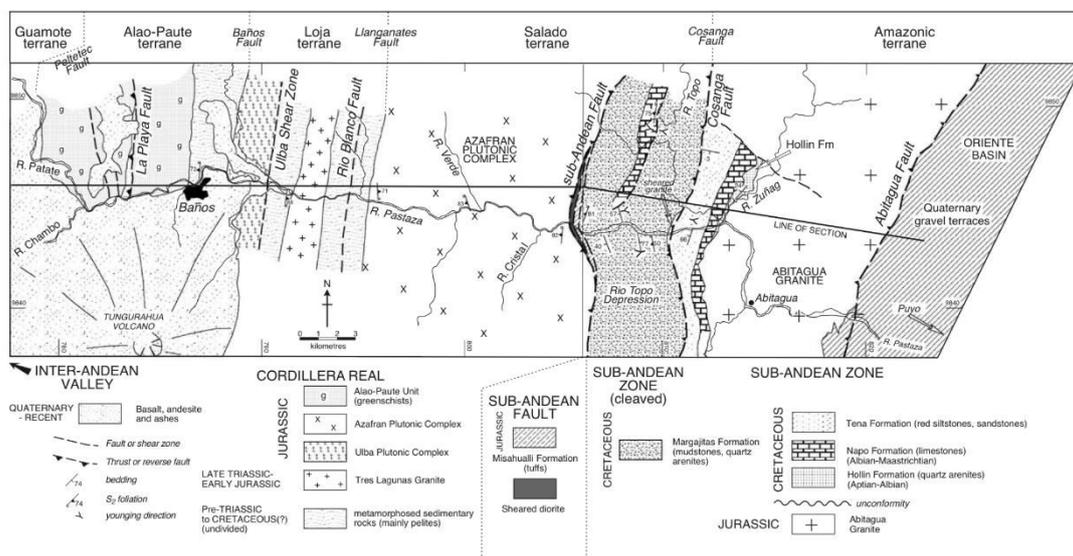


Figura 1.2 Mapa Geológico del corredor de Patate-Puyo. Pratt et al. (2005).

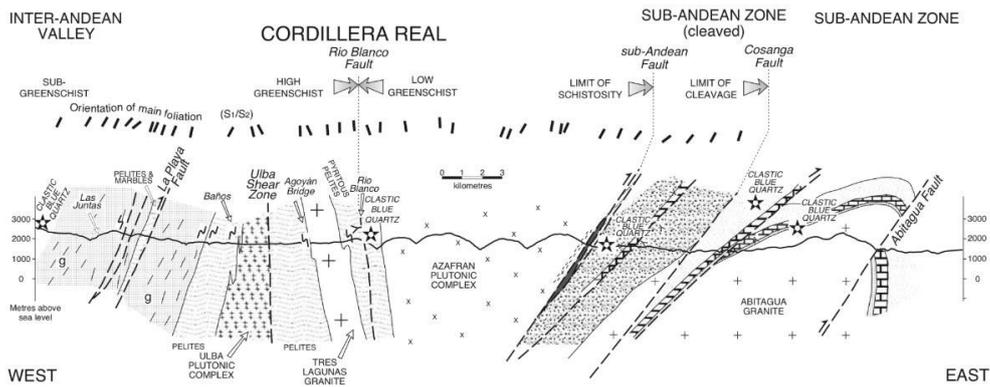


Figura 1.3 Corte según la sección mostrada en la figura 1. Se denota la ocurrencia del cuarzo azul en ambos lados en las Fm. Guamote, Hollín; y la ocurrencia de intrusivos dentro de las zonas de sutura. Pratt et al. (2005).

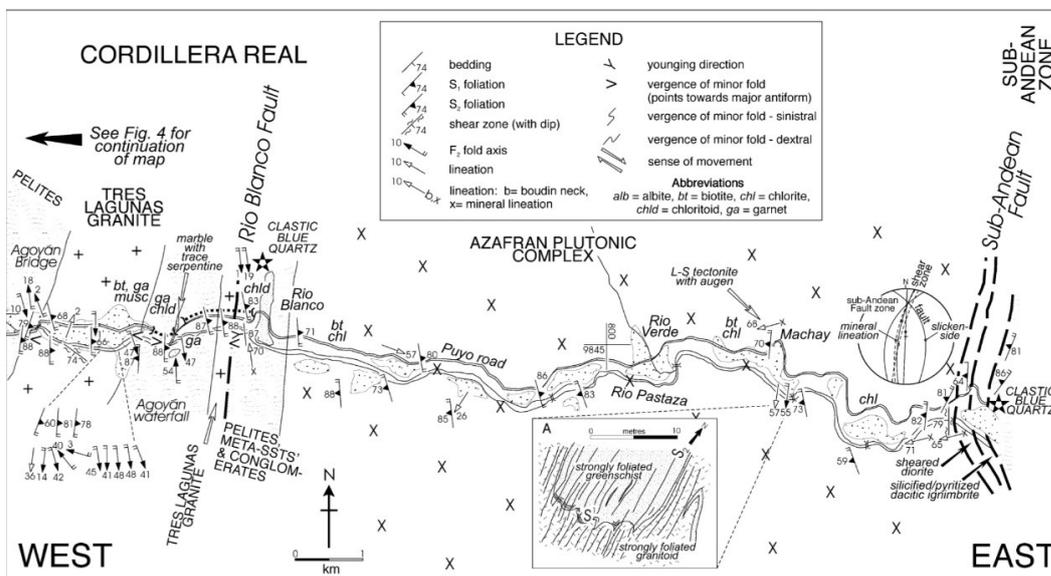


Figura 1.4 Mapa Geológico y estructural del corredor de Baños-Puyo. Las medidas estructurales en ambos lados de la cordillera son parecidos. Pratt et al. (2005).

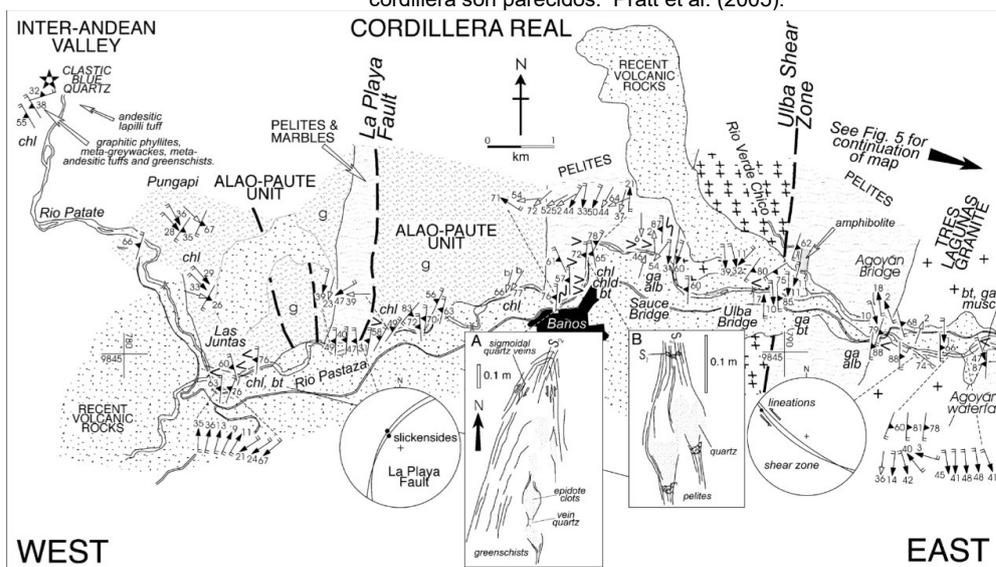


Figura 1.5 Mapa Geológico y estructural del corredor de Patate-Baños. Las medidas estructurales en ambos lados de la cordillera son parecidos. Pratt et al. (2005).

Cochrane et al. (2014) determina una evolución del margen continental del noreste de Sudamérica in-situ durante 190-105 Ma y un período de extensión y atenuación de la corteza de 190-115 Ma. Describe que la variación de los óxidos mayores, REE y Hf-Nd-Sr-Pb ocurren de un sistema de rocas de 190 Ma, que están enriquecidas en elementos traza incompatibles e isotópicamente evolucionadas, a un sistema de rocas máficas empobrecidas en estos elementos, que serían de edad Cretácica. Esta tendencia de empobrecimiento coincide geográficamente con el desplazamiento del arco hacia la fosa (este a oeste) como se presenta en el modelo de la figura 1.6. En el caso de un crecimiento continental alóctono se presentarían saltos en edades y composición isotópica (de los diferentes Terrenos).

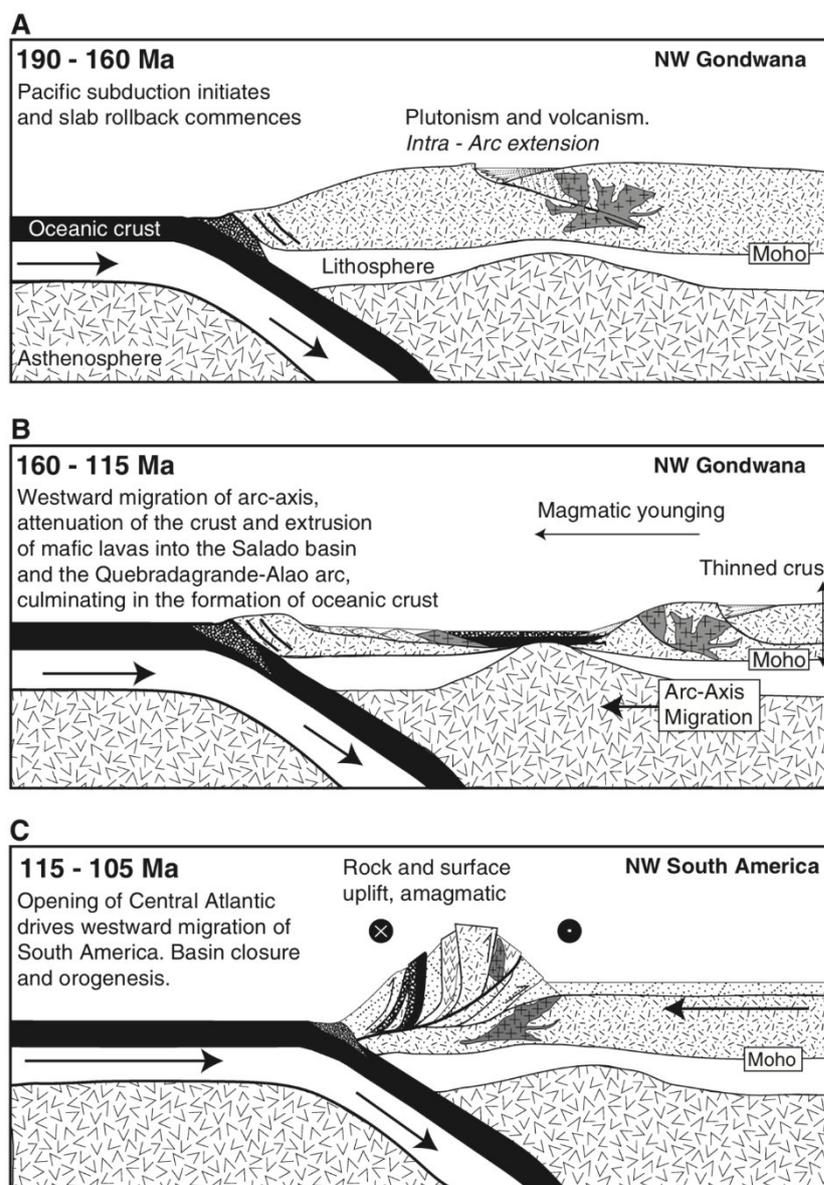
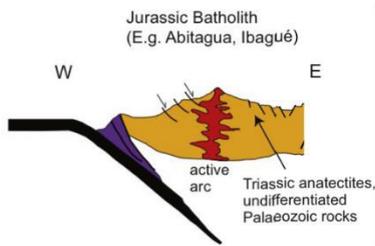


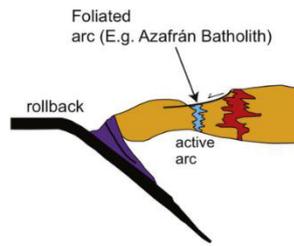
Figura 1.6 Reconstrucción tectónica del noroeste de Suramérica durante el Jurásico temprano al Cretácico temprano. (Cochrane et al., 2014).

Spikings et al. (2015) propone un modelo geológico desde 290 a 75 Ma. Interpreta el inicio del “rifting” en la Pangea más occidental a los 240 Ma y sugiere que el metamorfismo de alto grado dentro de los Terrenos de América Central a los 250 Ma ocurre durante la compresión por acreción de los Terrenos. Como resultado se crea piso oceánico entre los bloques de América Central y América del Sur a los 216 Ma y ocurre la separación de la corteza continental. El margen activo del Pacífico comienza a los 209 Ma con la subducción de la placa con inclinación hacia el este y continúa hasta los 115 Ma. Dentro de este período, se deposita la secuencia de Guamote (155 Ma), que es interpretada como sedimentos derivados del cratón Sudamericano. La edad de los detritos muestra que estos sedimentos son similares de las areniscas dentro del arco Alao; lo que define como parte del margen Sudamericano y fue remplazado por un desplazamiento strike-slip, o por un “rifting” que lo separa en un inicio del noroeste de Sudamérica, luego fue re-acretado. La secuencia de Guamote es identificado como parte del Terreno Chaucha, y es algo exótico a Sudamérica como resume Spikings et al. (2015). La apertura del Atlántico Sur desplaza Sudamérica hacia el oeste, comprimido por el margen del Pacífico del noroeste Sudamericano a los 115 Ma y obductando una zona de subducción exhumada (figura 1.7). Spikings sugiere que es mínima la evidencia para definir la existencia de Terrenos continentales grandes alóctonos durante el Jurásico al Cretácico temprano. El margen activo continúa hasta que el Plateau Oceánico con el arco de islas (Río Cala) encima, chocan y se acreciona a Suramérica a los 70 Ma, dando como resultado una separación y rotación “clockwise” de Terrenos alóctonos que forman el basamento del antearco de la cordillera Occidental.

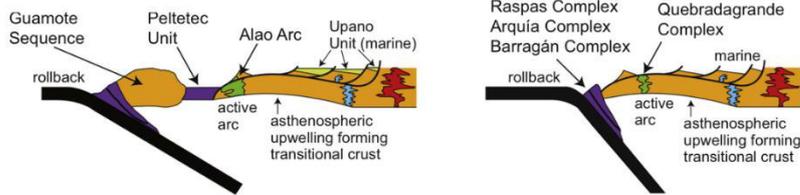
189-145 Ma
Continental arc volcanism



145 - 141 Ma
Extension of the continental margin



141-115 Ma Margin attenuation, westward migration of arc, intra-arc basins, rifted continental slivers?



115-100 Ma Closure of fore/intra/back arc basins, obduction of M-HP/LT rocks, rock uplift and exhumation

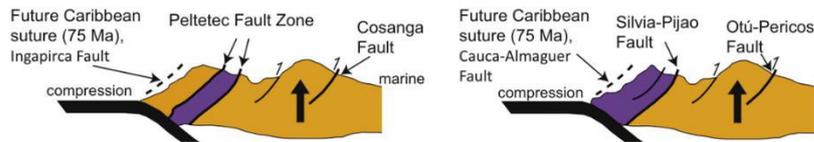


Figura 1.7 Modelos esquemáticos para la evolución Noroeste del margen Sudamericano. (Spikings et al., 2014).

CAPÍTULO 2: MARCO GEOLÓGICO

La geología del territorio ecuatoriano se encuentra definida por varios procesos tectónicos y el correspondiente desarrollo de varias cuencas. Un evento muy significativo es producido por la convergencia de las placas de Nazca y Sudamericana. Las principales regiones geomorfológicas de este a oeste son las siguientes: Región Oriental, Cordillera Real, Cordillera Occidental y la Planicie Costa. La zona de estudio contiene parte de la región oriental, el sistema subandino y gran parte de la cordillera Real.

En la Cuenca Oriente se define un basamento de edad precámbrica el cual corresponde al escudo Guayanés. Según Tschopp, (1953) el basamento pre-cretácico se compone de rocas marinas del Paleozoico y Jurásico inferior, con aportes continentales de edad Jurásica superior. Sobreyacen unas secuencias fluvio-deltáicas y marinas correspondientes a las formaciones de Hollín y Napo, las cuales se encuentran superpuestas por aportes continentales de la Fm. Tena. En el Paleógeno y Neógeno se depositaron secuencias sedimentarias marinas y continentales.

El basamento metamórfico de la Cordillera Real es interpretado como un collage de Terrenos (alóctonos respecto al cratón Guyana), y acreciones relacionadas a períodos de rompimiento y reformación (Litherland et al., 1994). Estos Terrenos (o divisiones litotectónicas) son: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora; y se encuentran separados por fallas regionales que son las siguientes: Peltetec, Frente Baños, Llanganates, Cosanga-Mendez, respectivamente.

2.1 Marco Geodinámico Actual

La evolución de los Andes desde el Oligoceno está relacionada con la subducción de la placa de Nazca debajo del continente Sudamericano (Pilger, 1984). Según Pennington, (1981), las placas Nazca y Caribe se mueven hacia el Este con respecto a Sudamérica, y las placas de Nazca y Sudamérica convergen lentamente con la placa Caribe; y las placas de Cocos y Nazca tienen un movimiento independiente; además el ángulo de subducción es de 25° y 35°. Witt & Bourgois, (2010) definen una tasa de 6-7 cm/año en dirección N83°E. Este proceso genera levantamiento, un arco magmático y la creación de un cinturón de cabalgamiento dentro de un “retro-arc” en el margen costero (Litherland & Aspden, 1992). La mayor parte del acortamiento de la zona ha sido

controlada por el cabalgamiento de la Cordillera Real sobre el cratón Amazónico. Sin embargo, en los andes centrales una tectónica extensional permanece (Soler & Sébrier, 1990).

El bloque Nor-Andino tiene un movimiento en dirección hacia el NE-SW (Yepes et al., 2016) como se muestra en la figura 2.1, siguiendo un sistema de falla dextral con el nombre de Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puná (CCPP) (Alvarado et al., 2016). En el norte del Ecuador, las dos cordilleras que conforman los Andes se encuentran separadas por una depresión interandina relacionada con fallamiento cortical. La falla de Pujilí en el límite oeste con la Cordillera Occidental, y la falla de Peltetec hacia el este limitando con la Cordillera Real.

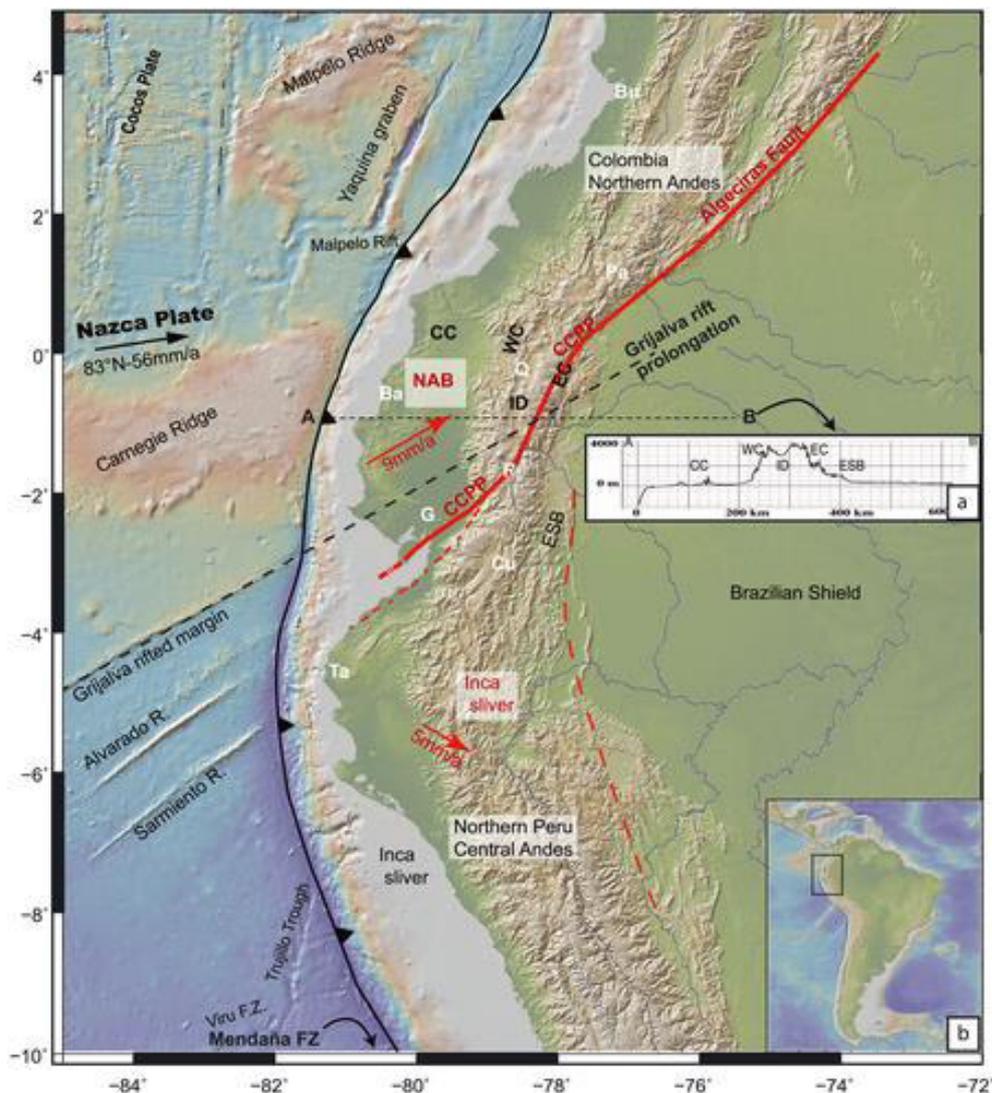


Figura 2.1 Marco geodinámico actual. Tomado de Yepes et al., 2016

2.2 Unidades/Formaciones Geológicas de la Cordillera Real

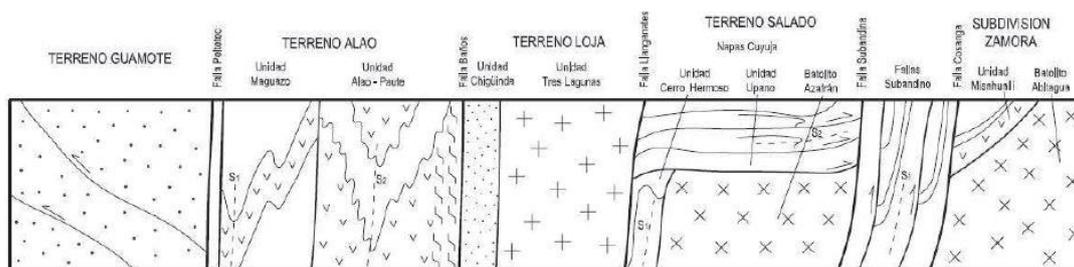


Figura 2.2 Principales subdivisiones lito tectónicas de la Cordillera Real y sus respectivos límites a través de sistemas de fallas regionales. Tomado de Reyes (2009).

La Cordillera Real está conformada por cinturones de rocas metamórficas que tienen una orientación preferencial hacia el NNE-SSW, desarrollados en diferentes ambientes geotectónicos y separados por sistemas de fallas regionales (Litherland et al., 1994) figura 2.2. Litherland et al. (1994) diferencia estos cinturones como divisiones litotectónicas: Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora, separados por sistemas de fallas corticales como Peltetec, Frente Baños, Falla Llanganates, Falla Cosanga-Méndez. Hacia el subandino se encuentran una serie de cabalgamientos de las fallas Cosanga-Méndez y Palanda, que yuxtaponen rocas metamórficas de la Cordillera Real contra rocas sedimentarias cretácicas y rocas volcánicas y plutónicas jurásicas (Litherland & Aspden, 1992). La clasificación que se detalla a continuación representa una descripción de Unidades o Formaciones con un orden cronoestratigráfico, empezando por la más antigua y terminando en la más reciente.

2.2.1 División Loja

Está conformado por rocas sedimentarias semipelíticas y metamorfizadas de las Unidades Chigüinda y Agoyán, por el granito Tres Lagunas, y anfibolitas y migmatitas de la Unidad Sabanilla (Litherland et al., 1994). Esta sección metamórfica tiene como límites al Terreno Alao, hacia el oeste, separado por la zona de cizalla Baños (Aspden & Litherland, 1992); Hacia el este se encuentra separado por la falla Llanganates, que sirven de límite con la división Salado y la falla Palanda que actúa como límite con el terreno Zamora al sur.

La Unidad Agoyán está compuesta por esquistos pelíticos y afloramientos de paragneises, se encuentra más acortada y plegada que la Unidad Chigüinda (Litherland et al., 1994). El contacto con otras unidades es tectónico y está asociado con el granito Tres Lagunas, remplazando a la Unidad Chigüinda en el norte de la Cordillera; su grado metamórfico es muy avanzado para la preservación de fósiles, por lo que su edad

deposicional es probablemente Paleozoica (Litherland et al., 1994). Cochrane et al. (2014) propone una edad U-Pb de 207.6 ± 9.2 Ma. En un metagranito, Paul et al., (2018) encuentra una edad U-Pb en paragneises de 228.2 ± 1.7 Ma y de 229.1 ± 1.1 Ma. Las rocas presentan buzamientos empinados a subverticales, la Unidad es muy pelítica por lo que en un sentido estricto no es un equivalente de alto grado de las semipelitas de Chigüinda (Litherland et al., 1994). Gutiérrez et al., (2019) mediante un diagrama de densidad para Agoyán definen una signatura triásica para las unidades metasedimentarias de la Cordillera Real.

La Unidad Chigüinda se encuentra predominantemente en el sur de la Cordillera Real, y está compuesta por cuarcitas y filitas negras formando una secuencia semipelítica de edad Paleozoica (Litherland et al., 1994). Estructuralmente forma un cinturón de 30 km de ancho, acuñado hacia el norte, flanqueado al oeste por Metagranitos del Tres Lagunas y hacia el este por migmatitas de Sabanilla y esquistos del Upano; ambos contactos son tectónicos (Litherland et al., 1994). Las capas y su clivaje principal están generalmente subparalelos, con un buzamiento fuerte con tendencia N-S, y con más de una fase de deformación. Se la considera una secuencia derivada de fuente continental, probablemente una cuenca intracratónica o un margen pasivo (Litherland et al., 1994).

La Unidad Monteolivo posee anfibolitas que forman cinturones de hasta 2 km de ancho, que pueden variar hasta pequeños diques y lentes; se las encuentra asociadas con las cuatro Unidades del Terreno Loja: Chigüinda, Agoyán, Tres Lagunas y Sabanilla (Litherland et al., 1994). Edades K-Ar encontrada en un dique de anfibolita cerca de Papallacta con textura ígnea relictas (Rundle, 1988) pertenecen al Devónico superior (363 ± 9 Ma y 371 ± 10 Ma), e indican una posible edad de intrusión o anfibolitización que podría indicar una fase post-sedimentaria/premetamórfica. Cochrane et al., (2014) encuentran una edad de U-Pb de 231.9 ± 3.2 Ma. La Unidad Monte Olivo representa una fase de diques máficos que cortan o son concordantes con los sedimentos pre-metamórficos Agoyán y Chigüinda (Litherland et al., 1994).

El granitoide Tres Lagunas es la principal Unidad ígnea del Terreno Loja (Litherland & Aspden, 1992). Su asociación con las rocas metasedimentarias Agoyán y Chigüinda se produce en forma de batolitos y lentes tectónicos. Una edad obtenida es de 227.6 ± 3.2 Ma (Noble et al., 1997). El Granito Tres Lagunas es clasificado como un granito tipo S (Aspden et al., 1992). Dentro de esta unidad se encuentran meta-granitos y fajas tectónicas que se encuentran asociadas a las rocas de las Unidades Chigüinda y Agoyán por tectonismo. Su mineral identificativo es el cuarzo azul, y tiene varias formas:

- Recristalización de qz en mosaicos, biotitas irregulares sericitizadas y convirtiéndose en zoicitas; desarrollo de cuarzo en mosaico, biotita irregular y marginalmente recristalizada, su clivaje distorsionado;
- Cuarzo en mosaico completo clivaje distorsionado de la mica, alguna recristalizada: feldespatos lamelares torcidos o rotos, foliación penetrativa de la mica desarrollada.
- Cuarzo en láminas y continuos, mica foliada completa, áugenes bien formados con sombras de presión, la esquistosidad completamente desarrollada (Lister & Snoke, 1984)

La Unidad Sabanilla forma ortogneises de alto y bajo grado, al menos 10 km de espesor. Generalmente aflora hacia el sur, en la carretera Loja-Zamora, Loja Zumba. Estos ortogneises no presentan cuarzo azul, comúnmente no forman megacrístales, están más homogéneamente foliados y están asociados a migmatitas de alto grado (Litherland et al., 1994).

2.2.2 Arco Alao

Esta Unidad metamórfica tectonoestratigráfica contiene metavolcánicos y rocas metasedimentarias de Alao-Paute, el Pan y Maguazo de edad Jurásica y las ofiolitas desmembradas de la Unidad Peltetec. Es un cinturón de rocas verdes de 35 km de ancho, que aflora en las estribaciones occidentales de la cordillera (Litherland et al., 1994). Limita hacia el este con el Terreno Loja por medio del Frente Baños, y hacia el oeste con el Terreno Guamote mediante la falla Peltetec; hacia el sur limita con el Terreno Amotape (Litherland & Aspdén, 1992).

La Unidad Alao-Paute se describe como el cinturón principal de rocas verdes, las cuales presentan un clivaje con un buzamiento muy fuerte, sus contactos con el Pan y Maguazo son generalmente tectónicos (Litherland et al., 1994). Acorde a la geoquímica Alao-Paute es un arco de islas con sedimentos de aguas profundas subordinados (Litherland et al., 1994). Cochrane (2014) obtiene una edad de 163.7 ± 1.6 Ma.

La Unidad el Pan representa facies volcanosedimentarias metamorfozadas que están conformadas por esquistos verdes de Qz-Cal-Chl, esquistos grafitosos y filitas qz-ser con menores cuarcitas, esquistos de Qz-Alb-Ep-Chl, esquistos de Act-Chl, mármoles negros, rocas calcosilicatadas ricas en epidota y rocas de clinozoisita-tremolita (Litherland et al., 1994). La Unidad el Pan puede representar una secuencia marina de tras arco del arco de islas Alao-Paute.

La Unidad Maguazo es un cinturón de turbiditas metamorfizadas y rocas volcánicas; el cinturón fluctúa entre 5 y 10 km de ancho con contactos tectónicos respecto a la ofiolita Peltetec hacia el este, y hacia el oeste con Alao-Paute por medio de la falla San Antonio. La edad palinológica establece una edad Jurásica-Cretácica (Litherland et al., 1994). La Unidad Maguazo está dominada por una secuencia de turbiditas y andesitas basálticas con un metamorfismo bajo. Litologías asociadas son filitas negras, ferruginosas o piríticas en ciertos casos, filitas verdes, ortocuarcitas rojas y cherts. La Unidad Maguazo es interpretada como una posible secuencia de ante arco del arco de islas oceánico Alao-Paute, la presencia de turbiditas y fósiles de acritarcos puede indicar un ambiente de alta energía y su proximidad con rocas sin metamorfismo o de bajo grado con fuente Ordovícica (Litherland et al., 1994). Según análisis de palinoflora (dinoflagelados *Gonyaulacysta eisenackii*) que se obtuvieron en rocas de la unidad Maguazo, Litherland et al., (1994) proponen una edad Calloviano-Oxfordiano del Jurásico de esta unidad.

2.2.3 Secuencia Guamote

Está conformada por cuarcitas y pizarras de Edad Jurásico y Cretácico inferior, afloran en secciones hacia el oeste de la Cordillera Real (Litherland et al., 1994). Se divide el Terreno Guamote en tres Unidades: Punín (cuarcitas), Cebadas y Guasuntos (Pizarras). Litherland et al., (1994), propone al Terreno Guamote como una secuencia marina de edad Jurásico Inferior a Cretácico Inferior que incluyen conglomerados de aguas someras y con árboles fosilizados. Las rocas contienen cuarzo azul y cuarzo ahumado, posiblemente de la erosión del granito Tres Lagunas, volcánicos ácidos. Limita hacia el este con el Terreno Alao, separados por la Falla Peltetec, y tienen una edad similar, aunque los ambientes de formación sean muy distintos. Hacia el oeste está limitada por la falla Ingapirca (Litherland et al., 1994). Spikings et al., (2015), sugieren que los sedimentos derivan del cratón Sudamericano, y su edad detrítica insigne es similar a las obtenidas en las arenitas del Arco Alao. Cochrane, (2014) determina una edad de depósito de 155 ± 6.1 Ma. Además, propone que el magmatismo del arco durante el Jurásico-Cretácico Inferior se forma según una zona de subducción única; el Complejo Quebrada grande representa un arco continental que atraviesa una corteza continental acortada; y la extensión permaneció durante el Cretácico Inferior.

2.2.4 Secuencia Ofiolítica Peltetec

Es descrita por Litherland et al., (1994) como una división tectonoestratigráfica con 1-2 km de ancho, con buzamientos muy altos, compuesta por rocas ofiolíticas que se encuentran en la parte oeste de la Cordillera Real. Litherland (1987) describe la secuencia completa en el valle Huarqualla y es como sigue: 10 m de granito cizallado con cuarzo azul, feldespatos ahumados, un "slice" debajo de la serpentinita; 5 m de un "slice" tectónico de filita negra y cuarzita; 15 m de serpentinita con buzamiento hacia el este, aumenta la cantidad de asbesto hacia la base; 5 m de metagabro y metalava; 10 m de serpentinita; 100 m de filitas negras, cuarcitas y grauvacas, las rocas son subverticales; 100 m de metalava espilítica con coloraciones pálidas; 100 m de metasedimentos siliciclásticos finos de coloración violácea con cherts carbonáceos, sedimentos violáceos que contienen 6-7% de Fe total, están intercalados con metatobas verde pálidas con vetas de asbesto; 50 m de lavas espilíticas; 300 m de filitas negras, cuarcitas y grauvacas con 1 m de bandas de grafito; 200 m de lavas espilíticas con calcitas púrpuras con vetas de calcitas en las lavas, una limolita negra.

De la misma manera, Litherland et al (1987) describe las rocas pertenecientes a esta división que afloran al este de la Fm. Maguazo en la zona de Guamote-Atillo y las divide en tres: Cherts negros y verdes, Metagranitos con feldespatos ahumados y Sedimentos siliciclásticos finos y grauvacas.

Spikings et al (2015) toma dos muestras de la secuencia ofiolítica: un metabasalto y un gabro. Las edades obtenidas son 134.3 ± 12.8 y 134.7 ± 0.9 Ma respectivamente. Son edades Ar/Ar

2.2.5 División Salado

Esta división metamórfica litotectónica comprende rocas volcánicas máficas metamorfizadas, y rocas metasedimentarias de Upano, Cuyuja y Cerro Hermoso de edad Jurásica (Aspden et al., 1992; Litherland et al., 1994). También incluye las rocas plutónicas metamorfizadas del granito de Azafrán (Litherland et al., 1994) de edad estimada en 142.7 ± 1 Ma (Noble et al., 1997). El Terreno forma un cinturón de 25 km de ancho a lo largo de la pendiente oriental de la Cordillera Real. Su límite hacia el este está dado por la falla Cosanga-Méndez y hacia el oeste limita con el Terreno Loja.

La Unidad Upano está formada por rocas verdes andesíticas asociadas con rocas metasedimentarias que forman un cinturón de 15 km de ancho siguiendo la pendiente este de la cordillera (Litherland et al., 1994). Cochrane et al., (2014) da una edad de U-Pb en zircones de una andesita de Upano de 121.0 ± 0.8 Ma.

2.2.6 Subandino y Cuenca Oriente

La formación Chapiza comprende una sucesión de sedimentos clásticos continentales (capas rojas), que se depositaron en un clima seco o desértico (Goldschmid, 1941; Tschopp, 1953). Tschopp, (1953) introduce tres subdivisiones: Chapiza inferior, Chapiza medio y Chapiza superior, la última es definida como miembro Yaupi (Jaillard, 1997). Está sobreyacida en discordancia angular por la Fm. Hollín. La Unidad inferior consiste en lutitas y areniscas de color gris, rosado, morado y rojo, con delgados lechos de evaporitas y concreciones de dolomita; la Unidad media presenta una litología comparable, pero sin la presencia de evaporitas con un color generalmente rojo (Jaillard, 1997). La parte inferior de las capas rojas de la Fm. Chapiza serían coetáneas con la actividad del arco magmático Jurásico, y constituye un equivalente lateral, al menos parcialmente, de la Fm. Misahuallí (Jaillard, 1997). Estaría asociada a la actividad plutónica Jurásica como parte efusiva de la intrusión de los batolitos de Abitagua, Azafrán y Rosa Florida (Aspden et al., 1992; Eguez & Aspden, 1993). La parte superior de la Fm. Chapiza fue datada del Jurásico superior-Cretáceo inferior por palinología (Lammons 1974 in Hobbs 1975, Canfield et al 1982)

La formación Hollín está formada por tres secuencias deposicionales: depósitos de un paleo-valle fluvial de canales de arenisca y lutitas de llanura de inundación; areniscas con estratificación cruzada con intervalos subordinados de lodolitas de deposición tipo “braid plain”; y deposición de secuencia de areniscas en cruz y lodolitas de planicies costeras. La Fm. Hollín superior está compuesta por una zona de deposición costera, la cual sobreyace Hollín. Es una secuencia transgresiva que consiste de areniscas y lutitas, la zona superior está compuesta por una deposición marina la cual completa la secuencia transgresiva (White et al., 1995). Las litofacies de la zona costera constituyen areniscas de grano fino a medio con laminación planar, areniscas finas a muy finas con ripples, y lodolitas lenticulares con “burrows”; La secuencia marina está conformada por glauconitas, arenisca cuarzosa, limolitas, calizas y lutitas (White et al., 1995).

La Fm. Napo consiste de lutitas ricas en componentes orgánicos, rocas grano soportadas (“grainstones” y “packstones”), areniscas terrígenas (White et al., 1995). Se encuentra sobreyaciendo la Fm. Hollín y su formación se produce en ambientes fluviales, deltas, marino marginal y plataforma marina (White et al., 1995).

CAPITULO 3 RESULTADOS GEOLÓGICOS DEL CORTE ATILLO-MACAS

3.1 Introducción

Dentro de la zona de estudio afloran las unidades Alao, Agoyán, Chigüinda, el Plutón Colimbo, Napo, Hollín y Chapiza. Varios eventos tectónicos afectan la zona.

A continuación, se describen las características geológicas y estructurales de la zona de estudio. Se detalla la estratigrafía y petrografía en base a la definición de varias unidades las cuales serán clasificadas en secuencias sedimentarias y volcanoclásticas en el sector más cercano a Macas, y secuencias metamórficas de bajo y grado medio en las rocas que conforman la Cordillera Real. Las Unidades se han ordenado según edades relativas y su correlación con trabajos previos realizados dentro y en los alrededores de la zona. Se describen los rasgos estructurales y tectónicos observados en campo en base a una interpretación de imágenes satelitales, y se relacionarán con la tectónica regional.

3.2 Estratigrafía y Petrografía

La descripción de este capítulo se realiza mediante una clasificación en Unidades que son descritas en orden cronológico desde la más antigua hasta la más reciente, tomando en cuenta las edades relativas determinadas por observaciones de campo. Para las descripciones se toman las siguientes consideraciones:

Ubicación y características generales: se describen los lugares en los que se encuentra cada Unidad, así como su extensión y sus rasgos característicos (diaclasas, estratificación, alteración, meteorización, relaciones geométricas y otras observaciones).

Petrografía: se describe las características petrográficas y asociaciones minerales de las rocas de una determinada unidad en base a observaciones en campo, muestra de mano y análisis de lámina delgada. Además, se describe la muestra de forma macroscópica y microscópica y se da una interpretación de la roca.

Relaciones estratigráficas: se describe la posición relativa de cada unidad respecto a las otras que están en límite con ésta.

Correlación: Se presenta una identificación con las unidades pertenecientes a la Cordillera Real, según la petrografía descrita, sus secuencias litológicas y su grado metamórfico.

En la zona de estudio se identificaron rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas intrusivas, las cuales han sido separadas en 10 Unidades rocosas (Figura 3.1).

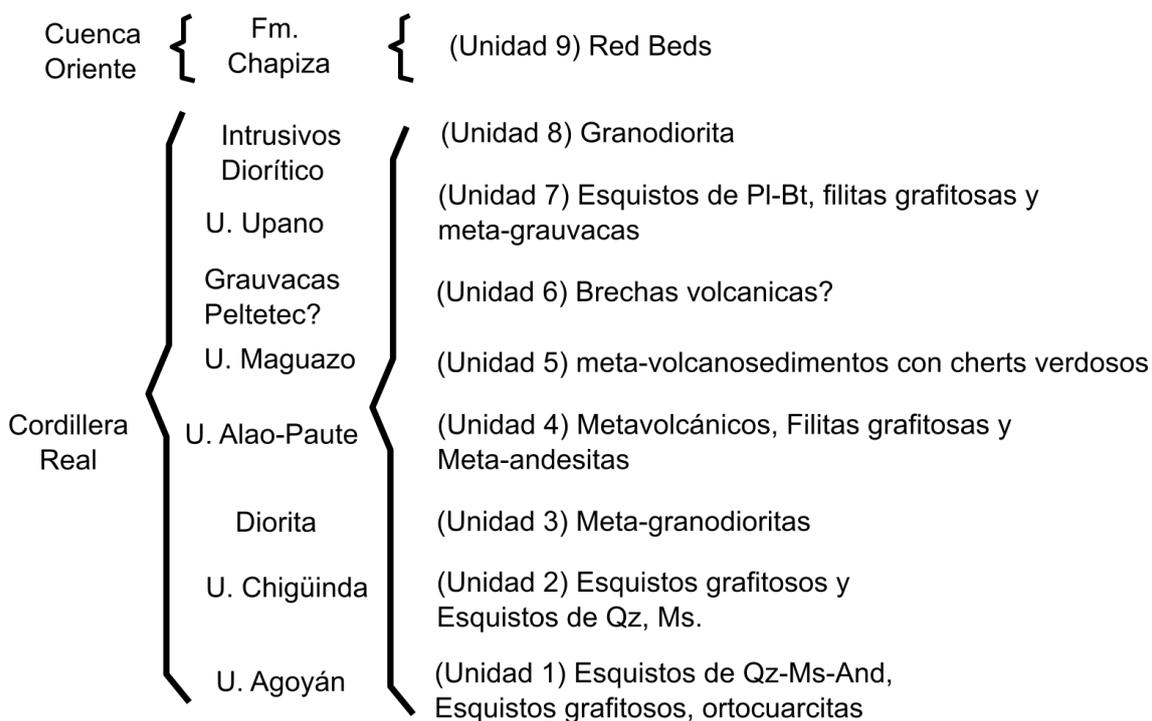


Figura 3.1 Resumen de la estratigrafía en el corte Macas-Atillo.

3.2.1 Rocas de la Cordillera Real

3.2.1.1 Unidad 1

Ubicación y características generales. –

Esta unidad está presente en el sector oeste de la zona de estudio. Aparece desde la quebrada del río Playas hasta el oeste del poblado de Purshi. Forma una franja de 77,965 km². y aflora entre los 2266-2614 msnm.

En la quebrada del Río Playas (Figura 3.2) que desemboca en el río Upano (UTM: 0793013;9757123) presentan un único plano de foliación en N12°W/67°SW, N10°W/60°SW evidenciada por el alineamiento de las micas. Las rocas recogidas en este tramo son: FC-46A de coloración gris y FC-46B con coloraciones más oscuras (Anexo 2). En este punto se encuentran dos litologías que serán descritas en la petrografía. La primera litología es maciza y compacta, la segunda son rocas son físilas. Las rocas en este punto están frescas y no presentan alteración. Las rocas en el UTM 0790380; 9755667 presentan dos planos de esquistosidad S1: S74°W/87°NW, y S2: S12°W/59°NW. Se recoge la muestra FC-49 que son rocas con color negro (Anexo 2). En los UTM: 0790308; 9755602 las rocas tienen dos planos de esquistosidad en S1: S9°W/49°W y S2: S67°W/74°NW. Se recoge la muestra FC-50 que presenta una coloración grisácea (Anexo 2).

Petrografía. –

Descripción Macroscópica

Para la caracterización petrográfica se toman en cuenta las rocas FC-46A, FC46-B, FC-49 y FC-50. La muestra FC-46A presenta textura granoblástica y tiene una paragénesis mineral de Qz-Plg-Ms-Bt-Op. El cuarzo es abundante con un ~85% en la muestra. La muestra FC-46B tiene textura grano-lepidoblástica con una paragénesis mineral de Qz-Ser-Pl-Gr-Chl. El contenido de grafito es abundante (25%) y junto con las micas forman los planos de foliación. Las plagioclasas y los cuarzos aparecen como granoblastos dentro de la muestra. La muestra FC-49 es la litología con mayor tamaño de los minerales. Forman texturas esquistosas con tendencia a gnéisicas (presentan el grado de metamorfismo mayor por su textura) y contienen porfiroblastos de Qz. Tienen una paragénesis mineral de Qz-Ms-Pl-Amp-Grt-Op. Los minerales forman bandas (áugenes). La muestra FC-50 tienen textura esquistosa con una paragénesis mineral de Ms-Pl-Qz-Gr±Cld. Los cuarzos y las plagioclasas forman porfiroblastos, al igual que los cloritoides.



Figura 3.2 Contacto entre la Unidad 3 y la Unidad 1. El Río Playas cruza por el contacto como una zona de mayor debilidad, definida como una falla.

Descripción Microscópica

La muestra FC-46A tiene una textura granoblástica. Las micas se encuentran orientadas en un plano. La composición mineral es de cuarzo (~85%), plagioclasa (~4%), moscovita (~4), biotita (~3), opacos (~1%) (Fig. 3.3 (a)). La muestra FC-49 tiene textura grano-lepidoblástica, se encuentra compuesta mineralógicamente por cuarzo (~35%), moscovita (~24%), plagioclasa (~30%), anfíbol (~7%), granate (~3%), opacos (~1%). Las plagioclasas presentan inclusiones de minerales opacos y cuarzo (Fig. 3.3 (b)). Las micas están orientadas según la deformación principal de la roca. La muestra FC-50 tiene textura es grano-lepidoblástica y una composición mineralógica de moscovita (~30%), cuarzo (~55%), plagioclasa (~10), grafito (~3%), cloritoide (~1%), opacos (~1%). El tamaño de los minerales disminuye respecto a la anterior litología (Fig. 3.3 (c)).

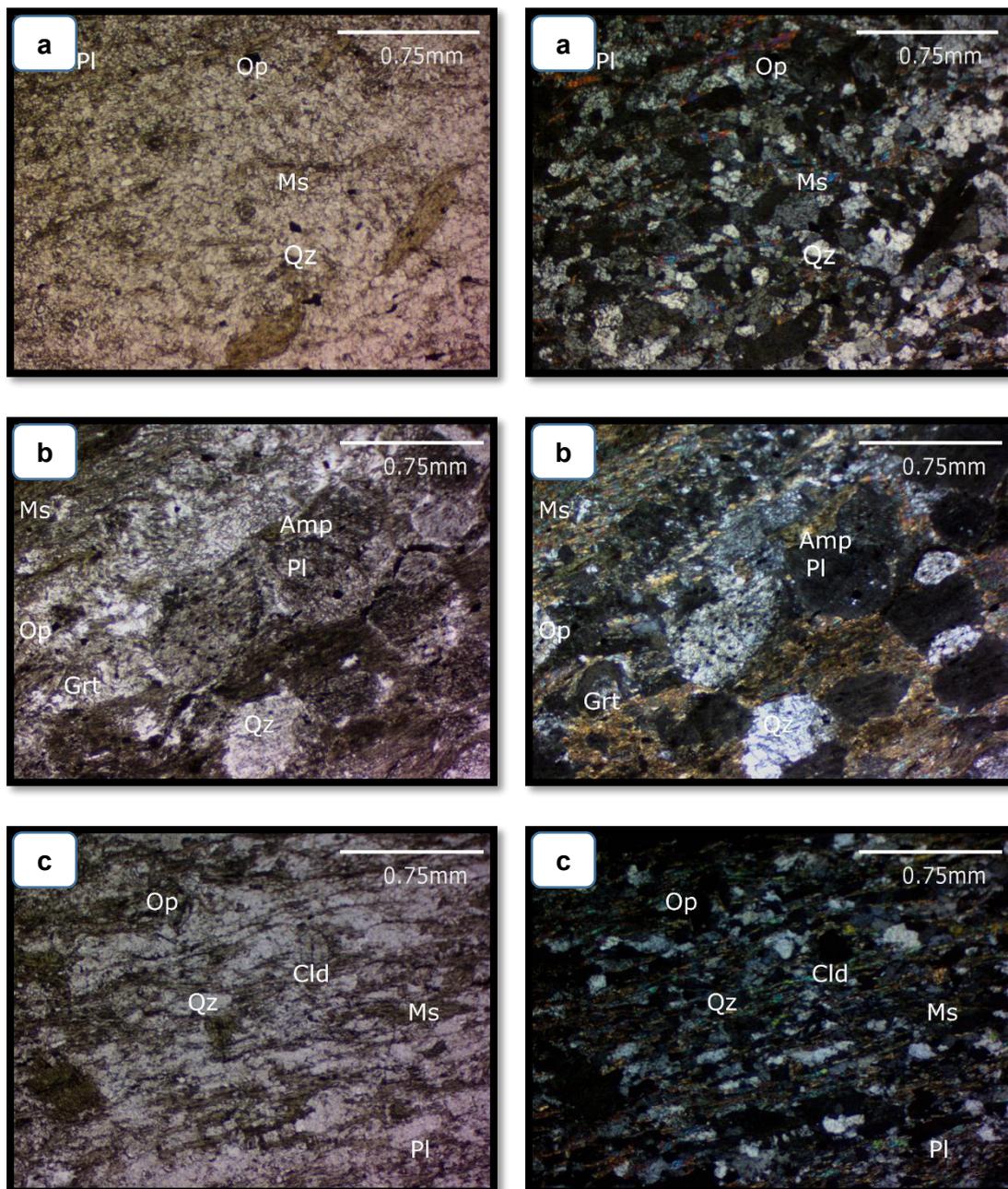


Figura 3.3 (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una Ortocuarcita, muestra FC-46. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquistó-gnéisico, muestra FC-49. (c) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquistó Qz-Ms, muestra FC-50.

Interpretación

Las rocas de esta unidad forman cuatro litologías bien marcadas que son: esquistos grafitosos, esquistos de Qz-Ms, cuarcitas y esquistos-gnéisicos. Las rocas metamórficas forman micas de mayor tamaño (moscovitas). El grado metamórfico dentro de la secuencia aumenta hacia el centro donde se encuentran las rocas con texturas casi gnéisicas y los minerales tienen mayor tamaño.

Relación estratigráfica. –

Esta Unidad 1 tiene como límite hacia el este la unidad 3 en el sector del Río Playas a la salida del túnel cerca de Zuñac (Anexo 3), donde es separado por una falla regional. El borde hacia el oeste limita con la unidad 4; el contacto con éstas no se observa en campo, pero en imágenes satelitales se observan lineaciones de zonas de cizalla de km de longitud.

Correlación. –

La Unidad Agoyán está compuesta por esquistos pelíticos y ciertos afloramientos de paragneises, se encuentra con menos extensión y más plegamiento que la Unidad Chigüinda (Litherland et al., 1994). Las rocas se encuentran con un buzamiento de alto ángulo, la Unidad es muy pelítica por lo que en un sentido estricto no es un equivalente de alto grado de las semipelitas de Chigüinda (Litherland et al., 1994). Respecto a las litologías de la zona de estudio se encuentran paragneises, que en este caso se describen como esquistos-gnéisicos, además de otras litologías (esquistos grafitosos, esquistos de Qz, Ms y cuarcitas). Los protolitos de esta secuencia son sedimentarios, por la paragénesis mineral descrita en esta unidad, y esta zona presenta el mayor grado de metamorfismo que alcanzan las secuencias de rocas metamórficas en toda la zona de estudio, así como Litherland et al., (1994) y Erazo, F. & Núñez, A. (2020) describieron. Al ser rocas de protolito sedimentario de mayor grado metamórfico se las asocia con Agoyán, ya que es la unidad metamórfica de la Cordillera Real con esas características.

3.2.1.2 Unidad 2

Ubicación y características generales. –

Esta unidad está presente desde el este de la población de San Francisco (UTM: 0801844; 9753538) hasta los UTM: 0796445; 9757860 al oeste de dicha población. Forma una franja de 141,53 km². aproximadamente y aflora entre los 1711-2374 msnm. Las rocas presentan varias deformaciones, incluyendo crenulación y su grado metamórfico, el cual es ligeramente mayor al de la Unidad 6. En los UTM 0799996; 9755133 se encuentran rocas que presentan crenulación, y se recoge la muestra FC-36 (Anexo 2). Las rocas presentan alteración hidrotermal. A los UTM 0798438; 9756832 aumenta la cantidad de grafito en las muestras, y presenta planos de foliación de S1: N5°E/ 72°SE y un S2: N54°E/54°NW. Las rocas presentan crenulación. El afloramiento presenta rocas que están alteradas. En los UTM 0798041; 9757701 se encuentra un plano de foliación S1: N6°E/42°NW. Las rocas están frescas y se recoge la muestra FC-

40 (Anexo 2). Al llegar a los UTM 0796445; 9757860 se encuentran rocas con mucho grafito, presentan minerales más finos, con una textura de grado metamórfico menor que la anterior. Están intercaladas con otra litología. El plano de foliación es de S80°W/10°SE.

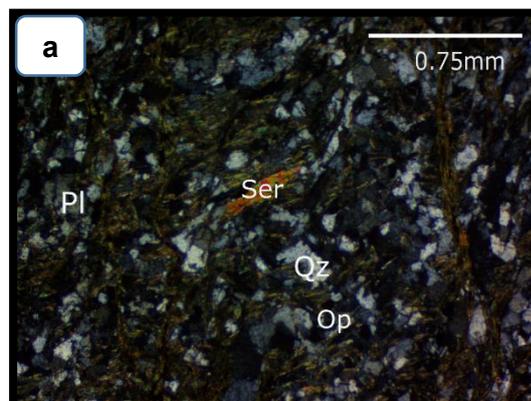
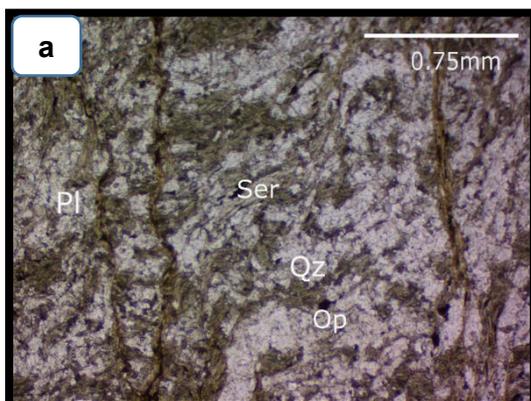
Petrografía. –

Descripción Macroscópica

Para la descripción de las rocas de esta sección se toman las muestras FC-36 y FC-40. La composición mineralógica de la muestra FC-36 es de Qz-Ser-Pl-Chl. Su textura es esquistosa, grano-lepidoblástica, y su facie metamórfica varía de subesquistoso verde a esquistoso verde. En la muestra FC-40 la paragénesis mineral varía, donde se forman: Ms-Qz-Pl-Chl-Gr ± Grt ± Ep ± Py. La textura presente en las rocas es grano-lepidoblástica. Los granates aparecen cerca del plutón meta-diorítico de la Unidad 3 y la epidota envuelve a los granates.

Descripción Microscópica

La composición mineral de la muestra FC-36 es de plagioclasa (~15%), cuarzo (~37%), sericita (en algunos sectores se forman moscovitas, también aparece biotita) (~24%), clorita (~10%), grafito (~5-10%), granate (~3%), opacos (~1%). Su textura es esquistosa y crenulada (Figura 3.4 (a)). Las micas forman bandas y muestran crenulación. Las plagioclasas junto con el cuarzo (que están en mayor cantidad) forman bandas. El grafito sigue la dirección preferencial de la deformación junto con las micas. La muestra FC-40 permite ver la variación de la formación de las micas (Figura 3.4 (b)). En esta muestra aumentan su tamaño, y forman moscovitas.



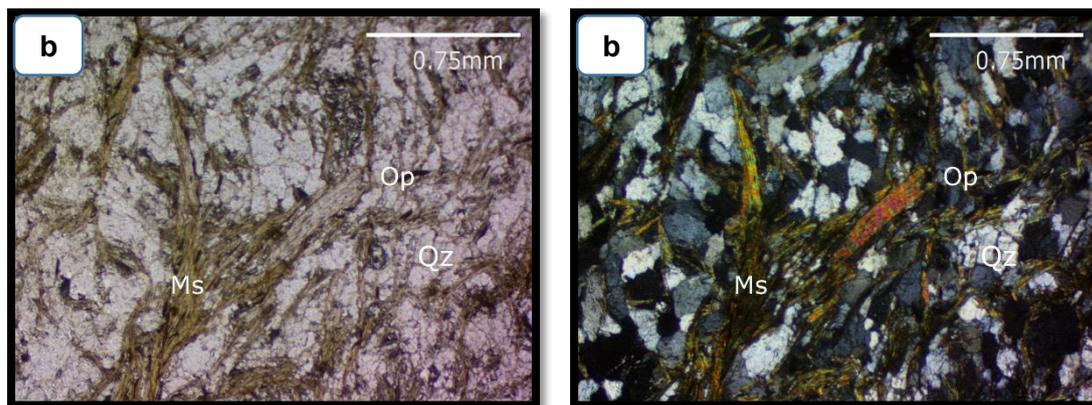


Figura 3.4 (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquistó sericítico, muestra FC-36. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquistó de Qz-Ms, muestra FC-40. Pl: Plagioclasa; Ser: sericita; Qz: Cuarzo; Op: Opacos; Ms: Moscovita.

Interpretación

En esta sección se forman dos litologías predominantes: esquistos negros grafitosos y Esquistos de Qz-Ms. En la secuencia los esquistos negros aparecen hacia el este de la unidad, mientras los esquistos de Qz y Ms están próximos a la unidad. Cerca del límite están intruidos por un plutón (Unidad 3) afectado por un incipiente metamorfismo. Las rocas presentan un buzamiento de alto ángulo, y presentan 3 planos de deformación.

Relación estratigráfica. –

Esta unidad limita con la Unidad 3 hacia el este por medio de una falla inferida se encuentra bajo una zona de deslaves dentro del área de estudio como se muestra en el mapa geológico del Anexo 3; Hacia el oeste limita con un plutón definido como la unidad 3, y este plutón se encuentra foliado como se muestra en la figura 3.6. Las capas se encuentran crenuladas y en ciertos sectores están muy oxidadas. Los intrusivos de la figura 3.5 son parte de la actividad del Plutón de la Unidad 3.



Figura 3.5 (a) Intrusión de un dique meta diorítico en los esquistos grafitosos

Correlación. –

La Unidad 2, en el área de estudio, se correlacionaría con la U. Chigüinda descrita por (Litherland et al., 1994). Esencialmente corresponden con cuarcitas y esquistos grafiticos, meta-lodolitas, filitas y rara vez metagrauvascas. Dentro del área de estudio solamente aparecen los esquistos grafiticos con cuarcitas, las lodolitas y las filitas están ausentes. El clivaje tiene un buzamiento fuerte (40° - 70° aproximadamente), que aumenta hacia el oeste. Una característica particular de la U. Chigüinda es su intensa deformación, que presentan plegamiento y crenulación.

3.2.1.3 Unidad 3

Ubicación y características generales. -

Esta unidad se encuentra en el sector central de la zona de estudio. Aflora hacia el este de la población San Francisco (0796445; 9757860) hasta un túnel con UTM 0793314; 9756430. Forma una franja de 41,011 km². y aflora entre los 2286-2306 msnm. En el afloramiento (UTM: 0793429; 09757139) los minerales se presentan alineados, las rocas son masivas y su estructura es maciza como se muestra en la figura 3.6. Se toma la muestra FC-44 (Anexo 2). En los UTM: 0792987; 09756128 las rocas presentan un incremento en el grado de metamorfismo formando minerales de mayor tamaño, casi en bandas minerales. Presenta un plano de foliación S1: $S42^{\circ}E/42^{\circ}SW$. La muestra tomada en este punto es la FC-45 (Anexo 2).

Petrografía. –

La muestra FC-45 es una roca intrusiva metamorfozada con una textura grano-lepidoblástica, su composición mineralógica es Pl-Bt-Ms-Hbl-Ep-Grt. Presenta una textura relictiva ígnea (una textura porfirítica). El tamaño de los cristales varía de 1 a 5 mm. Hacia el oeste de Zuñac donde aparecen con textura esquistosa, los anfíboles se alteran parcialmente a epidota y biotita; y cerca del túnel al oeste de Zuñac se presentan como un ortogneis, bandas de micas (con formas relictas de los anfíboles) y plagioclasas. Las rocas son masivas. Las plagioclasas forman bandas con textura granoblástica y las micas forman una textura lepidoblástica.

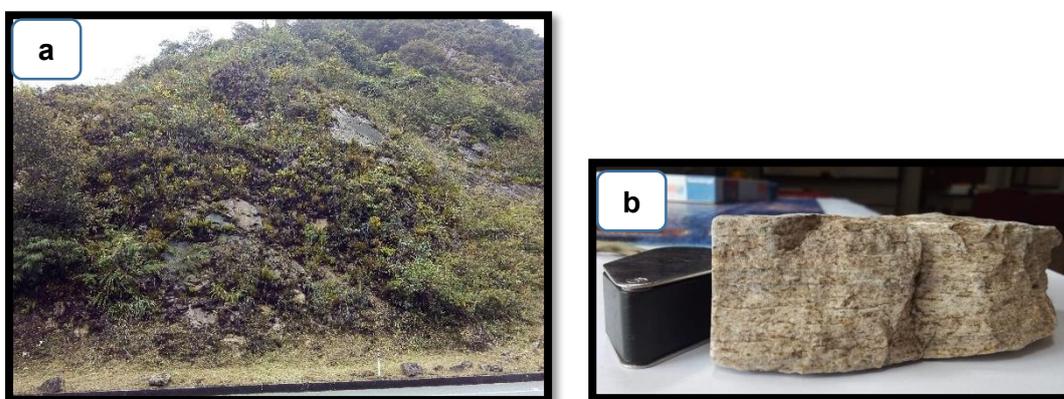


Figura 3.6 (a) Afloramiento del Plutón meta-diorítico el cual se encuentra como un ortogneis. (b) Muestra de mano del Plutón metamorfozado.

Descripción Microscópica. -

En la muestra FC-45 la composición mineral se compone de plagioclasa (~52%), cuarzo (~20%), biotita (~10), anfíbol (~10%), clorita (~5%), granate (~3%) (Figura 3.7 (b)). Los anfíboles se alteran parcialmente a epidota. Su textura es esquistosa-gnéisica. El cuarzo junto con las plagioclasas forma una textura casi en mosaico. El protolito de estas rocas se propone como ígneo, grano-diorítico, la biotita se formaría luego por metamorfismo de los anfíboles. Las plagioclasas están un poco alteradas (figura 3.7 (a)).

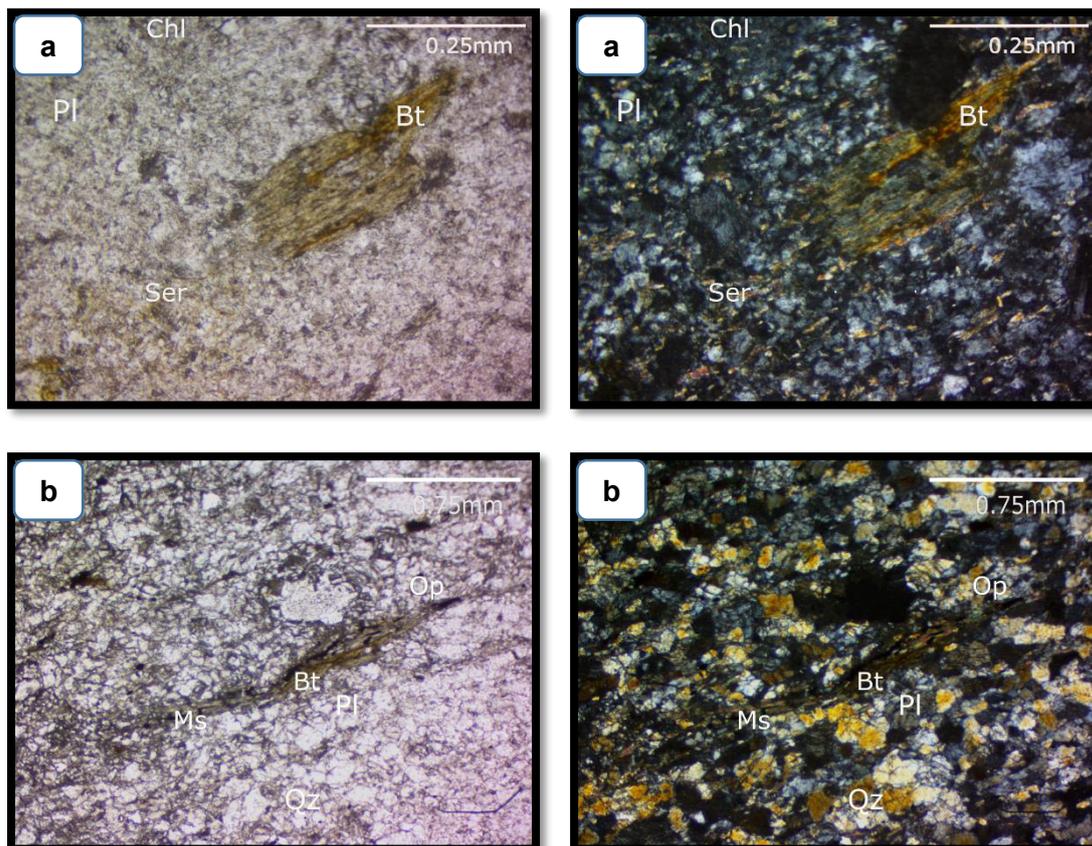


Figura 3.7 (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una Granodiorita, Muestra FC-44. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un Gneiss, Muestra FC-45. Pl: Plagioclasa; Ser: Sericita; Chl: clorita; Bt: Biotita; Ms: Moscovita; Op: Opacos.

Relación estratigráfica. –

El espesor de los diques metadioríticos varía de 1 a 1,5 m y el ancho del plutón metamorizado es de aproximadamente 1,5 km. Limita al oeste con los esquistos de Qz, Ms (Unidad 1) separados por el Río Playas, donde se infiere una falla regional (Figura 3.2); y hacia el este intruyendo a los esquistos grafitosos de la Unidad 2 como se muestra en la figura 3.5.

Correlación. –

Las rocas del área de estudio presentan una paragénesis mineral de plagioclasa-cuarzo-biotita-anfibol-clorita±granate. Son rocas granodiríticas con textura esquistosa (presentes en los diques que intruyen la Unidad 2), y forman ortogneises que se infiere es un Plutón granodiorítico metamorizado. Es necesario dataciones en minerales para poder correlacionar con alguna unidad de la división Loja, pero al encontrarse entre las unidades Chigüinda y Agoyán se infiere que pertenece a la División Loja y por ende a una de las Unidades: Sabanilla, Tres Lagunas o Monte Olivo.

3.2.1.4 Unidad 4

Ubicación y características generales. –

Esta unidad se encuentra en el sector oeste de la zona de estudio. Aparece desde los UTM 784494; 9755187 hasta cerca del límite provincial de las provincias de Chimborazo y Morona Santiago en los UTM 778696; 9758499. Forma una franja de 201,425 km². y aflora entre los 2967-3395 msnm.

En los UTM 0784494; 9755187 afloran dos bloques de tonalidad grisácea. En este sector de la zona no presentan más afloramientos, por la abundante vegetación y la falta de cortes en la carretera. Para los UTM 0781224; 9756212 afloran rocas negras con tres familias de diaclasas: D1 N17°W/45°NE; D2 N68°E/70°SE; y D3 N15E°/51°NW. Se recoge la muestra FC-51 (3.10) (Anexo 2). Hacia el oeste UTM 0780244; 9756920 afloran dos secuencias litológicas separados por contacto concordante como se muestra en la figura 3.8. Las rocas se encuentran formando un pliegue, donde las rocas hacia el centro son menos plegables, mientras las rocas hacia el exterior forman un plegamiento chevron. Cerca del límite de esta unidad en los UTM 0778696; 9758499 se encuentra una zona de cizalla, donde las rocas dentro de la zona de cizalla aparecen muy fracturadas y presenta harina de falla. Las rocas hacia el este de esta zona de cizalla tienen una coloración negra, y plegadas. Se recoge la muestra FC-14 (Anexo 2).

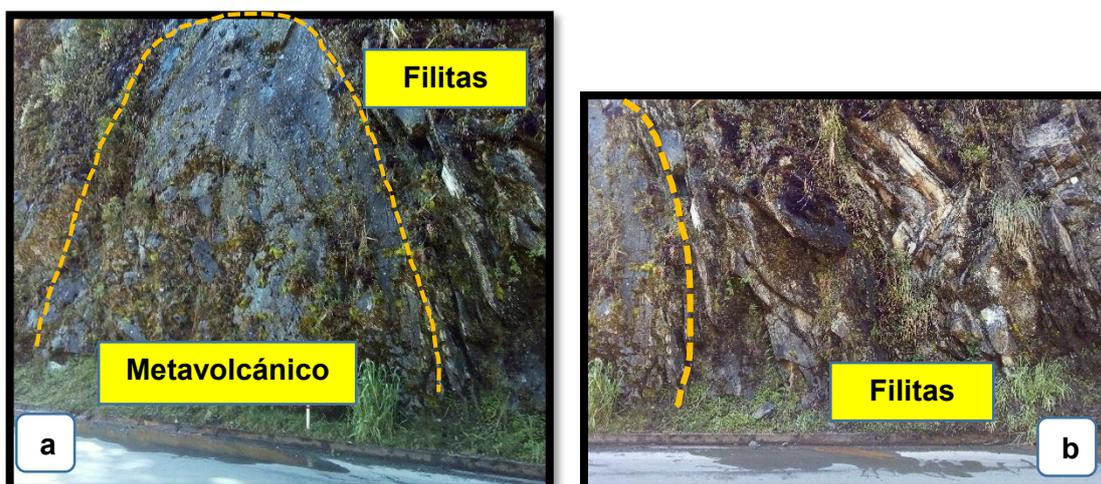


Figura 3.8 (a) y (b) Afloramiento de los metavolcánicos en contacto estratigráfico con las filitas. Las capas forman anticlinales, y las filitas se encuentran fuertemente plegadas como se observa en (b)

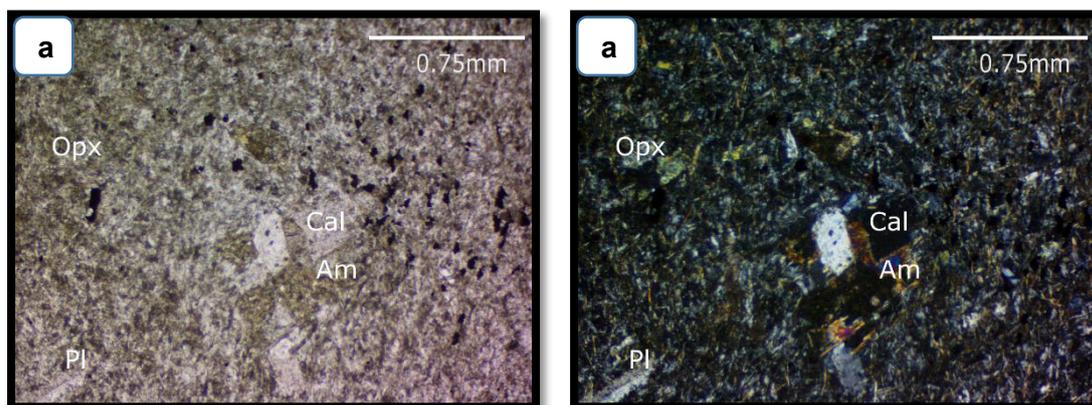
Petrografía. –

Descripción Macroscópica

Para la descripción petrográfica se toman las muestras FC-51, FC-52 y FC-14. La muestra FC-52 tiene una composición mineralógica de PI-Ser-Ep-Chl-Opx. Las epidotas se forman como producto de la alteración de las plagioclasas. La matriz se encuentra un poco foliada y el tamaño es fino. Su textura es porfidoblástica. La muestra FC-14 está compuesta por PI-Qz-Bt-Ser-Opx-Chl-Op. Presentan un plegamiento muy fuerte y se encuentran foliadas, su textura es lepidoblástica, y el tamaño mineral es microscópico. La muestra FC-51 es una roca verde con tamaño mineral fino. La roca está compuesta por PI-Am-Chl-Ep±Cal. Su textura es porfirítica, la matriz se altera a Clorita, y la epidota aparece por alteración de minerales máficos.

Descripción microscópica

La textura de la muestra FC-51 es porfirítica. Su composición mineral es de plagioclasa (~15%), anfíbol (~5), ortopiroxenos (~3), clorita (~5), calcita (~3%), opacos (~1%). La matriz (~68%) está compuesta por minerales microscópicos en su mayoría plagioclasas que se alteran parcialmente a clorita y epidota Figura 3.9(a). La textura de la muestra FC-52 es afanítica. Su composición mineral es de plagioclasa (~35%), anfíbol (~3), clorita (~5), epidota (~5%), La matriz (~53%) está compuesta por minerales microscópicos que están alterados a clorita Figura 3.9(c). La muestra FC-14 contiene plagioclasa (~44%), cuarzo (~20), biotita (~10), sericita (~15), clorita (~6), opacos (~5%). Su textura es pizarrosa y crenulada Figura 3.9(b).



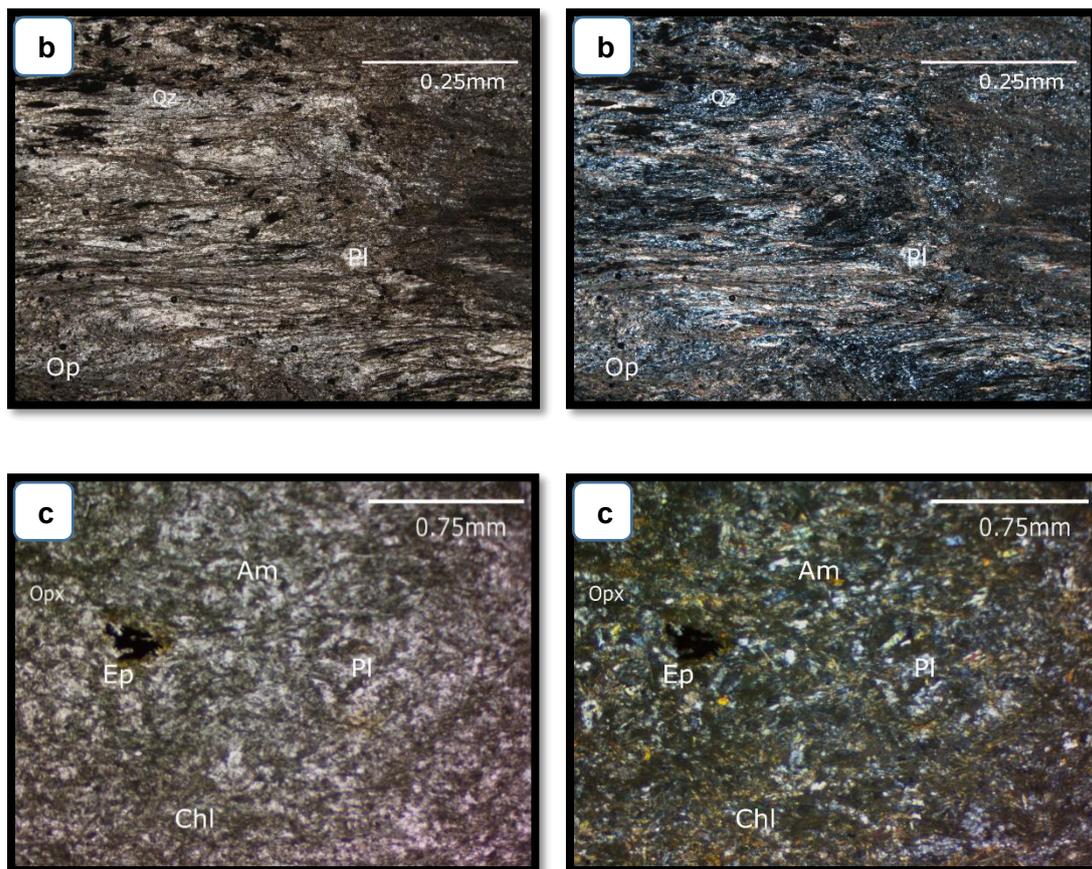


Figura 3.9 (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una meta-andesita. Muestra FC-51. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de filita negra tobácea. Muestra FC-14. (c) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una meta toba. Muestra FC- 52. Opx: Ortopiroxeno; Pl: Plagioclasa; Cal: Calcita; Am: Anfíbol; Qz: Cuarzo; Ep: Epidota; Chl: Clorita; Op: Opacos

Interpretación

Dentro de esta unidad se encuentran tres tipos de rocas: las meta-andesitas (FC-51) (UTM: 781224; 9756212) que tienen textura porfírica y de color verdoso con un grado bajo de metamorfismo. Su estructura es masiva y presenta fracturas; metatobas (FC-52) (UTM: 780244; 9756920) (figura 3.10) que están intercaladas con filitas negras (FC-14). Las meta-andesitas cortan la secuencia de metatobas y filitas. Las metatobas presentan colores grises, compuestas de piroclastos con minerales orientados. Presentan plagioclasa dispersa por toda la muestra. Está en contacto estratigráfico con filitas negras, las cuales junto a los metavolcánicos forman pliegues Fig. 3.8 (a) y (b). En ciertos sectores se presenta más masiva.

Relación estratigráfica. –

Las rocas de esta unidad tienen como límite hacia el este una zona regional de cizalla que la separa de las rocas metamórficas de la unidad 1. Hacia el oeste limita con metavolcánicos de la unidad 5, a través de una falla que se muestra en la figura 3.11.



Figura 3.10 Afloramiento de las meta-andesitas, las rocas se encuentran diaclasadas. (Martillo de escala en círculo rojo)

Correlación. –

La secuencia de rocas de esta Unidad 4 se asocia con la Unidad Alao-Paute del Arco Alao. Según Litherland et al. (1994) esta unidad presenta lavas metamorfoseadas que aparecen como rocas verdes y están intercaladas con esquistos verdes, esquistos grafitosos, esquistos pelíticos, cuarcitas y mármoles. La paragénesis mineral según Litherland et al. (1994) es $Qz-Chl-Ab\pm Cb\pm Ep\pm Act\pm Bt$; mientras que las rocas más pelíticas tienen un contenido de $Ms-Chl-Cld$. Navarrete (2018) describe una secuencia de metabrechas andesíticas, metabasaltos, metawackes, filitas tobáceas, cuarcitas y meta-andesitas. En la zona de estudio afloran metatobas, filitas negras y meta andesitas, que sólo sería una parte de la secuencia del Arco Alao.

3.2.1.5 Unidad 5

Ubicación y características generales. –

Esta unidad se encuentra en el sector oeste de la zona de estudio. Aflora cerca del límite provincial de las provincias de Chimborazo y Morona Santiago en los UTM 778696; 9758499 hasta llegar cerca de la Laguna de la Magdalena con UTM 777292;9758698. Forma una franja de 100,522 km². y se encuentra entre los 3229-3419 msnm.

En el afloramiento con UTM: 0778696; 09758499 se encuentra una zona de cizalla que separa a estas rocas de la Unidad 4 (Figura 3.11). La zona de cizalla tiene un ancho de 15 m aproximadamente. Las rocas que afloran en esta localización presentan un color verdoso. Las rocas presentan un plano de foliación de S1: N50°E/81°SE En la laguna negra con UTM 0777317; 9759083 las rocas forman secuencias de colores negros y verdes y presentan un buzamiento pronunciado (figura 3.12 (b)) de S1: N64°W/40°NE. Se recogen las rocas FC-11 y FC-12 (Anexo 2) que contienen ambas litologías que están en la zona de estudio. Cerca de la Laguna de la Magdalena con UTM 777292;9758698 las rocas se encuentran sobreyacidas por la siguiente unidad, presentando rocas más arenosas con clastos que varían de tamaño.

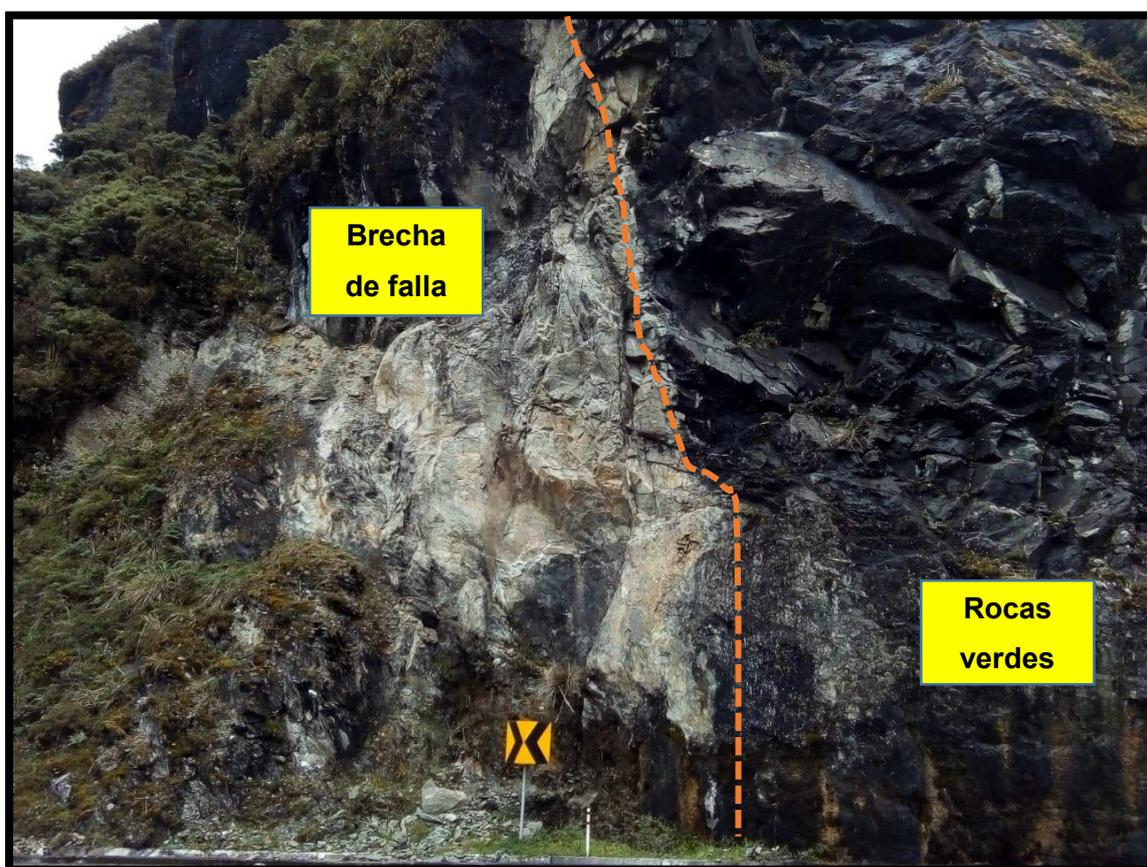


Figura 3.11 Contacto de entre esquistos verdes de la Unidad 5 (hacia la derecha) y filitas negras de la Unidad 4, en el centro se encuentra una zona de cizalla donde las rocas son brechas de falla.

Petrografía. –

Descripción Macroscópica

En el afloramiento en la zona de cizalla hacia el este (UTM: 0778696; 09758499) se encuentran las filitas negras verdosas con mucha sericita. Dicha zona de cizalla separa esta litología de la Unidad 5 por medio de rocas meta-volcanosedimentaria de color negro de la Unidad 4, que antes se definen como filitas. En la zona de cizalla las rocas

forman harina de falla por la deformación frágil de la zona, con una coloración verdosa. Las rocas en este límite están compuestas por Amp-Chl -Micas. Las rocas contienen sulfuros diseminados, generalmente es pirita.

En el afloramiento en la imagen de la Virgen de Macas (UTM: 0778143; 09759203) se encuentra una alternancia de capas de tamaños de 1-2 cm de color verdoso y color negro. Que continúa hasta el siguiente afloramiento en la laguna Negra. Además, la secuencia posee capas de sedimentos silisificados microcristalinos de 10 cm de espesor.

Junto la laguna negra (figura 3.12) presenta alternancias de rocas con coloraciones verdosas (FC-12) y negras (FC-11). La presencia de minerales máficos angulares (anfíboles) y de plagioclasas alteradas de tamaño milimétrico dentro de la matriz supone que su proveniencia es de naturaleza volcánica. Hacia el norte las litologías predominantes incluyen esquistos verdosos con biotita. La muestra FC-11 tiene una textura lepidoblástica a esquistosa, su composición mineral es de Pl-Qz-Bt-Clastos volcánicos. La roca contiene una matriz compuesta por arcillas y micas. La mica se observa son parte de la metamorfización de la roca. La muestra FC-12 tiene una composición de Pl-Qz-Ser-Hbl y pirita secundaria. El tamaño de grano disminuye respecto a la anterior muestra, y la matriz contiene arcillas y mayor cantidad de micas.

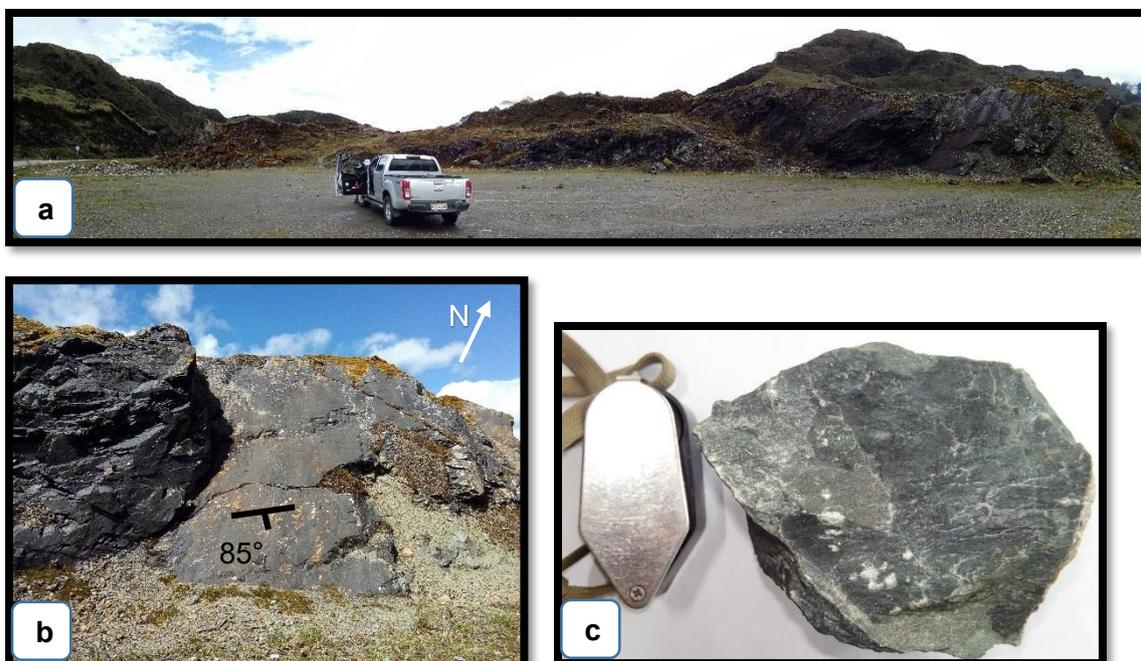


Figura 3.12 (a) Afloramiento de las rocas verdes. (b) Acercamiento a la zona derecha del afloramiento. Nótese el ángulo de inclinación de las capas. (c) Muestra de mano de una roca verde.

Descripción microscópica

La muestra FC-11 tiene como composición mineral plagioclasa (~35%), cuarzo (~20), clorita (~8), clastos volcánicos (~3%), biotita (~3%), opacos (~1%). La matriz (~30%) está compuesta por minerales microscópicos en su mayoría micas y arcillas que se alteran parcialmente a clorita y epidota. Su textura es pizarrosa, y los minerales son angulares dentro de una matriz poco deformada (Figura 3.13 (a)). La muestra FC-12 contiene plagioclasa (~34%), cuarzo (~10), Hbl (~8), clastos volcánicos (~4%), biotita (~3%), opacos (~1%). La matriz (~30%) está compuesta por minerales microscópicos en su mayoría micas y arcillas que se alteran parcialmente a clorita y epidota (Figura 3.13 (b)).

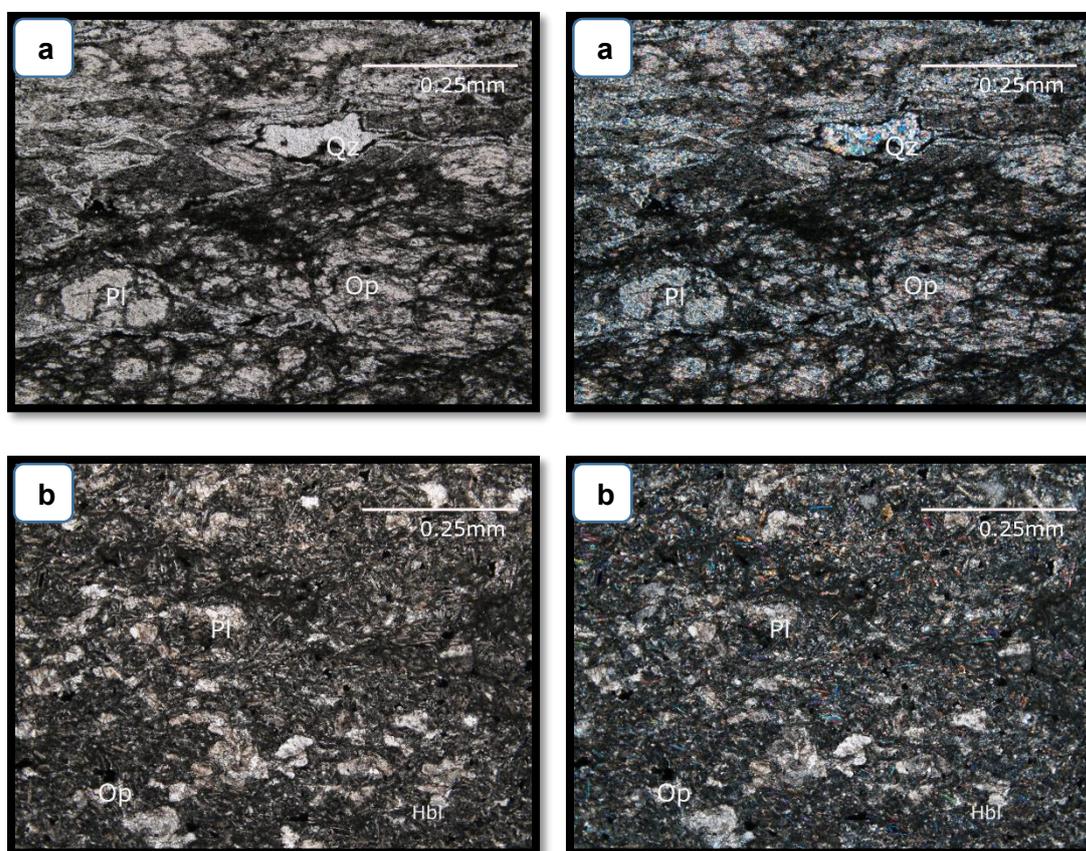


Figura 3.13 (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una meta-toba. Muestra FC-11. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de meta-toba. Muestra FC-12. Qz: Cuarzo; Pl: Plagioclasa; Op: Opacos; Hbl: Hornblenda.

Interpretación

Dentro de esta unidad se reconocen tres litologías. La muestra FC-11 describe un meta-volcanosedimento, donde los minerales presentan una alineación preferente descrita por Litherland (1994) con dirección preferentemente hacia el norte. En la muestra FC-12 se describe una roca con minerales de Pl y Hbl, con una matriz alterada a clorita. Se

la define como una meta-toba. Dentro de esta intercalación de rocas se encuentra también una roca microcristalina de sílice, que se la define como chert.

Relación estratigráfica. –

Limita hacia el este con la secuencia de filitas y metavolcánicos (figura 3.11), separados por una falla y hacia el oeste se encuentran sobreyacidos por la unidad 10 (Anexo 3). El contacto con las filitas y metavolcánicos es tectónico, ya que se encuentran separadas por una zona de cizalla y tal como se observa en la figura 3.11 están separadas por un material fino (gouge).

Correlación. –

La Unidad Maguazo es un cinturón de turbiditas metamorfizadas y rocas volcánicas; el cinturón es de 5-10 km de ancho con contactos tectónicos con la ofiolita Peltetec hacia el este, y hacia el oeste con Alao-Paute por la falla San Antonio (Litherland et al., 1994). La Unidad Maguazo está dominada por una secuencia de turbiditas con intercalaciones de andesitas basálticas y un metamorfismo bajo. Litologías asociadas se componen de filitas negras, ferruginosas o piríticas en ciertos casos, filitas verdes, ortocuarcitas rojas y cherts. La Unidad Maguazo es interpretada como una posible secuencia de ante arco del arco de islas oceánico Alao-Paute (Litherland et al., 1994). Dentro de la zona de estudio se encuentran cherts verdosos, junto a una secuencia turbidítica, de sedimentos volcanoclásticos, la presencia de sulfuros es generalizada en toda la zona. La zona presenta buzamientos altos, que en la parada de la Virgen de Macas alcanza su mayor grado que es de 82° hacia el NE.

3.2.1.6 Unidad 6

Ubicación y características generales. –

Esta unidad se encuentra en el sector este de la zona de estudio. Aflora al oeste de Jimbitono, luego de una zona de cizalla regional en los UTM 812185; 9748423. Forma una franja de 331,927 km². y se encuentra entre los 1176-1822 msnm.

Durante su trayecto se encuentran de este a oeste: metasedimentos muy deformados y plegados (UTM: 812602; 9748357), esta deformación de los metasedimentos más cercanas a la zona de cizalla es muy intensa, donde el microplegamiento es notable. Luego afloran sedimentos clásticos de grano muy fino, (UTM: 812185; 9748423) marcados por su coloración negra y la propiedad de pintar al tacto. Las rocas son

masivas. En el afloramiento del Río Abanico UTM 811350; 9750958 las rocas se encuentran en contacto discordante con un intrusivo. Las rocas en este afloramiento son negras, y están fracturadas. Su plano de foliación es de N20°E/10°NW. En los UTM 0807241; 9754145 afloran rocas de color blanquecino, y presentan dos planos de foliación: S1 N40°E/ 60°SE y S2 N15°E/6°SE. En el afloramiento con UTM 807141; 9753933 Las rocas tienen un color negro y contienen un único plano de foliación S1 N75°E/54°SE. Se recoge la muestra FC-33 (Anexo 2). A los UTM 801844; 9753538 afloran rocas meta-sedimentarias que contienen mucha pirita diseminada. Las rocas no muestran planos de foliación, se toma la muestra FC-35 (Anexo 2). Dentro del primer tramo, dentro de la zona de cizalla cercano al Río abanico se encuentran Bloques de sedimentos finos, con coloración negra, que presentan poco o ningún grado metamórfico.

Petrografía. –

Descripción Macroscópica

Para la descripción se toman las muestras FC-19, FC-29, FC-33 y FC-35. En la muestra FC-19 su composición mineralógica es: Ser-Gr-Bt-Qz-Op-Chl. Su textura es lepidoblástica. Las cuarcitas presentan colores grises con una composición de Qz-Ser-Op. Su textura es granular y las micas presentan un lineamiento. El contenido de Qz es de un 90%. En la muestra FC-29, las cuales están presentes en el afloramiento del Río Abanico, tiene una textura lepidoblástica, y una paragénesis mineral de Pl-Ser-Bt-Chl-Gr±Py±Cpy. Estas rocas están en contacto con un intrusivo como se muestra en la Figura 3.14 generalmente aparecen oxidadas, por lo que se infiere una composición ferruginosa. Estas filitas tienen un contenido muy alto de grafito por su coloración y su propiedad de pintar al tacto.

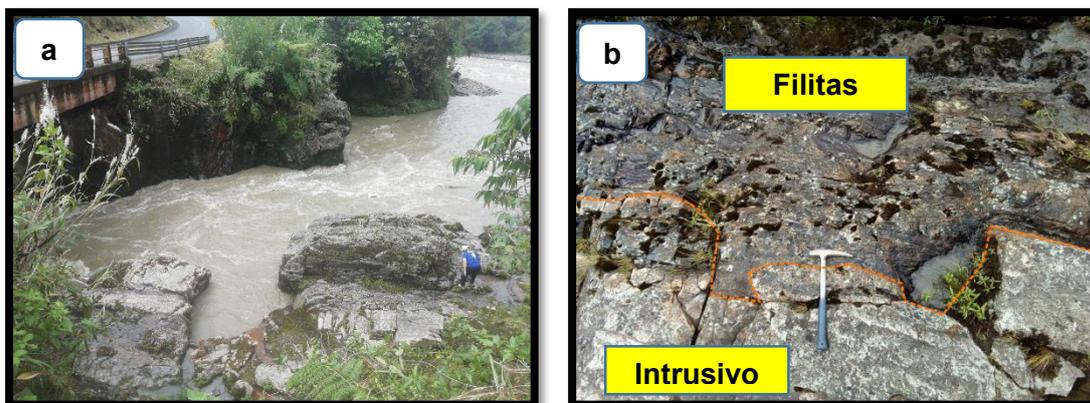




Figura 3.14 (a) Contacto de las Filitas con un intrusivo diorítico en el Río Abanico. (b) Acercamiento al afloramiento: se aprecia la zona de contacto de las filitas con el intrusivo. (c) Parte de las filitas queda mezclada con el intrusivo.

La muestra FC-33 tiene una composición mineralógica de PI-Ser-Gr-Chl-Bt-Ep. Su textura es esquistosa, y posee pirita diseminada. Además, en el afloramiento se encuentran láminas de cuarzo de tamaño de 10cm. La muestra FC-35 B, se encuentra con una cantidad de 10-15% de Pirita y calcopirita. Tiene una composición de Qz-PI-Ser-líticos volcánicos y Py-Ccp como secundarios. Su textura es Porfiroblástica como se muestra en la figura 3.15.

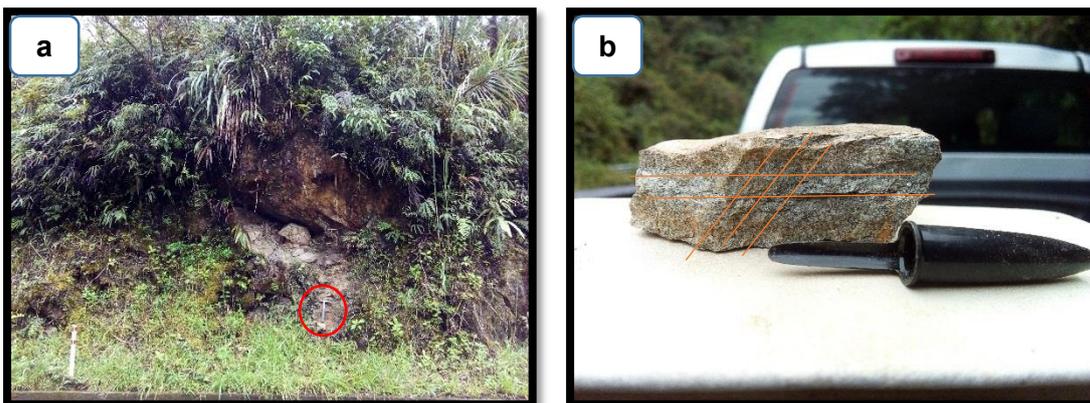
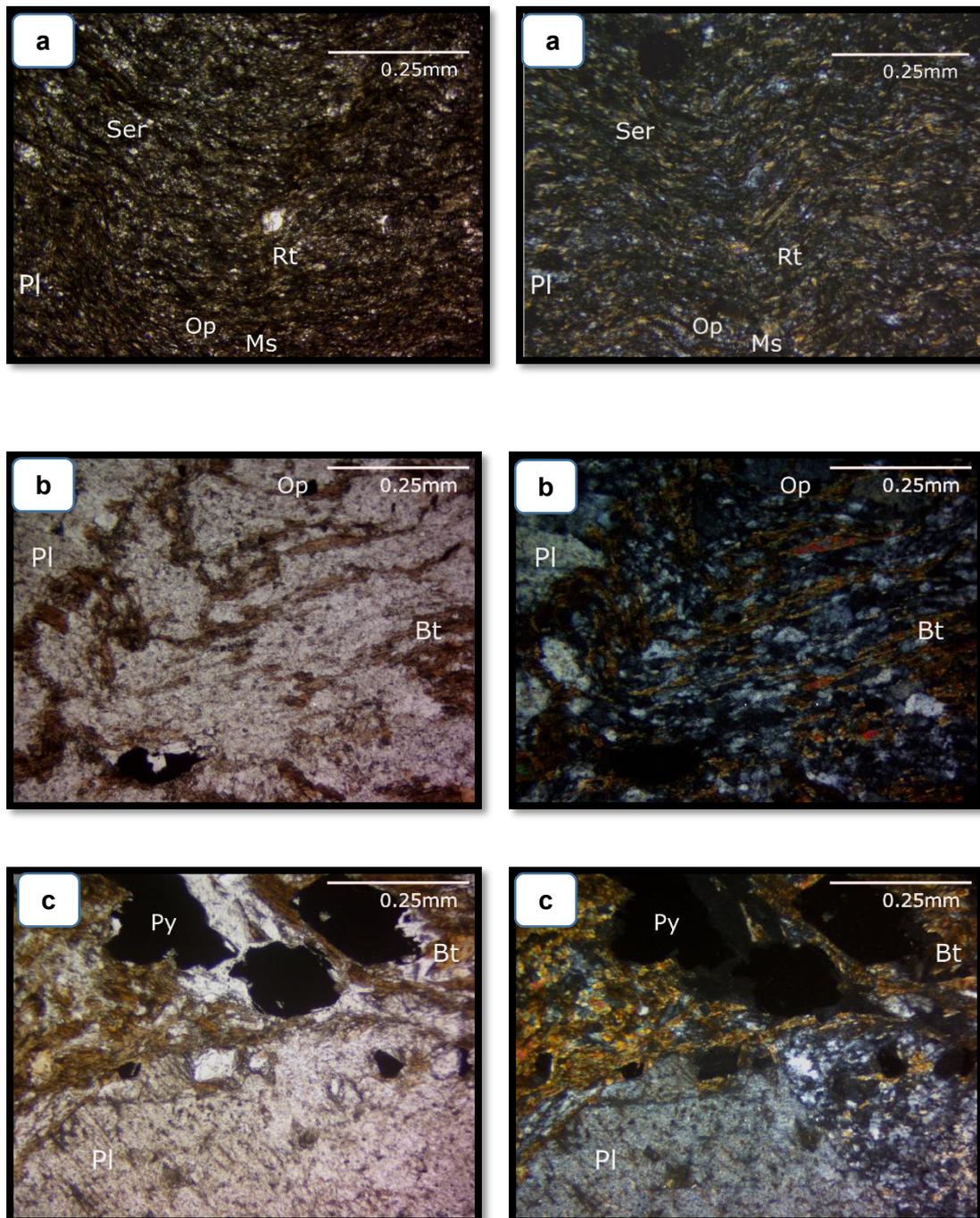


Figura 3.15 (a) Afloramiento del esquistos sericítico, martillo como escala en círculo rojo (b) muestra de mano obtenida del afloramiento, se observan los diferentes planos de esquistosidad.

Descripción Microscópica

La composición mineral de la muestra FC-19 es sericita (~30%), cuarzo (~20%), grafito (~25), opacos (~2%), clorita (~10%), biotita (~13%). Su textura es lepidoblástica (de las micas), pizarrosa y está crenulada como se muestra en la figura. 3.16 (a). Esta imagen muestra claramente el microplegamiento. La composición mineral de la muestra FC-33 presenta plagioclasa (~20%), sericita (~30%), biotita (~25%), clorita (~5%), grafito (~15%) y pirita (~5%) como mineral secundario. La textura de la roca es lepidoblástica. La muestra FC-35 está compuesta por plagioclasa (~40%), biotita (~25%), cuarzo (~30%) y pirita (~5%) como mineral secundario. Su textura es esquistosa lepidoblástica y con crenulación como se muestra en la figura 3.16 (b, c); las plagioclasas forman porfiroblastos, aunque la mayoría forman cristales de menor tamaño que se envuelven

dentro de la deformación y forman planos junto con las micas. La muestra FC-29 tiene una textura lepidoblástica, y una composición mineral de plagioclasa (~23), sericita (~30), biotita (~25), grafito (~20) ± pirita y calcopirita (~2) (Figura 3.16 d).



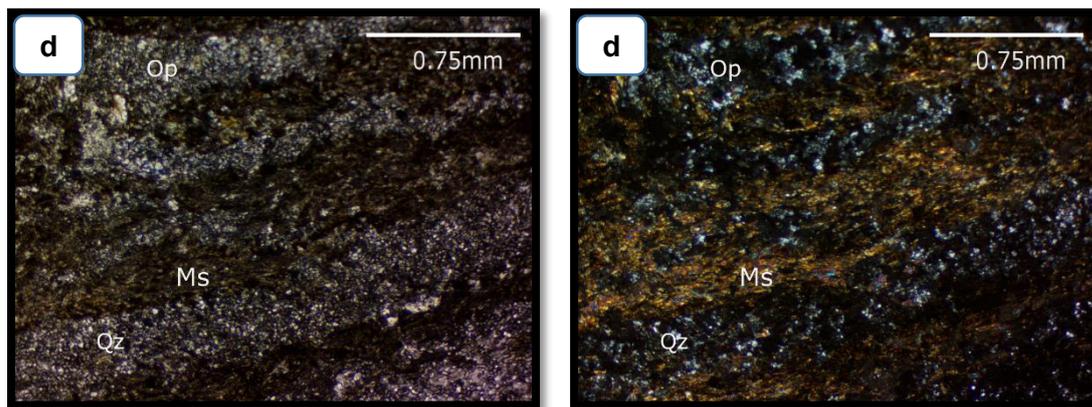


Figura 3.16 (a) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una filita, muestra FC-19. (b) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquistó sericítico, muestra FC-35. (c) Otra sección de la lámina delgada de la muestra FC-35 donde se encuentra pirita que está diseminada por toda la muestra. (d) Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de un esquistó sericítico, muestra FC-33. Pl: Plagioclasa; Ser: Sericita; Rt: Rutilo; Ms: Moscovita; Op: Opacos; Bt: Biotita; Py: Pirita; Qz: Cuarzo.

Interpretación

La muestra FC-19 corresponde a lutitas negras. La muestra FC-29 que se encuentra al inicio de esta unidad es una filita grafitosa y está en contacto con un intrusivo. La muestra FC-33 da una litología de Esquistó de Pl-Qz-Ser-Bt de color gris blanquecino y con una tonalidad verdosa. La muestra FC-35 es un esquistó de Qz-Pl-Bt que han sido intruidas durante la actividad magmática presente en la zona, presentando minerales de alteración. Se encuentran cerca de la población 9 de Octubre en los UTM: 087241; 09754145. Muchos afloramientos se encuentran meteorizados y algunos presentan alteración por su contacto con la granodiorita (Unidad 3), además de la abundante vegetación que impide la visión de la zona. La Unidad presenta muchas vetas de cuarzo de tamaño centimétrico.

Relación estratigráfica. –

Limita hacia el este, separado por una zona de cizallamiento, Con la unidad 8; y, hacia el oeste, por la Unidad 5 cerca del poblado de San Francisco, separados por una falla regional manifestada por una zona de derrumbes en la vía (Anexo 3).

Correlación. –

La Unidad presente se correlaciona con la U. Upano, la cual según Litherland et al., (1994) está compuesta por rocas metasedimentarias que forman un cinturón de 15 km de ancho y están conformados por rocas verdes meta-andesíticas, esquistos verdes y meta grauvacas intercaladas con filitas negras grafitosas. Las grauvacas contienen clastos angulares de feldespatos y líticos de origen volcánico. Los esquistos, las filitas y las metalavas generalmente muestran una foliación con un buzamiento de alto ángulo,

concordante con vetas de cuarzo. Las rocas de la Unidad 4 muestran los feldespatos angulares, provenientes probablemente de un protolito volcánico, que aparecen como porfiroblastos dentro de las rocas. Los esquistos sericíticos aumentan su contenido en grafito hacia el oeste. Las rocas verdes meta-andesíticas no aparecen en la zona de estudio.

3.2.1.7 Unidad 7

Ubicación y características generales. –

Corresponde a una Unidad litológica compuesta por diques y un plutón. Aparece como una intrusión (UTM: 810734 9751186). Cerca de la población 9 de Octubre con UTM 806396; 9753919 (Figura 3.18 a) se encuentra un plutón, donde las rocas presentan una textura fanerítica y se recoge la muestra FC-34 (Anexo 2). Para los UTM 802723; 9752053 este intrusivo presenta xenolitos de misma composición, pero con textura microfanerítica. Es el último punto donde se encuentra aflorando esta unidad. En los UTM 811350; 9750958 corta la secuencia metamórfica en el Río Abanico.

Petrografía. –

Descripción Macroscópica

Para la descripción de esta litología se toma la muestra FC-34. Esta muestra es tomada en el afloramiento de la figura 3.17. Esta unidad es un cuerpo intrusivo con textura fanerítica y porfirítica en los diques. Su estructura es masiva. El tamaño de los cristales es muy grueso, generalmente equigranulares. La composición mineralógica es principalmente anfíbol, plagioclasa (en su mayoría), cuarzo, feldespato potásico y biotita. En los contactos con las filitas aparece clorita como mineral de alteración, y la piritita aparece como mineral secundario y contiene xenolitos de diorita fig. 3.17(b). Hacia el este de la población 9 de Octubre el contenido de Qz disminuye.



Figura 3.17 (a) Afloramiento del Plutón granodiorítico cerca del poblado 9 de Octubre. (b) Tiene xenolitos de la misma composición (marcados en el círculo rojo)

Descripción microscópica. –

La muestra FC-34 tiene textura fanerítica, holocristalina. Los cristales se presentan con un hábito de euhédrico a subhédrico y la textura global es equigranular (Fig. 3.18). La composición mineral es plagioclasa (~42%), cuarzo (~15%), feldespato alcalino (~30%), biotita (~5%) y anfíbol (~8).

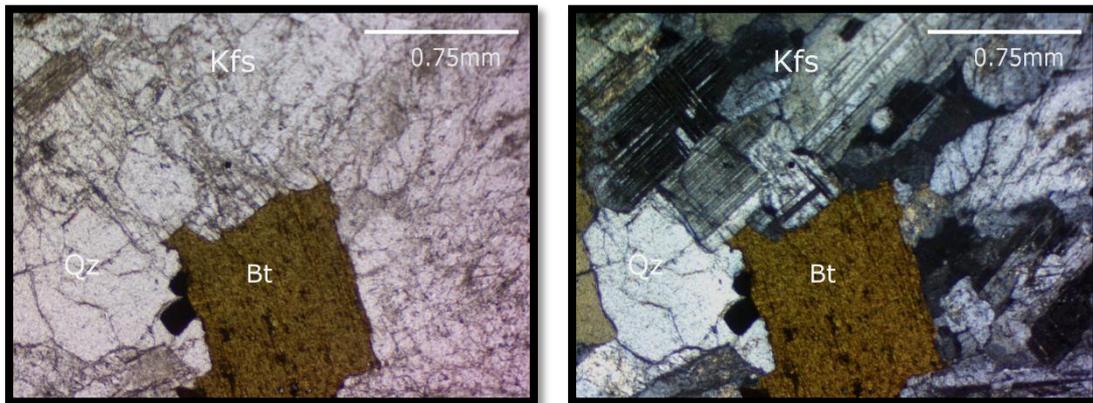


Figura 3.18 Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una cuarzo-monzonita. Muestra FC-34. Qz: Cuarzo; Kfs: Feldespato Potásico; Bt: Biotita.

Interpretación

La muestra FC-33 según lo descrito en lámina delgada, se la clasifica como una roca ígnea intrusiva de composición cuarzo-monzonita (figura 3.19). La composición de los xenolitos es la misma, aunque el tamaño de grano es menor.

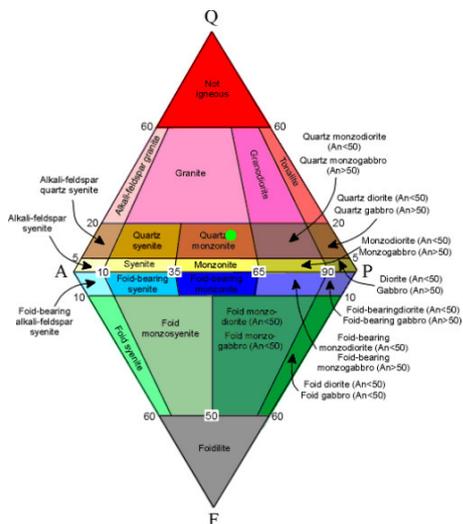


Figura 3.19 Diagrama QAFP (Diagrama de STRECKEISEN) donde la roca se clasifica como una roca ígnea intrusiva cuarzo monzonita

Relación estratigráfica. –

Es posible que intruya a través de zonas de debilidad, principalmente fallas. Se encuentra este plutón afectando a la unidad 6 desde el afloramiento en el Río Abanico, hasta la población 9 de Octubre (Anexo 3).

Correlación. –

Litherland et al. (1994) nombra a este Plutón cuarzo-monzonítico (Unidad 3) como el Plutón Colimbo, el cual está presente dentro de la Fm. Upano, pasando el río Abanico.

3.2.1.9 Unidad 8**Ubicación y características generales. –**

Se encuentra ubicada al oeste de la ciudad de Macas y limita hacia el oeste del poblado Jimbitono. La principal litología está representada por intercalaciones de sedimentos de color rojizo (en su mayoría), negras, marrones y grises. Cerca de la ciudad de Macas (fig. 3.20) en el primer afloramiento a la intersección de la vía General Proaño. En la carretera afloran intercalaciones de paquetes negros y capas rojizas. En el poblado de Jimbitono (UTM: 815452; 9750712) afloran capas rojas en contacto discordante con capas grises. Hacia el tope hay 1-2 m de suelo. Unos 200 m hacia el oeste se nota la variación de estas capas. Las capas tienen un rumbo de N60°E/12°SE. Presenta una zona de cizalla hacia el oeste de Jimbitono donde las capas se encuentran muy deformadas y plegadas. En imágenes satelitales se puede apreciar los pliegues y la zona de cizalla que marca el inicio del Subandino.



Figura 3.20 “Redbeds” en la vía Macas-Guamote hacia la intersección de la Gral. Proaño.

Petrografía. –

Descripción Macroscópica

La Unidad 8 aflora como secuencias de rocas sedimentarias de color rojizo y color rosáceo depositadas horizontalmente, con tamaños de arenas medio a fino, con una subredondez en sus componentes. Parte de la matriz está compuesta por arcillas. Hacia la base de la secuencia aparecen rocas de tamaño mineral microscópico de color rojizo, violáceo y grisáceo. Durante la secuencia se aprecian pequeñas capas de carbón (Pintan al tacto) (fig. 3.21). Tiene un sorteo pobre en los granos en la zona de Jimbitono, mientras que en la zona cerca de la intersección de la vía Gral. Proaño las capas de arenas presentan un buen sorteo de sus granos, igualmente con una subredondez. La muestra FC-28 (Anexo 2) está compuesta por minerales de cuarzo, plagioclasa, arcillas, micas, y en ciertos niveles arenosos aparecen clastos volcánicos.

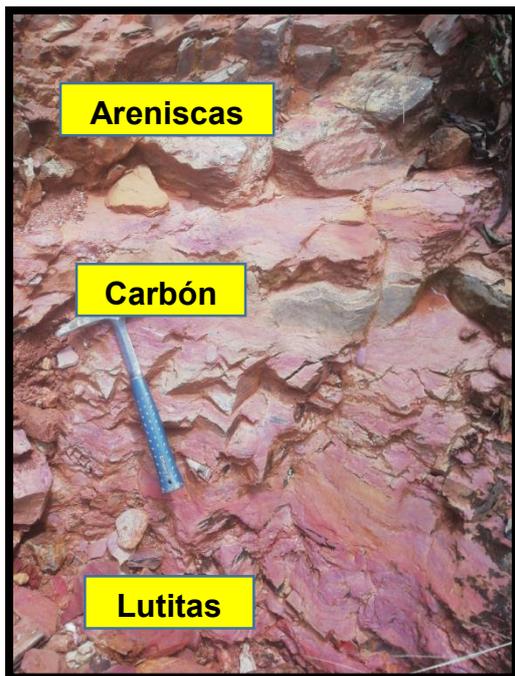


Figura 3.21 Intercalación de Lutitas, areniscas y capas de carbón

Descripción Microscópica

La muestra FC-28 tiene una composición mineral que consta de plagioclasa (~30%), micas (~8%), opacos (~2%). La muestra contiene hasta un 60% de arcillas y un poco de grafito. Por su cercanía a la zona de cizalla se encuentran los minerales con cierta orientación, especialmente las arcillas como se muestra en la Fig. 3.22. En la imagen se denota la intensa deformación de la roca, provocada por el cizallamiento.

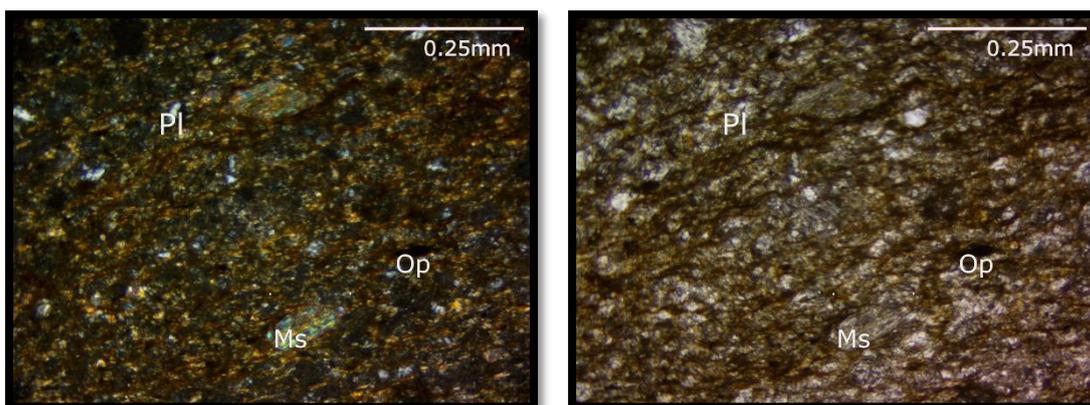


Figura 3.22 Lámina delgada con luz transmitida y polarizador cruzado de una arenisca con cierta orientación de los granos. Muestra FC-28. Pl: Plagioclasa; Ms: Moscovita; Op: Opacos

Interpretación

Hacia la base se encuentran lodolitas grises de 1,7 a 2 m que están en contacto discordante, disminuyen hacia el este, con lutitas de color rojizo y violáceo de 40 cm de espesor. Encima se encuentra una secuencia de arenas finas con capas de carbón de 10 cm y lutitas rojizas de 15cm. Hacia el tope de la secuencia se encuentran arenas de tamaño medio que aumentan su tamaño hacia el tope.

Relaciones Estratigráficas. -

Se caracteriza por presentar rumbos de N45°E/22°NW; en Sucúa su rumbo es de N10°W/33°SW. Hacia el oeste se encuentra la Unidad 6 y son separadas por una zona de intenso cizallamiento (Anexo 3), que muchas rocas cercanas se encuentran muy deformadas y forma pliegues dentro de la zona de estudio y hacia el sur en Sucúa; y también se extiende hasta Logroño, hacia el SW de Macas, NW de Sucúa. Esta zona presenta plegamientos fuertes donde en ciertos sectores se encuentra la secuencia de la Unidad 8 y Hollín con buzamientos de un ángulo pronunciado comenzando el frente subandino.

Correlación:

Estas litologías corresponden a la Formación Chapiza, que como propone Goldschmid, (1941) y Tschopp, (1953), comprende una sucesión de sedimentos clásticos continentales (capas rojas). Tschopp, (1953) define la Unidad inferior de Chapiza con lutitas y areniscas de color gris, rosado morado y rojo; y a la Unidad media con una litología comparable, pero sin evaporitas y generalmente de color rojo. Dentro del corte se encuentran capas rojas de lutitas y areniscas, sin evaporitas. Jaillard, (1997) propone la Unidad inferior de Chapiza como coetánea con la actividad del arco magmático y equivalente lateral de la Fm. Misahuallí. El tercer miembro es redefinido como miembro Yaupi y correspondería a sedimentos volcanoclásticos. La Fm. Napo no aflora en el sector.

3.2.1.8 Unidad 9

Ubicación y características generales. –

Estos sedimentos se encuentran desde la Laguna Magdalena con UTM: 0778774; 09758282 hasta la laguna de Atillo con UTM: 772952; 9758585 (figura 3.23 a). Esta Unidad está compuesta por sedimentos de grano muy fino a grano grueso.

Petrografía. –

Las litologías que componen esta unidad son sedimentos consolidados que contienen clastos angulares de diferentes tamaños. Forman secuencias de limolitas, brechas, areniscas; con coloración grisácea a marrón claro. Dentro de los limos, arenas y brechas se encuentran plagioclasas de tamaños <2 mm. En las areniscas se encuentran plagioclasas, líticos negros (1-10 mm). En el afloramiento en la laguna de Atillo (figura 3.23 a) (UTM: 0776415;09758325) el tamaño de las brechas varía según su posición (figura 3.23 b, c, d): hacia el oeste tiene tamaños de 1-2 mm, y al este de 2-10 mm. Los clastos en las brechas son angulares, con un sorteo muy pobre dentro de una matriz arenosa y de limo. Las brechas están compuestas por volcanoclastos, minerales máficos y presenta una matriz arenosa y arcillosa.



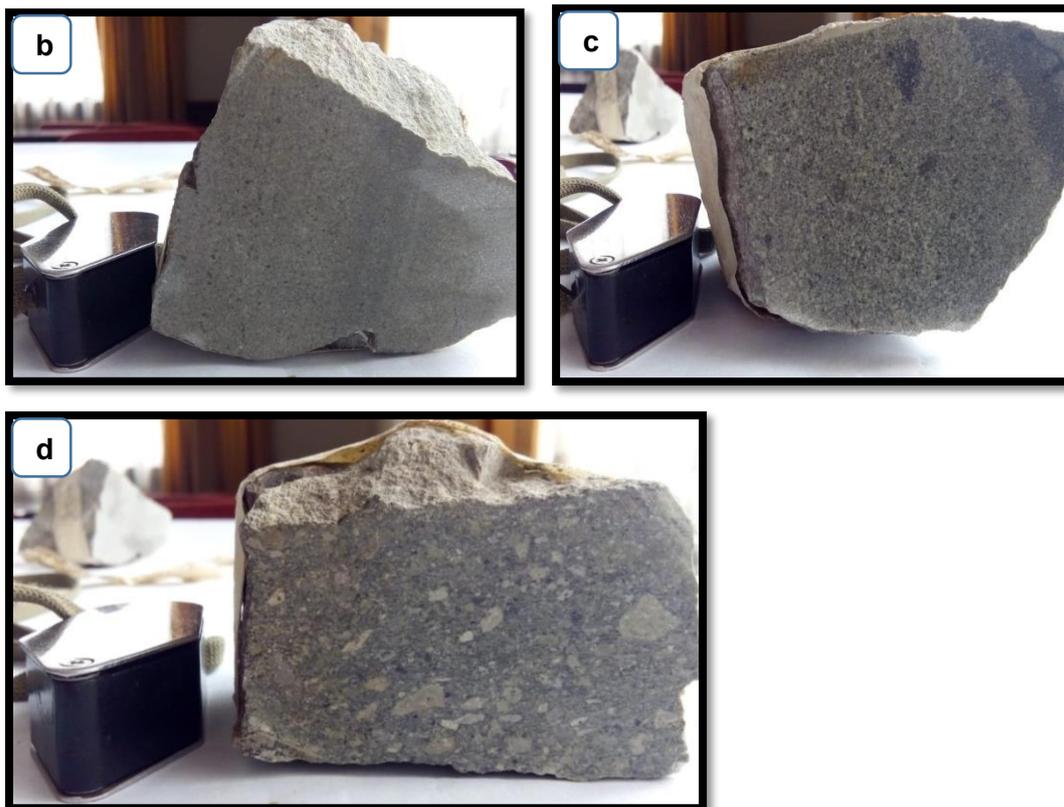


Figura 3.23 (a) Afloramiento (martillo como escala en círculo rojo) y tres muestras de las brechas volcanoclásticas. Se muestra como el tamaño de los clastos aumenta según el avance hacia el este. La muestra FC-8 (d) tiene clastos de tamaño 2-10mm; la muestra FC-9 (c) clastos de tamaño 2-6mm; y la muestra FC-10 (b) clastos de tamaño 1-2 mm.

Relación estratigráfica. –

Esta unidad aparece a los 3400 msnm. Los sedimentos forman una gradación inversa, donde las brechas aparecen hacia el tope, mientras litologías más finas son más frecuentes hacia la base, y se encuentran en contacto discordante con la Unidad 5.

Correlación. –

Litherland et al., (1994) define estas unidades como volcánicos del Sangay. En la petrografía se describe un flujo de derrubios ya consolidado, que poseen clastos angulosos y una matriz fina de arenas a limos. Esta unidad sobreyace la Unidad 5.

Tabla 1. Resumen de láminas microscópicas.

Unidad	# Muestra	UTM			Minerales Principales													Matriz		Textura	Nombre de la Roca		
		x	y	z (msnm)	Qz	Pl	Kfs	Bt	Hbl	Ms	Ser	Chl	Cal	Ep	Gr	Grt	Cld	Op	Otros			Vidrio	Arcillas
Maguazo	FC-11	777322	975905	3534	20	35		3			8						1	3	30		Clástica	Metatoba	
Maguazo	FC-12	777322	975905	3534	10	45		3			8						1	3	30		Clástica	Metatoba	
Alao-Paute	FC-14	778564	9758122	3229	20	45		10		15	5						2	3			Pizarrosa, crenulada	Filita tobácea	
Upano	FC-19A	812602	9748357	1383	20					53				25			2	>1			Pizarrosa, crenulada	Pizarra negra grafitosa	
Upano	FC-23	812214	9749507	1507		35				60			4				1				Pizarrosa	Metasedimento	
P. Colimbo	FC-24A	810862	9751147	1530	5	70		15	7		2						1				Fanerítica	Cuarzo-Diorita	
P. Colimbo	FC-25	810734	9751186	1530	10	62		11	16		1										Fanerítica	Grano-Diorita	
Upano	FC-27	809226	9753371	1769	72	10							9	8			1				Lepidoblástica	Filita grafitosa	
Chapiza	FC-28	815673	9750743	1157		30			8								2			60	Clástica	Grauvaca	
Upano	FC-33A	807141	9753933	1724	30	10		20		28				10			2				Lepidoblástica	Filita negra	
P. Colimbo	FC-34	806396	9753919	1669	15	42	30	5	8												Fanerítica	Granodiorita	
Upano	FC-35	801844	9753538	1711	30	40		25									5				Porfiroblástica, crenulada	esquisto de Pl-Bt	
Chigüinda	FC-36	799996	9755133	1822	65	10		10		9	5						1				Granolepidoblástica, crenulada	Esquisto de Ser-Qz	
Chigüinda	FC-40	798041	9757701	2036	62			20	12		4						2				Granolepidoblástica, crenulada	Esquisto de Qz-Ms	
	FC-44	796445	9757860	2286	40	36		10	10		1				3						Fanerítica	Meta-granodiorita	
	FC-45	793429	9757139	2269	53	23		15	1						7		1				Gnéisica, granolepidoblástica	Esquisto-gnéisico	
Agoyán	FC-46A	792987	9756128	2266	84	8		3	4								1				Granoblástica	Ortocuarcita con Ms	
Agoyán	FC-49	790380	9755667	2589	35	30			7	24					3		1				Granolepidoblástica	Esquisto de Qz-Ms-And	
Agoyán	FC-50	790308	9755602	2614	55	10			30					3		1	1				Granolepidoblástica	Esquisto de Qz-Ms-Cld	
Alao-Paute	FC-51A	784494	9755187	2769		35			3		20	3					1		38		Porfírica	Meta-andesita	
Alao-Paute	FC-52	781224	9756212	2967		35			3		5		5						52		Porfírica	Meta-andesita	

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN

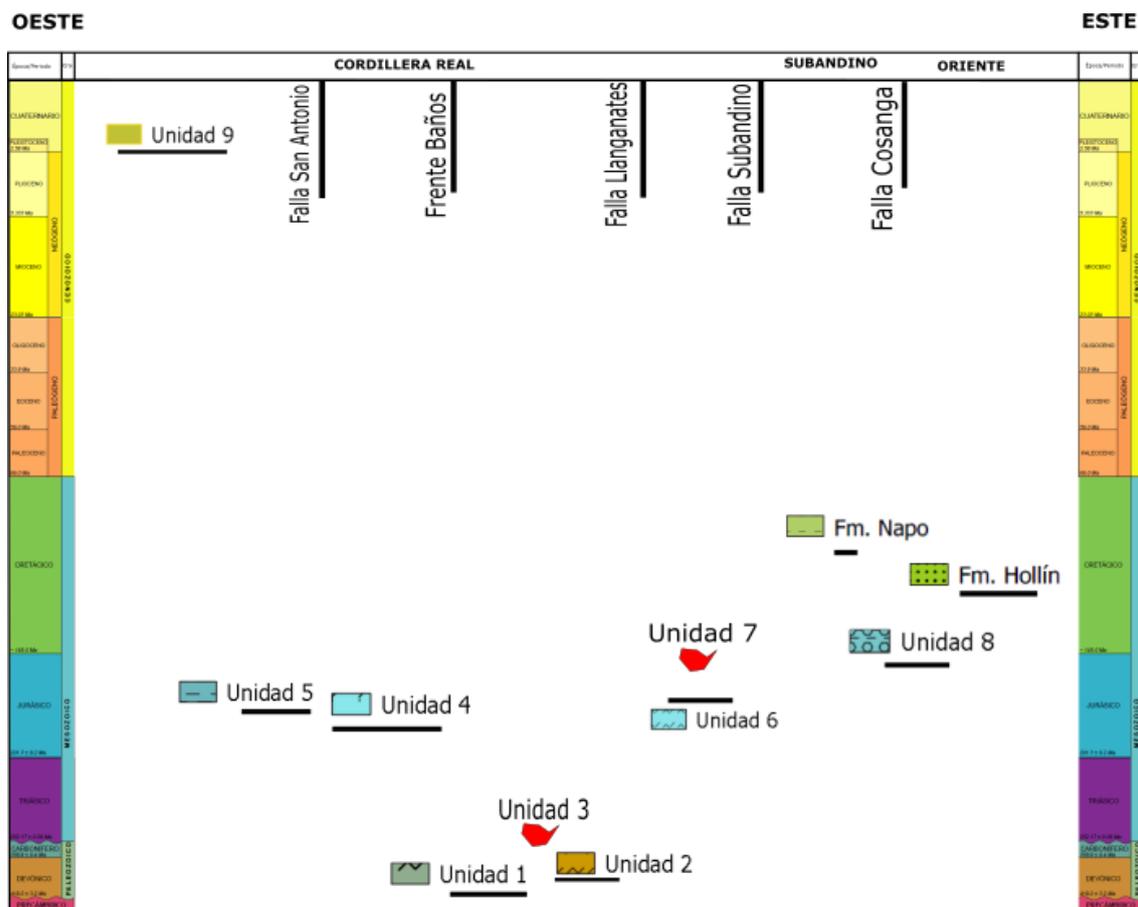


Figura 4.1. Resumen de la estratigrafía de la zona de estudio con la correlación a las Unidades de la Cordillera Real, el subandino y la Cuenca Oriente además se incluyen edades obtenidas de otros estudios junto con las fallas regionales que se encuentran en el sector.

4.1 Contactos y Relaciones estratigráficas

En el Mapa Geológico y de ocurrencias minerales del sur de la Cordillera Real y del Cinturón Metamórfico de El Oro del Ecuador, se define al oeste de Macas una variación de formaciones sedimentarias siguiendo una foliación tectónica. Estas formaciones pertenecen a la Formación Hollín y la Formación Tena. En el presente estudio se define en esta zona capas rojas que conforman secuencias sedimentarias que van desde lutitas rojas y violáceas, a arenas de grano fino, hasta brechas volcánicas hacia el tope. Esta unidad, definida como Unidad 9, es correlacionada con la formación Chapiza. Se propone que al este de la Falla Cosanga, luego de la Unidad 7, aflora la Formación Chapiza y se encuentran separadas por una zona de cizalla. La formación Hollín aflora con sus areniscas blancas hacia el SE de Macas. A diferencia del Corte hecho en la figura 4.2 las formaciones Hollín y Napo no se encuentran en esta sección Atillo-Macas.

En el subandino entre las fallas Cosanga y la falla Sub-Andina, Pratt et al. (2005) describen a la formación Margajitas, la cual está compuesta por sedimentos negros que presentan piritita, lodolitas con fuerte clivaje. Estas dicen Pratt et al., (2005) están intercaladas con cuarzo arenitas masivas, bien sorteadas que son gris oscuro con 15m de espesor. De acuerdo con Tschopp (1948) estas lodolitas y cuarcitas fueron incluidas en la unidad Upano. Pratt et al., (2005) encuentran secuencias de 25m de espesor de limolitas no tectonizadas con restos de bivalvos y faunas de equinoideos. Dentro de la zona de estudio se definen estas rocas presentes al este de la falla del Sub-Andino como filitas negras piritizadas, con presencia de diques dioríticos, en la cual aparece una litología de meta-lutitas dentro de la Unidad 7 con UTM 812185;9748423. Las rocas a 1533 msnm se encuentran masivas, y están poco foliadas. Estas rocas presentes en el área de estudio se relacionan con filitas negras grafitosas que se encuentran hacia el oeste del Río Abanico que son de misma composición mineral, y que aparecen cortadas por un intrusivo. Por lo que estas filitas negras grafitosas se establecen con la Unidad Upano, y se encuentran durante toda la secuencia siendo cortadas por diques cuarzo-dioríticos provenientes del volcanismo presente en esta parte este de la zona de estudio. Estos diques, se interpreta, son la actividad efusiva del Plutón mozonítico de Colimbo. Respecto a la presencia de las lodolitas que se encuentran dentro de la unidad 7 Litherland et al., (1994) las define como parte de la formación Napo, la cual se encuentra deformada debido a un intenso cizallamiento descrito en el inicio de la sección de subandino. Por lo que en el mapa presentado por Litherland et al., (1994) define esta sección al este de la falla del Sub-Andino como parte de la formación Napo. En la zona de estudio no se incluye esta sección a la unidad Upano, ya que es no es posible relacionar ninguna litología con la formación Napo, ni se han encontrado fósiles los cuales son característicos de esta formación.

Litherland et al., (1987) define un contacto tectónico entre las Unidades Chigüinda y Agoyán en la sección Guamote-Macas. En el presente estudio este plutón separaría los esquistos grafitosos, esquistos de Qz-Ms, cuarcitas y esquistos-gnéisicos de la Unidad 1 (Agoyán) de esquistos negros grafitosos y Esquistos de Qz-Ms de la Unidad 2 (Chigüinda) que además se presenten con 3 varios planos de deformación.

La Unidad Maguazo es definida como meta-volcanosedimentos y rocas sedimentarias hacia el oeste, y estratigráficamente encima de la unidad Alao Paute según Pratt et al., (2005); Pratt define una transición completamente estratigráfica desde la Unidad Alao-Paute hacia el este, a rocas sedimentarias de la Unidad Cebadas en el valle interandino. Hacia el oeste de Las Juntas, Pratt et al., (2005) definen una transición de los esquistos verdes masivos de Alao-Paute a rocas intercaladas meta-volcánicas y meta-

sedimentarias de la Unidad Maguazo. En el presente estudio la Unidad 5 que es correlacionada con la Unidad Maguazo, se encuentra separado por una zona de cizalla de 15m, de la Unidad Alao-Paute, que es la unidad 4 en la zona de estudio. Al igual que Litherland et al., (1994) esta transición de Alao-Paute con las rocas meta-volcánicas y meta-sedimentarias de la Unidad Maguazo es un contacto tectónico (figura 4.2) definido por la falla San Antonio.

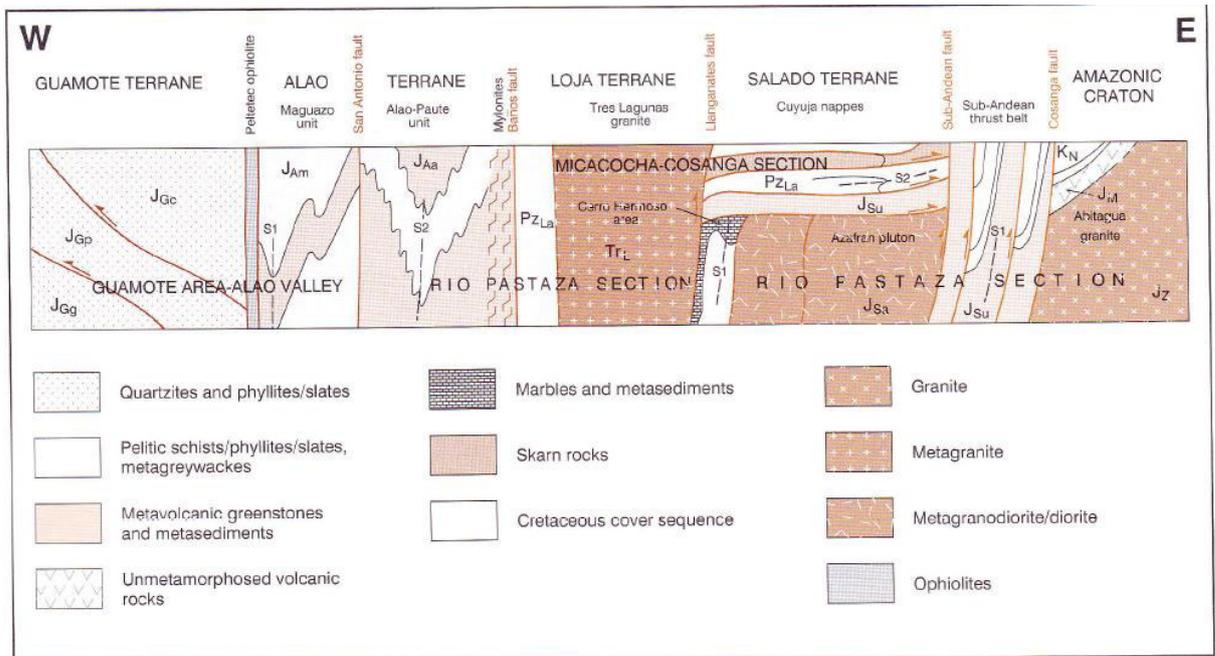


Figura 4.2 Sección esquemática de la Cordillera Real.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El área de estudio comprende 9 unidades/formaciones: las formaciones Chapiza y Napo; y las unidades Upano, Chigüinda, Agoyán, Alao-Paute y Maguazo. Además, comprende dos cuerpos plutónicos y sedimentos volcanoclásticos que sobreyacen la formación Maguazo
- La zona del subandino se define como una franja donde se encuentran rocas metamórficas y donde empieza una actividad efusiva de un plutón cuarzo-monzonítico (Plutón Colimbo). En esta zona se descarta la presencia de rocas sedimentarias presentes en otros cortes de la cordillera Real (Napo y Hollín), y se define el inicio después de la zona de cizalla de la Unidad Upano. Hacia el este de esta zona de cizalla se encuentran rocas volcano-sedimentarias de la Formación Chapiza.
- Los contactos entre unidades son tectónicos y están generalmente emplazados por cuerpos ígneos. El contacto propuesto por Litherland et al., (1994) entre las Unidades Chigüinda y Agoyán se define en este estudio que están separados por un plutón metamorfizado.
- El estudio petrográfico realizado en este trabajo sugiere que en el centro de la Cordillera Real en la división Loja se encuentran rocas que tienen el mayor grado metamórfico. Se evidencia por las facies metamórficas que varían de esquisto verde a anfibolita. Además, presentan dos planos de foliación claramente identificables y están conformadas por esquistos a gneises.
- Existen dos cuerpos intrusivos en el área de estudio. Afectando a la unidad Upano se encuentra el Plutón Colimbo (Litherland et al., 1994) que no presenta deformación y sería el más joven. El otro cuerpo ígneo se encuentra foliado y entre las unidades Chigüinda y Agoyán. Por su posición estratigráfica y grado de deformación se propone como el más antiguo.
- Se encuentran dos zonas de cizallamiento definidas en el corte. La primera separa a las rocas volcano-sedimentarias de la formación Chapiza de la unidad meta-sedimentaria de Upano. La segunda zona de cizalla separa las rocas de la unidad Alao-Paute de rocas meta-volcanosedimentarias de la unidad Maguazo.

- A través de la petrografía se identifica rocas metamórficas de protolito sedimentario (unidad Agoyán, Chigüinda) y rocas metamórficas con aporte volcánico (unidades Alao-Paute, Maguazo y Upano).

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda el análisis de composición de las muestras en un espectrómetro ICP-MS para determinar la composición química de las rocas. Además de este análisis se puede completar con diagramas de P-T para determinar las condiciones de P-T por la que las rocas de esta sección han atravesado para determinar eventos tectónicos importantes.
- Realizar dataciones de las rocas para determinar su edad de formación y para determinar a qué unidad pertenece, así como otros factores de eventos tectónicos, y edades de sedimentación de las rocas. Es importante datar los cuerpos intrusivos.
- Se sugiere realizar un estudio microtectónico para determinar la cronología de los eventos tectónicos que deformaron las rocas.
- A través de un análisis de composición química de las rocas es posible determinar los minerales metamórficos presentes en las litologías, y así definir realmente las facies metamórficas en la zona de estudio.

CAPÍTULO 6: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aspden, J. A., Harrison, S. H., & Rundle, C. C. (1992). New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and El Oro Province of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(1-2), 77-96. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90019-U](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90019-U)

Canfield, R.W., Bonilla, G. & Robbins, R.K. (1982). *Sacha oil field of Ecuadorian Oriente*. Am. Assoc. Petrol. Geol., Bulletin, 66, 1076-1090.

Cochrane, R., Spikings, R., Gerdes, A., Ulianov, A., Mora, A., Villagómez, D., Putlitz, B., & Chiaradia, M. (2014). Permo-Triassic anatexis, continental rifting and the disassembly of western Pangaea. *Lithos*, 190-191, 383-402. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.12.020>

Eguez, A., & Aspden, J. A. (1993). *The mesozoic-cenozoic evolution of the ecuadorian andes*. Second ISAG.

Erazo Fierro, G. A., & Aldás Núñez, R. J. (2020). Cordillera Real: Variación de metamorfismo en el trayecto Atillo-Normandía. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 10-17. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.2125>

Feininger, T., & Bristow, C. R. (1980). Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador. *Geologische Rundschau*, 69(3), 849-874. <https://doi.org/10.1007/BF02104650>

Goldschmid, K. T. (1941). *Geologic al Cornpilation on the Cutucu—Macuma—Cangaime Region* [SHELL Geological Report].

Gutiérrez, E. G., Horton, B. K., Vallejo, C., Jackson, L. J., & George, S. W. M. (2019). Provenance and geochronological insights into Late Cretaceous-Cenozoic foreland basin development in the Subandean Zone and Oriente Basin of Ecuador. En *Andean Tectonics* (pp. 237-268). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00011-3>

Hobbs, G.W. (1975). *Stratigraphy of Cretaceous and Jurassic systems exposed in the Cutucú mountains*. Informe interno ECUA-141, 1pp., Petroproducción-Quito.

Jaillard, E. (1997). *Sintesis estratigrafica y sedimentologica del cretaceo y paleogeno de la cuenca oriental del Ecuador*. 169.

Lammons, J.M. (1974). *Palynological study of some samples of the Oglan A-1 well*. Informe inédito AEO-CEPE, Pozo Oglan A-1, 3 pp...

Lister, G. S., & Snoke, A. W. (1984). S-C Mylonites. *Journal of Structural Geology*, 6(6), 617-638. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(84\)90001-4](https://doi.org/10.1016/0191-8141(84)90001-4)

Litherland, M. (compilador). 1987. First annual report (for 1987-1988) of the Cordillera Real Geological Research Project, Ecuador. Open-File Report of the British Geological Survey, Keyworth and of INEMIN, Quito.

Litherland, M., & Aspden, J. A. (1992). Terrane-boundary reactivation: A control on the evolution of the Northern Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 5(1), 71-76. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90060-C](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90060-C)

Litherland, M., Aspden, J. A., Jemielita, R. A., & British Geological Survey. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*. British Geological Survey.

Mapa Cuencas Hidrográficas del Ecuador. (2012). [Map]. INHAMI. <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/gisweb/Historicos/HIDROLOGIA/CUENCAS%20HIDROGRAFICAS/CUENCAS%20INAMHI/pdf/cuencas%20hidrograficas%20del%20Ecuador.pdf>

Massonne, H.-J., & Toulkeridis, T. (2012). Widespread relics of high-pressure metamorphism confirm major terrane accretion in Ecuador: A new example from the Northern Andes. *International Geology Review*, 54(1), 67-80. <https://doi.org/10.1080/00206814.2010.498907>

Navarrete, L. (2018). *Corte geológico transversal del arco Alao en la zona de Gualaceo, provincia Azuay*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19595>

Noble, S. R., Aspden, J., & Jemielita, R. A. (1997). *Northern Andean crustal evolution: New U-Pb geochronological constraints from Ecuador*. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109<0789:NACENU>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109<0789:NACENU>2.3.CO;2)

PARQUE NACIONAL SANGAY – Ministerio del Ambiente y Agua. (2019). <https://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-sangay/>

Paul, A. N., Spikings, R. A., Ulianov, A., & Ovtcharova, M. (2018). High temperature (>350 °C) thermal histories of the long lived (>500 Ma) active margin of Ecuador and Colombia: Apatite, titanite and rutile U-Pb thermochronology. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 228, 275-300. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.02.033>

Pennington, W. D. (1981). Subduction of the Eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B11), 10753-10770. <https://doi.org/10.1029/JB086iB11p10753>

Pilger, R. H. (1984). Cenozoic plate kinematics, subduction and magmatism: South American Andes. *Journal of the Geological Society*, 141(5), 793-802. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.141.5.0793>

Pratt, W. T., Duque, P., & Ponce, M. (2005). An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 399(1-4), 251-278. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.025>

Rundle, C. (1988). *Potassium-Argon ages for minerals from the Cordillera Real, Ecuador* (Third Annual Report of the Cordillera Real Geological Project, INEMIN-British Mission) [Open File Report]. BGS.

Reyes, P. (2009). Discusión sobre la evolución jurásico-cretácica de la Cordillera Real y el bloque Amotape. *Revista Politécnica*, Quito: EPN, (no. 30,(1)2009): pp.6-22.

Sauer, W. (1950). *Geología del Ecuador*. Talleres Gráficos del Ministerio de Educación.

Soler, P., & Sébrier, M. (1990). *Nazca slab retreat versus compressional deformation in the central Andes since late Oligocene times*. 5.

Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., & Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: From Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95-139. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.06.004>

Tschopp, H. J. (1953). Oil Explorations in the Oriente of Ecuador, 1938-1950. *AAPG Bulletin*, 37(10), 2303-2347.

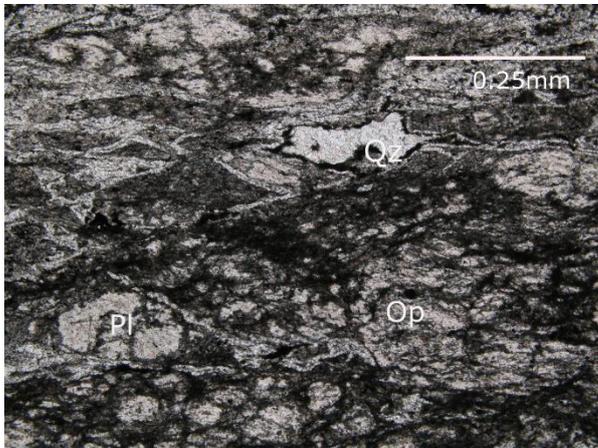
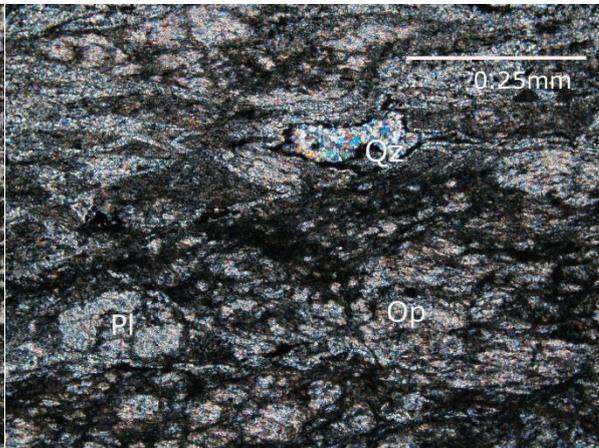
White, H. J., Skopec, R. A., Ramirez, F. A., Rodas, J. A., & Bonilla, G. (1995). Reservoir Characterization of the Hollin and Napo Formations, Western Oriente Basin, Ecuador. *Reservoir Characterization*, 24.

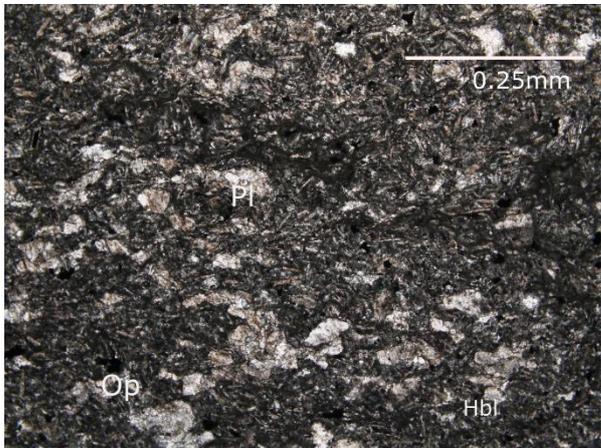
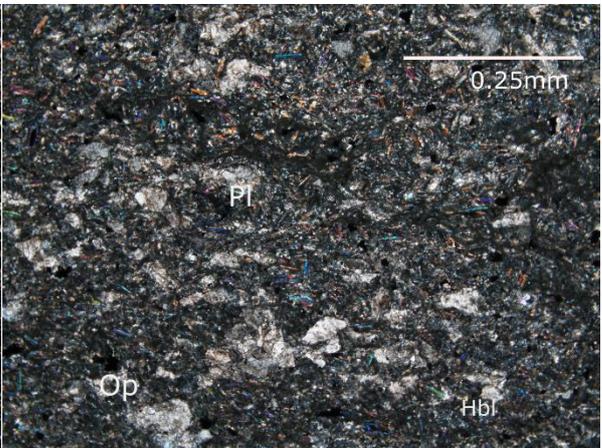
Witt, C., & Bourgois, J. (2010). Forearc basin formation in the tectonic wake of a collision-driven, coastwise migrating crustal block: The example of the North Andean block and the extensional Gulf of Guayaquil-Tumbes Basin (Ecuador-Peru border area). *Geological Society of America Bulletin*, 122(1-2), 89-108. <https://doi.org/10.1130/B26386.1>

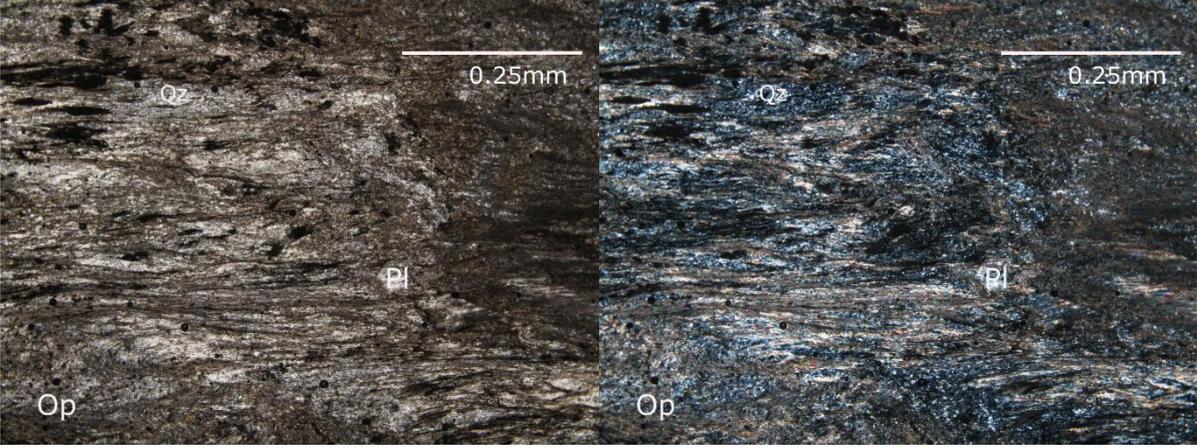
Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., & Cotton, F. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic sources definition and seismic hazard assessment: Ecuador geodynamics and PSHA. *Tectonics*, 35. <https://doi.org/10.1002/2015TC003941>

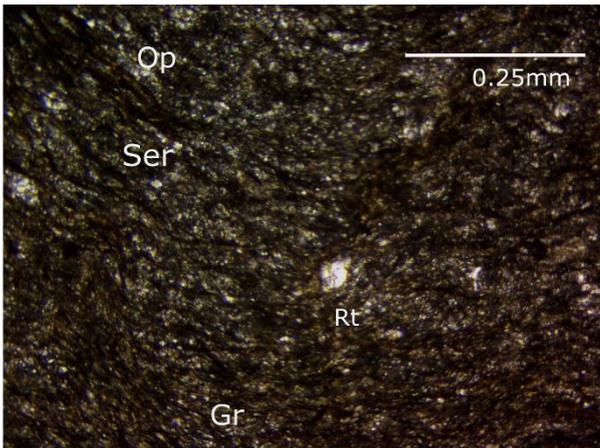
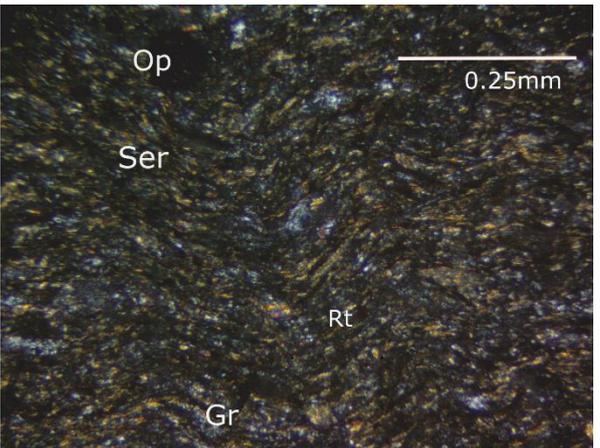
ANEXOS

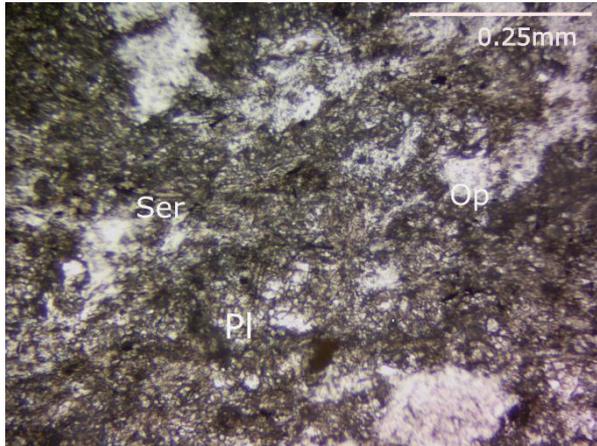
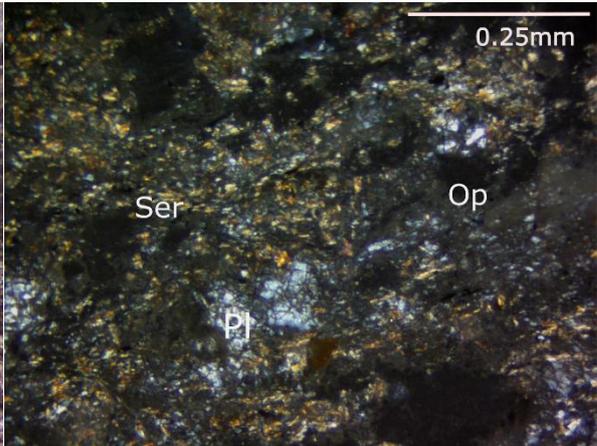
ANEXO1: FICHAS DE DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

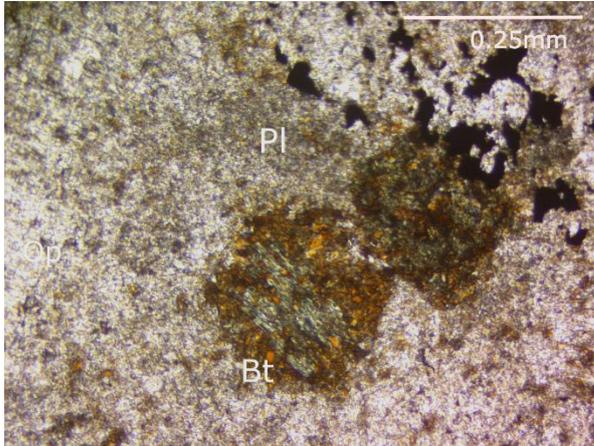
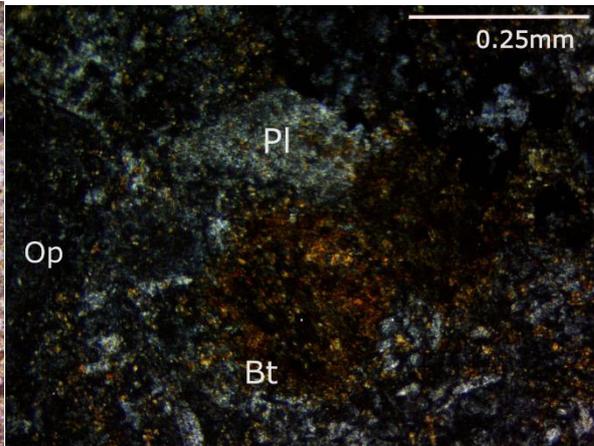
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
11	WGS 17 S	0777322	9759095	3534	Laguna Negra
Descripción macroscópica					
Filita gris verdosa, con calcita. Tiene calcopirita como mineral secundario. Su textura es pizarrosa.					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades		Otras observaciones		
Plagioclasa 35	incolora, clastos angulares y cristales tabulares pequeños		Como porfiroblastos y dentro de la matriz		
Qz 20	Incoloro, anhedral, relieve bajo		Cristales en la matriz		
Clorita 8	Verde, en agujas, colores anómalos de birrefringencia		Alteración de Pl y en la matriz		
Clastos volcánicos 3	Opaco, negro, angulares				
Bt 3	Marrón, tabulares				
Opacos 1	En fibras, generalmente grafito				
Matriz 30	Pl, Chl, Ser, Arcillas				
Textura: Granolepidoblástica					
Facies: Zeolita					
Protolito: Volcanosedimento					
Nombre de la roca: Meta volcano sedimento			Unidad: Maguazo		
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

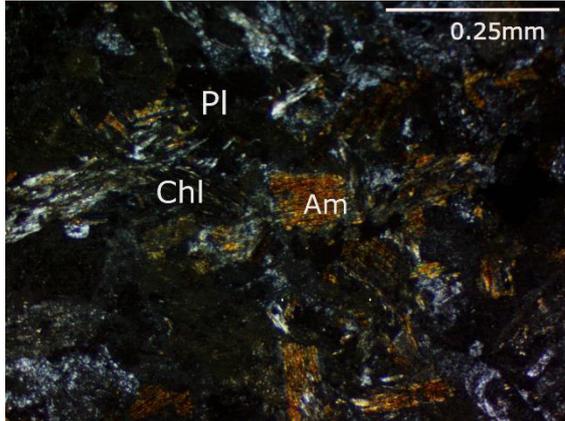
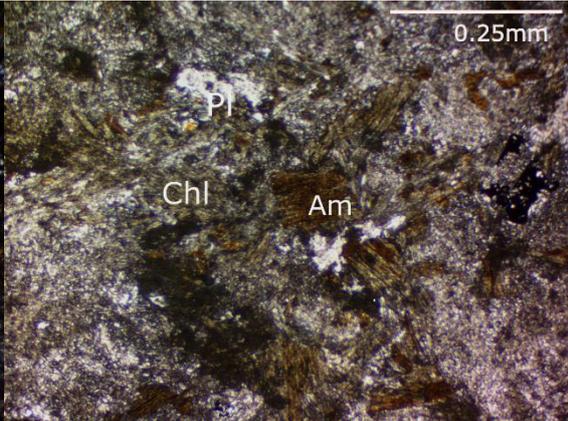
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
12	WGS 17 S	0777322	9759095	1382	Laguna Negra
Descripción macroscópica					
Negra, textura pizarrosa, crenulada, tamaño de grano muy fino (no visible), brillo sedoso					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades		Otras observaciones		
Plagioclasa 45	incolora, clastos angulares y cristales tabulares pequeños		Como porfiroblastos y dentro de la matriz en forma de agujas		
Qz 10	Incoloro, anhedral, relieve bajo		Cristales en la matriz		
Clorita 8	Verde, en agujas, colores anómalos de birrefringencia		Alteración de Pl y en la matriz		
Clastos volcánicos 3	Opaco, negro, angulares				
Hornblenda 3	Verde, anhedrales, alterados a Chl				
Opacos 1	En fibras, generalmente grafito				
Matriz 30	Pl, Chl, Ser, arcillas				
Textura: Lepidoblástica					
Facies: Zeolita					
Protolito: Volcanosedimento					
Nombre de la roca: Meta-toba			Unidad: Maguazo		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Nícoles Paralelos</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Nícoles Cruzados</p>  </div> </div>					

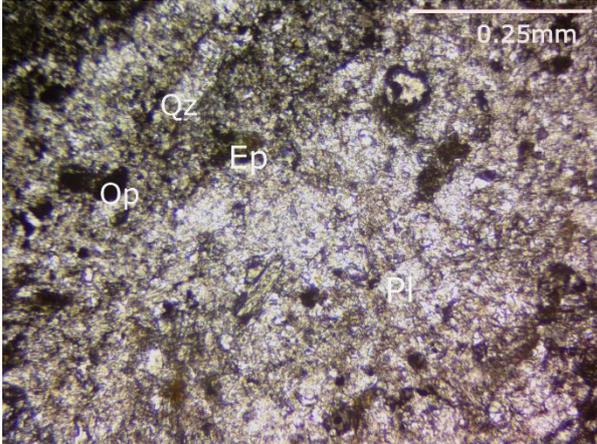
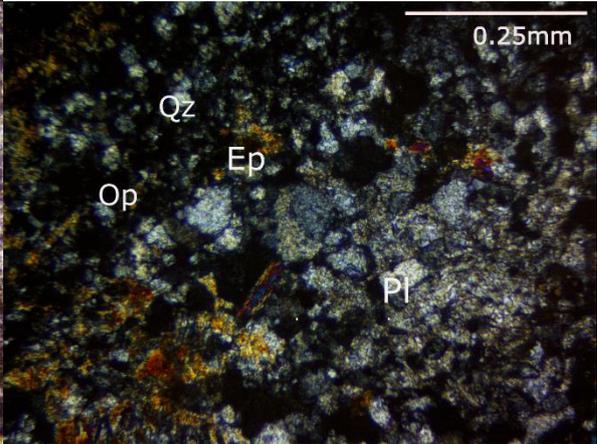
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
14	WGS 17 S	0778564	9758122	3229	
Descripción macroscópica					
Negra, textura pizarrosa, crenulada, tamaño de grano muy fino (no visible), brillo sedoso					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Plagioclasa 45	incolora, forma porfiroblastos			Aspecto terroso terroso	
Qz 20	Incoloro, anhedral, relieve bajo				
Micas 15	Tabulares, incoloras y marrones			Biotita y sericita	
Opx 3	En fibras, generalmente grafito			Alterados a Chl y Ep	
Clorita 5	Verdosas, en agujas, colores anómalos de birrefringencia				
Opacos 2	Tabulares y cúbicos, anhedrales y ehuedrales				
Textura: Pizarrosa, crenulada					
Facies: Zeolita					
Protolito: Toba					
Nombre de la roca: Filita Tobácea			Unidad: Alao-Paute		
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
19A	WGS 17 S	0812602	9748357	1382	
Descripción macroscópica					
Negra, textura pizarrosa, crenulada, tamaño de grano muy fino (no visible), brillo sedoso					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)		Propiedades		Otras observaciones	
Sericita	53	incolora, alta birrefringencia, relieve medio, orientación preferencial		Aspecto terroso terroso	
Qz	20	Incoloro, anhedral, relieve bajo			
Grafito	25	Opaco, negro, en hojas			
Opacos	3	En fibras, generalmente grafito			
Textura: Pizarrosa, crenulada					
Facies: Zeolita					
Protolito: Lutita					
Nombre de la roca: Filita negra			Unidad: Napo		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Nícoles Paralelos</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Nícoles Cruzados</p>  </div> </div>					

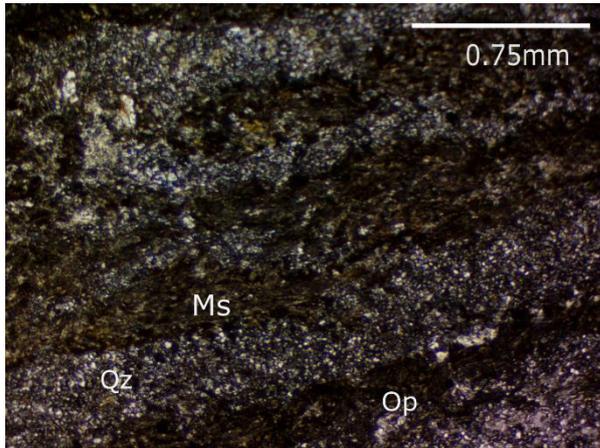
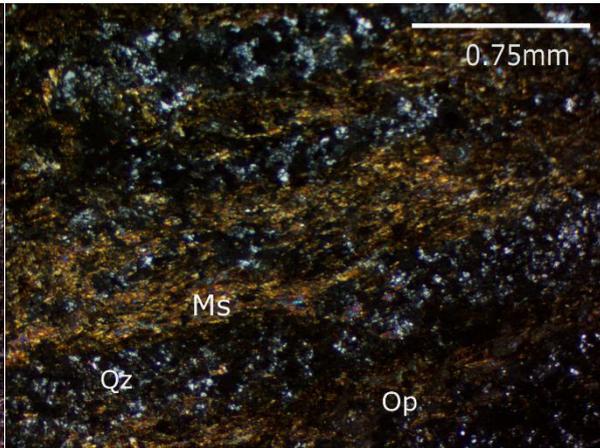
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
23	WGS 17 S				
Descripción macroscópica					
Roca gris. Composición mineralógica: Sericita (brillo sedoso), plagioclasas (hasta 2mm). La matriz está foliada.					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)		Propiedades		Otras observaciones	
Sericita	60	Marrón, relieve medio, alta birrefringencia		Orientadas según su hábito en bandas	
Plagioclasa	35	Anhedral, bajo relieve			
Epidota	4	Verde pasto, anhedral, relieve alto, alteración de la plagioclasa			
Opacos	1	Anhedrales y euhedrales			
Textura: Pizarrosa					
Facies: Zeolita?					
Protolito: Arcosa					
Nombre de la roca: Metasedimentos					
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

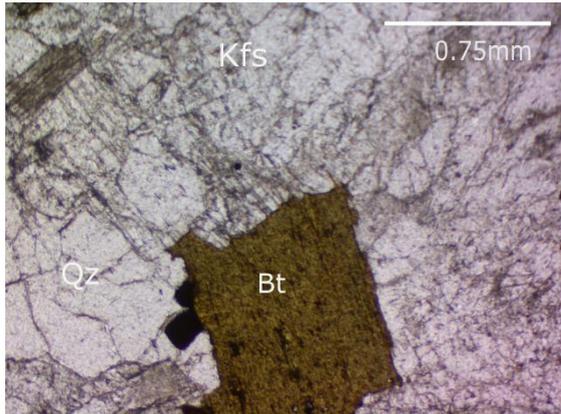
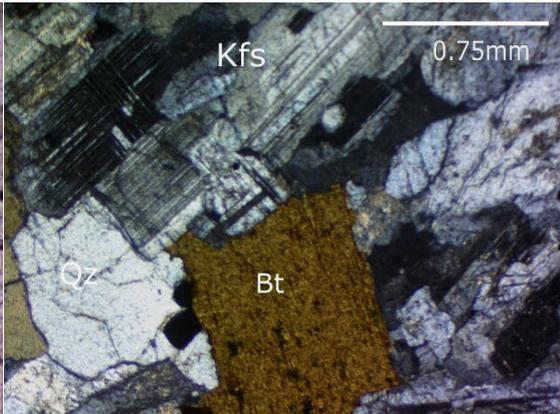
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
24A	WGS 17 S	0810862	9751147	1530	
Descripción macroscópica					
Gris, Fanerítica, presenta minerales de anfíbol alterados, plagioclasa y pirlita					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades		Otras observaciones		
Plagioclasa 70	Incoloro, macla carlsbad		Alteradas		
Biotita 15	Marrón, relieve medio, alta birrefringencia				
Cuarzo 5					
Anfíbol 7	Verdoso, euhedral, bajos colores de birrefringencia				
Clorita 2	Incoloro, acicular, birrefringencia primer orden		Alteración de anfíboles y biotita		
Opacos 1	Anhedrales				
Textura: Fanerítica					
Facies: N/A					
Nombre: Plutón Colimbo					
Nombre de la roca: Diorita					
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

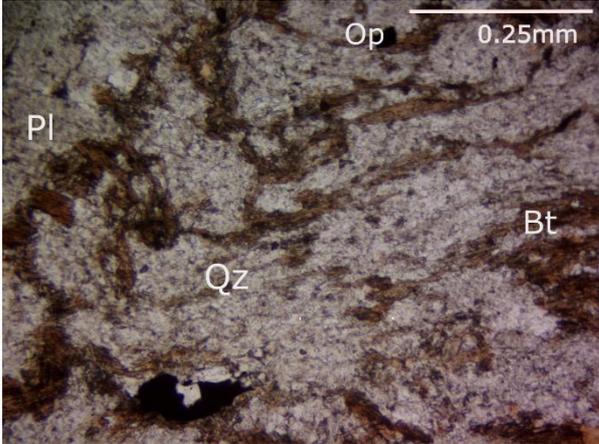
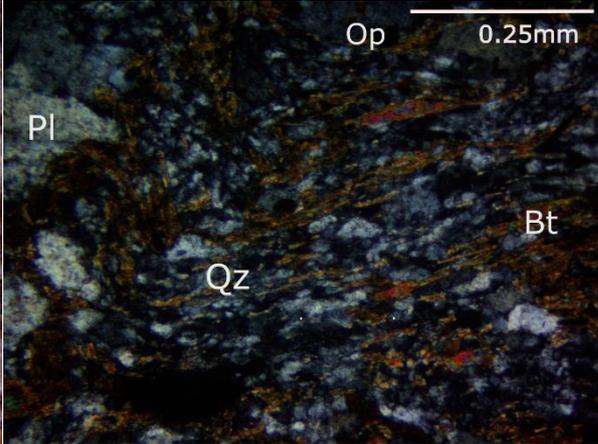
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
25	WGS 17 S	0810734	9751186	1530	
Descripción Macroscópica					
Roca de color gris, su textura es fanerítica, la estructura masiva. El componente mineralógico es Anfíbol, plagioclasa, biotita. El tamaño de grano es grueso					
Descripción Microscópica					
Textura:					
Mineral	Propiedades		%	Forma	Tamaño (mm)
Anfíbol	Verde, buen clivaje		16	Anhedral	Alteración a actinolita?
Biotita	Marrón, alta birrefringencia, clivaje de mica		11	Anhedral	
Clorita	Verde, birrefringencia anómala		1	Anhedral	
Plagioclasa	Incoloro, macla de carlsbad		62	Subhedral	
Cuarzo			10		
Textura: Fanerítica					
Nombre: Grano diorita			Unidad: Plutón Colimbo		
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

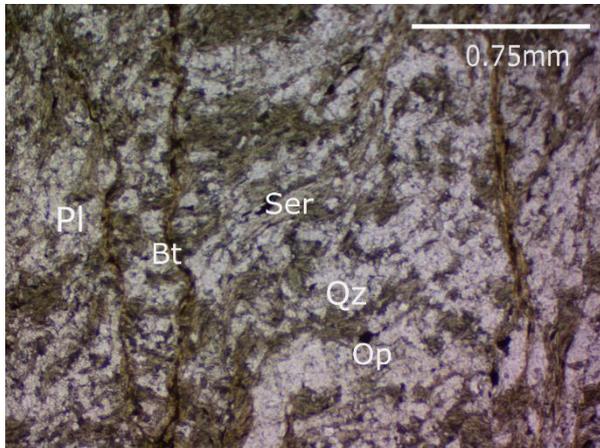
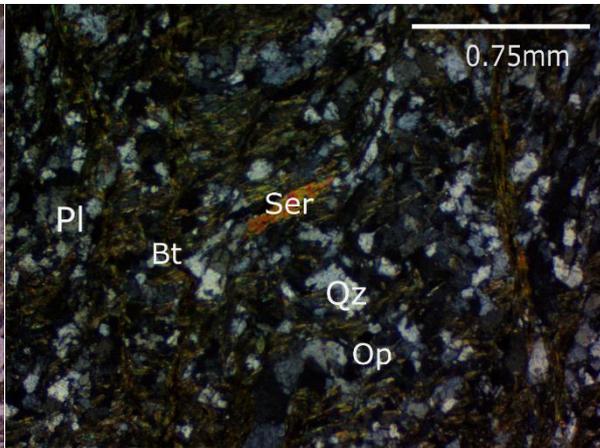
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
27	WGS 17 S	0809226	9753371	1769	
Descripción macroscópica					
Negra, esquistosa, granoblástica. Grano muy fino. Composición mineralógica: Cuarzo, mica, grafito. Presenta pirita secundaria					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Plagioclasa 10	Incoloro, anhedral, bajo relieve, granoblastos y también conformando la "matriz"				
Epidota 9	verdoso, anhedral, relieve alto			Alteración Pl	
Cuarzo 72	Incoloro, relieve bajo,				
Opacos 9	Euhedral (pirita), anhedral (grafito)				
Textura: Lepidoblástica, granoblástica					
Facies: Esquisto verde					
Protolito: Arcosa?					
Nombre de la roca	Meta-Grauvaca			Unidad	Upano
<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-bottom: 10px;"> Nícoles Paralelos Nícoles Cruzados </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>					

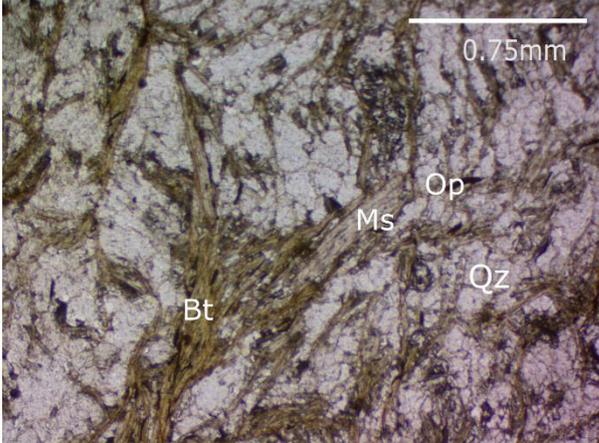
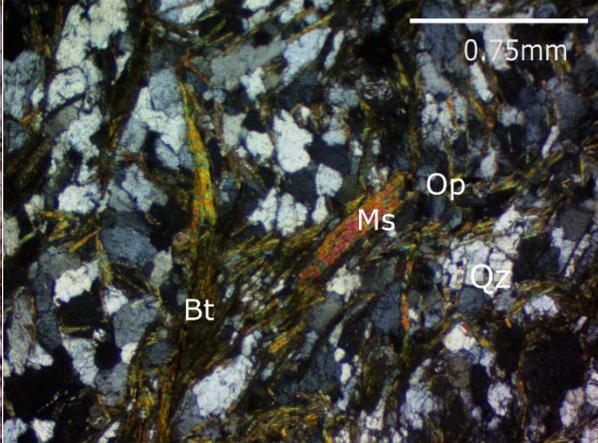
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
28	WGS 17S	0815673	09750743	1157	Jimbitono
Descripción macroscópica					
Capas rojas de tamaño fino, las plagioclasas tienen un tamaño de hasta 2mm. La matriz es arena fina hasta arcillas					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades				Otras observaciones
Moscovita 8	Incoloras, relieve medio, alta birrefringencia				
Plagioclasa 30	Anhedral, bajo relieve				
Opacos 2					
Matriz: Arcillas 60	Marrón, relieve medio, alta birrefringencia, se empiezan a formar micas.				
Textura: Clástica					
Facies: N/A					
Protolito: N/A					
Nombre de la roca	Grauvaca			Unidad	Chapiza
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Nícoles Paralelos Nícoles Cruzados </div>					

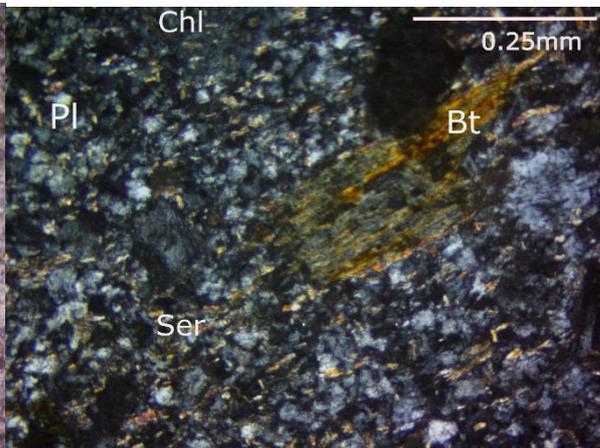
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
33	WGS 17 S	0795593	9758157	2374	9 de Octubre
Descripción macroscópica					
Gris, Esquistosa, grano fino a medio, Qz, sericita (da brillo sedoso), con veta de cuarzo.					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades				Otras observaciones
Plagioclasa 10	Anhedral, bajo relieve				
Cuarzo 38	Incoloro, Anhedral				
Biotita 20	Tabular, color marrón.				Orientadas según su hábito en bandas
Grafito 10	Mineral opaco, formas tabulares				Orientadas según su hábito en bandas
Sericita 38	Marrón, relieve medio, alta birrefringencia				Orientadas según su hábito en bandas
Opacos 2	Anhedrales				
Textura: Lepidoblástica					
Facies: Sub-Esquistos verde					
Protolito: Roca pelítica					
Nombre de la roca			Esquistos PI-Qz-Ser	Unidad	Upano
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

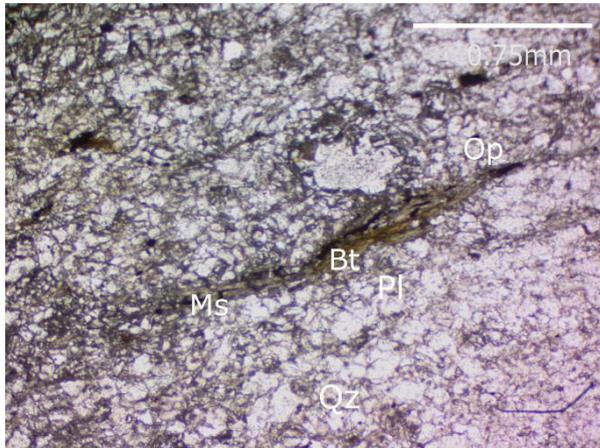
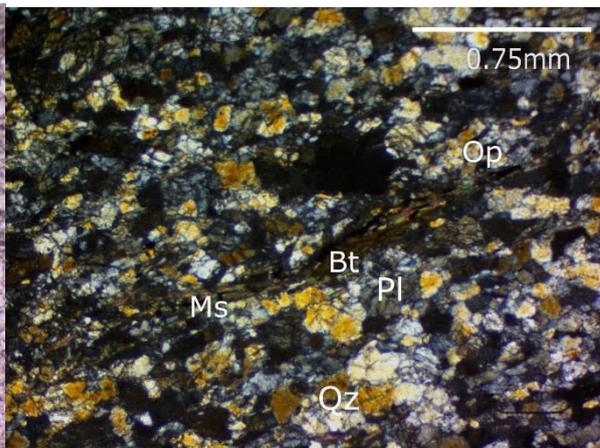
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
34	WGS 17 S	0806396	9753919	1669	9 de Octubre
Descripción Macroscópica					
Roca de color blanco, su composición mineralógica es de Anfíbol, plagioclasa, cuarzo, biotita. El tamaño de los cristales es grueso, su textura es fanerítica y su estructura masiva. Contiene xenolitos de microdiorita					
Descripción Microscópica					
Mineral	Propiedades		%	Forma	Tamaño (mm)
Anfíbol	Verde, buen clivaje alterados a clorita		8	euedral	
Biotita	Marrón, alta birrefringencia		5	Subhedral	
Plagioclasa	bajo relieve, macla Carlsbad y polisintética, zonación composicional,		42	Subhedral	
Feldespato alcalino	bajo relieve, oikocristales (englobando varios cristales anteriores) Ligera exolución		30	Subhedral	
Cuarzo	Incoloro, baja birrefringencia		15	Anhedral	
Textura: Fanerítica					
Nombre: Cuarzo Monzonita			Unidad: Plutón Colimbo		
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

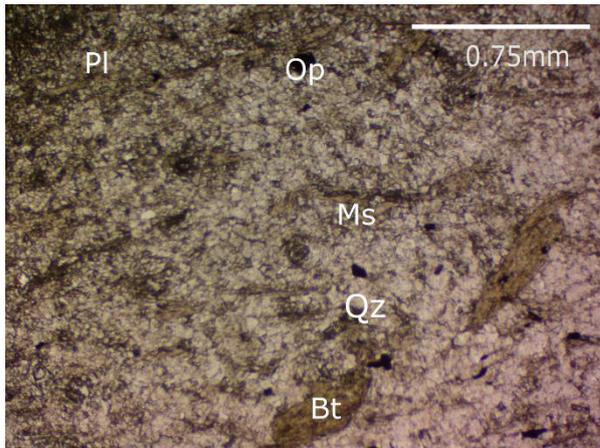
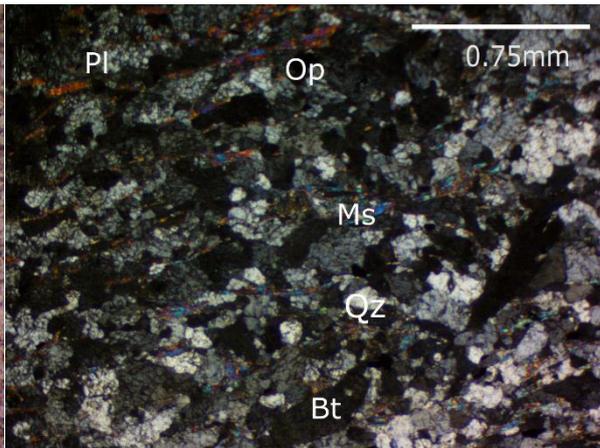
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
35	WGS 17 S	0801844	9753538	1711	
Descripción macroscópica					
Pardo, textura esquistosa, presenta porfiroblastos de plagioclasa. Brillo sedoso por las micas, presenta bastante pirita					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Plagioclasa 40	Incoloro, subhedral, macla polisintética, relieve bajo			Forma porfiroclastos	
Biotita 30	Marrón, tabular, alta birrefringencia			Orientados	
Cuarzo 25	Incoloro, subhedral, relieve medio			Intercalados con las Bt	
Opacos (Pirita) 5	Euhedrales, porfiroblastos				
Textura: Porfiroblástica, crenulada					
Facies: Esquisto verde					
Protolito: Volcanosedimento					
Nombre de la roca	Esquisto Pl-Bt-Qz			Unidad	Upano
<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-bottom: 10px;"> Nícoles Paralelos Nícoles Cruzados </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>					

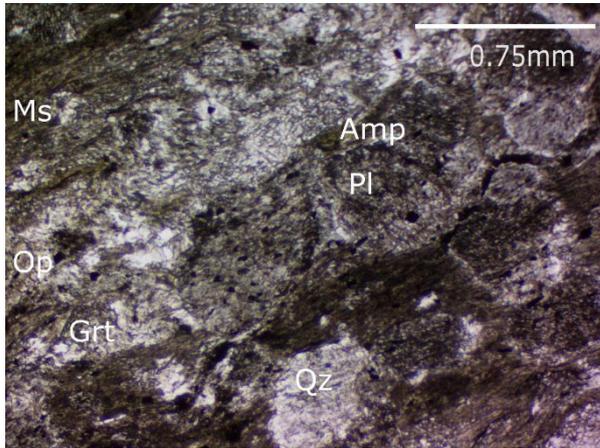
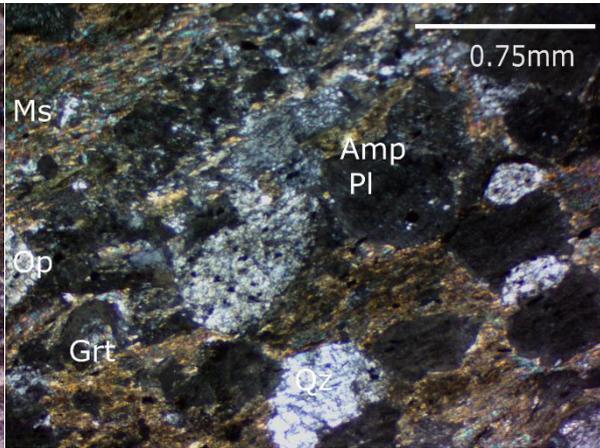
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
36	WGS 17 S	0799996	9755133	1822	
Descripción macroscópica					
Gris, esquistosa y crenulada, contiene sericita que da brillo sedoso					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)		Propiedades		Otras observaciones	
Qz	65	Incoloro, anhedral a euhedral, relieve bajo		Texturas de recristalización (120°)	
Plagioclasa	10	Incoloro, anhedral, relieve bajo			
Sericita	9	Incoloro, forma tabular, aspecto terroso en PPL		Crenuladas, llegan a haber ciertas muscovitas	
Biotita	10	Marrón, forma tabular, colores marrones en LPA			
Clorita	5	Verdoso, escamas, birrefringencia azul anómalo			
Opacos	1	Anhedrales, elongados (tal vez grafito)		Principalmente en los planos de crenulación	
Textura: Esquistosa, crenulada, lepidoblástica					
Facies: Esquisto verde					
Protolito: Lutita					
Nombre de la roca		Esquisto de sericita y cuarzo		Unidad	Chigüinda
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

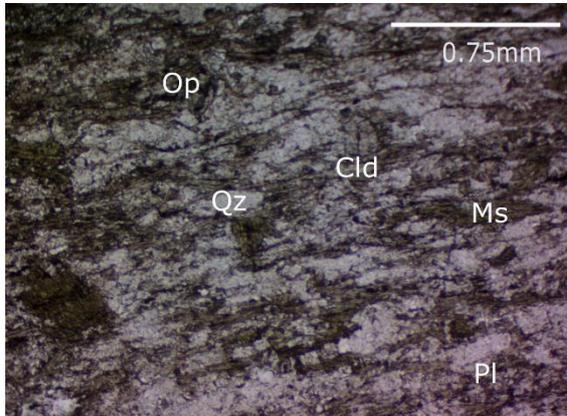
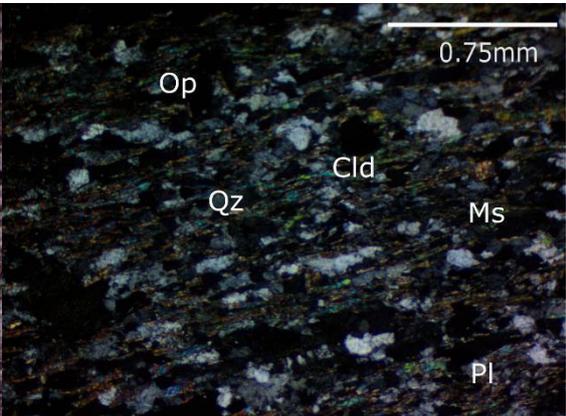
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
40	WGS 17 S	0798041	9757701	2036	San Francisco
Descripción macroscópica					
Pardo, esquistosa, crenulada, brillo sedoso, su composición mineralógica es de moscovita y grafito.					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades				Otras observaciones
Qz 62	Incoloro, anhedral, relieve bajo				
Muscovita 12	Incoloro, escamas				crenuladas
Biotita 20	Marrón a verdoso, forma tabular				
Clorita 4	Verdoso, escamas, birrefringencia azul anómalo				
Opacos 2	Anhedrales				Principalmente en los planos de crenulación
Textura: Esquistosa, crenulada, lepidoblástica					
Facies: Esquisto verde					
Protolito: Lutita					
Nombre de la roca	Esquisto Qz-Ms-Bt			Unidad	Chigüinda
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Nícoles Paralelos</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Nícoles Cruzados</p>  </div> </div>					

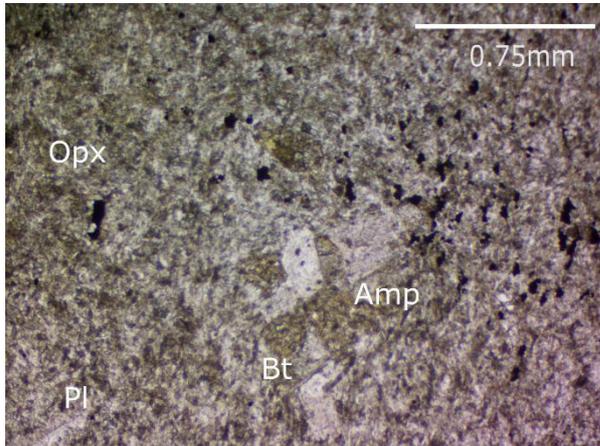
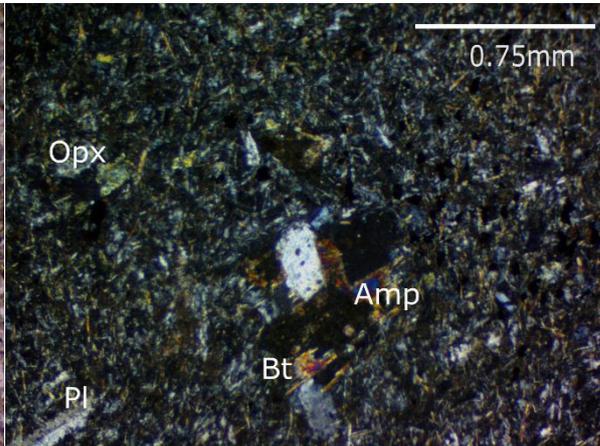
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
44	WGS 17 S	0799996	9755133	1822	San Francisco
Descripción macroscópica					
Blanca, fanerítica, contiene minerales de plagioclasa, anfíboles alterados a epidota y micas. Tamaño de grano fino.					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Cuarzo 40	Cristales de tamaño fino, birrefringencia amarilla invadiendo la matriz			Producto de alteración de plagioclasas, principalmente en la matriz	
Anfíbol 10					
Plagioclasa 36	Fenocristales, incoloro, anhedral, relieve bajo, maclas simples. Microlitos en la matriz. Se alteran a micas			Alterados parcialmente a sericita	
Biotita 10	Aciculares, dispersados por toda la muestra			Por alteración de máficos (anfíboles y biotita magmática)	
Granate 3	Relieve alto, extinción total en nícoles cruzados				
Clorita 1	Colores de interferencia anómalos (azules)			Por alteración de máficos (anfíboles y biotita magmática)	
Textura: Fanerítica					
Facies:					
Protolito: Granodiorita					
Nombre de la roca			Meta granodiorita	Unidad	
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

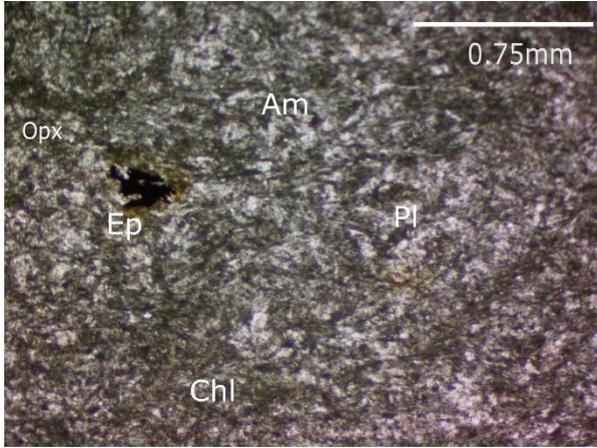
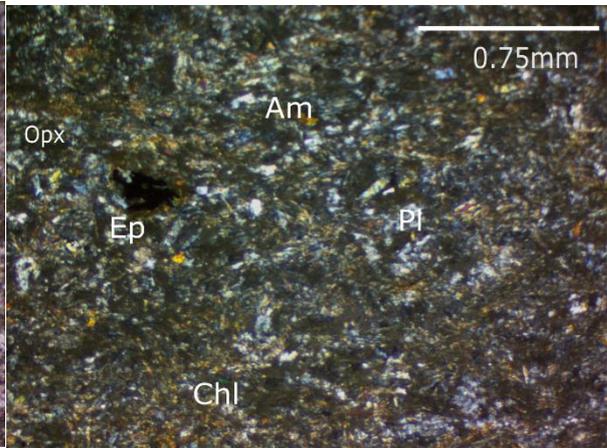
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
45	WGS 17 S	0799996	9755133	1822	Zuñac
Descripción macroscópica					
Gris, esquistosa, contiene sericita que da brillo sedoso					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Cuarzo 53	Incoloro anhedral, relieve bajo				
Plagioclasa 23	Quedan relictos de plagioclasas, con su macla distintiva (macla de carlsbad)				
Biotita 15	Aciculares, dispersados por toda la muestra			Por alteración de máficos (anfíboles y biotita magmática)	
Moscovita 1	Incoloro, forma tabular			crenuladas	
Granate 7	Cúbico, extinción total en nícoles cruzados				
Opacos 1	Ehuedrales				
Textura: Esquistosa, granolepidoblástica					
Facies:					
Protolito: Diorita					
Nombre de la roca		Esquisto de Bt, Ms		Unidad	
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
46	WGS 17 S	792987	9756128	2266	Purshi
Descripción macroscópica					
Esquisto gris con sericita (brillo sedoso), grafito y Qz. La muestra es compacta, y su textura es esquistosa.					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Cuarzo 84	Subhedral, relieve bajo				
Plagioclasa 8	Anhedral, relieve bajo				
Moscovita 4	Aciculares, alta birrefringencia				
Biotita 3	Marrón a verdoso, forma tabular				
Opacos 1	Anhedrales				
Textura: Granoblástica					
Facies: Esquisto verde					
Protolito: Arenisca					
Nombre de la roca		Ortocuarcita con Ms		Unidad	Agoyán
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

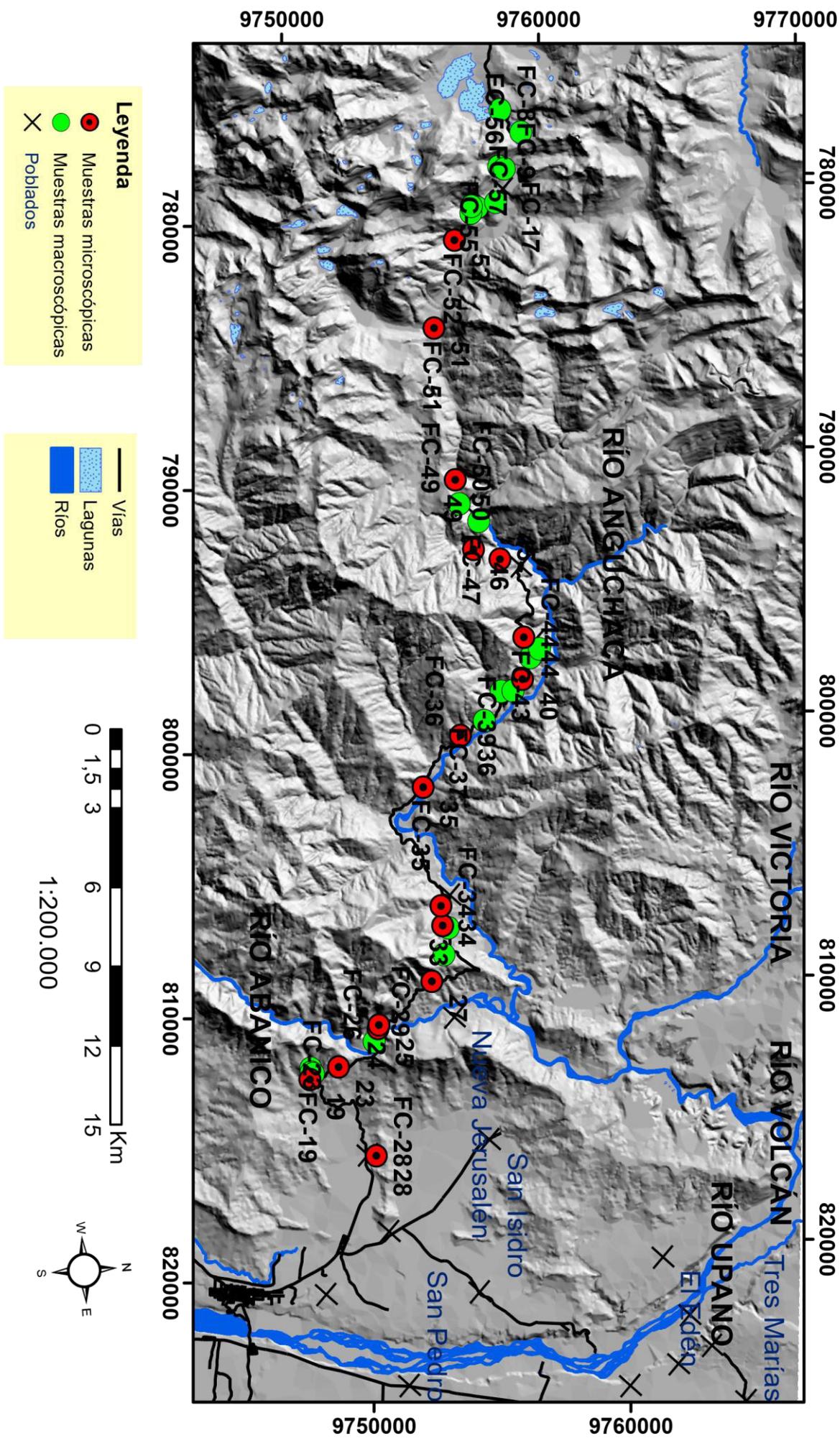
Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
49	WGS 17 S	790380	9755667	2589	Purshi
Descripción macroscópica					
Esquisto negro con porfiroblastos de Qz. Es casi un gneiss. Tiene micas con un brillo plateado					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Cuarzo 35	Euhedrales a suhedrales, texturas de recristalización			Conformando bandas	
Plagioclasa 30	Incoloro, relieve medio, poikiloblástica, angulares			Conformando bandas	
Moscovita 24	Alta birrefringencia, aciculares			Conformando bandas	
Opacos 1	Euhedrales y subhedrales (pirita)				
Anfíbol 7	Verdoso, birrefringencia de primer orden.				
Granate 3	Euhedrales, se extinguen totalmente en nícoles cruzados				
Textura: Granolepidoblástica					
Facies: Anfibolita					
Protolito: Roca Sedimentaria					
Nombre de la roca		Esquisto de Qz, Ms,Pl		Unidad	Agoyán
Nícoles Paralelos			Nícoles Cruzados		
					

Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
50	WGS 17 S	790308	9755602	2614	Purshi
Descripción macroscópica					
Esquisto gris. Contiene micas, grafito y cuarzo. El cuarzo se presenta como porfiroblastos. Puede contener cloritoide.					
Descripción microscópica no hay					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Plagioclasa 10	Anhedrales				
Cuarzo 55	Euhedrales a suhedrales, texturas de recristalización			Conformando bandas	
Cloritoide 1	Alto relieve, incoloro, subautomorfo			Forma porfiroblastos	
Moscovita 30	Alta birrefringencia, aciculares			Conformando bandas	
Grafito 3	Opacos, alargados, se alinean con las micas				
Opacos 1	Euhedrales y subhedrales (pirita)				
Textura: Granolepidoblástica					
Facies: Esquisto verde					
Protolito: Roca Sedimentaria					
Nombre de la roca		Esquisto de Qz, Ms		Unidad	Agoyán
Nícoles Paralelos		Nícoles Cruzados			
					

Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
51	WGS 17 S	784494	975518	2769	
Descripción macroscópica					
Roca gris verdosa, textura porfirítica. Tamaño de cristales de <1mm. Composición mineralógica: Anfíboles, plagioclasas regadas en la matriz y vidrio como matriz. Presenta alteración a clorita que le da un color verdoso					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Plagioclasa 35	Anhedral, bajo relieve, maclas simples-			alterándose a micas y clorita	
Anfíbol 3	Euhedral, baja birrefringencia				
Calcita 3	SUBhedral, Alta birrefringencia				
Clorita 20	Verdoso, birrefringencia azul anómala				
Opacos 1	Anhedrales				
Matriz: Vidrio, clorita (38%)					
Textura: Porfirítica					
Facies: Zeolita					
Protolito: Andesita					
Nombre de la roca	Meta andesita	Unidad	Alao-Paute		
Nícoles Paralelos		Nícoles Cruzados			
					

Muestra	Nat_Grid_ID	Easting	Northing	Level	Sector
52	WGS 17 S	0799996	9755133	1822	Tambo de Ashilán
Descripción macroscópica					
Roca verde, textura afanítica. Tamaño de cristales de <1mm. Composición mineralógica: Anfíboles, plagioclasas regadas en la matriz y vidrio como matriz. Presenta alteración a clorita que le da un color verdoso					
Descripción microscópica					
Mineral (%vol.)	Propiedades			Otras observaciones	
Plagioclasa 35	Relieve bajo, colores de interferencia de primer orden			Parcialmente alteradas a sericita	
Anfíbol 3	Euhedral, baja birrefringencia				
Clorita 5	Verdoso, birrefringencia azul anómala				
Epidota 5	Birrefringencia alta, alto relieve				
Matriz: Vidrio, clorita (52%)					
Textura: Porfirítica					
Facies: Zeolita					
Protolito: Metalava andesítica					
Nombre de la roca	MetaToba			Unidad	Alao-Paute
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Nícoles Paralelos Nícoles Cruzados </div>					
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>					

**ANEXO 2: MAPA DE UBICACIÓN DE MUESTRAS
MACROPSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS**



ANEXO 3: MAPA GEOLÓGICO DEL CORTE ATILLO-MACAS

