

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

CARRERA DE GEOLOGÍA (RRA20)

**CARACTERIZACIÓN DE LAS ANFIBOLITAS DEL COMPLEJO
METAMÓRFICO EL ORO.**

**CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE LAS ANFIBOLITAS DEL
COMPLEJO METAMÓRFICO EL ORO (ECUADOR)**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
GEOLOGÍA**

BRITANY DENNISE ANZULES PALMA

brinneyanzules@hotmail.com

DIRECTOR: PhD. FABIÁN MARCELO VILLARES JIBAJA

fabian.villares@epn.edu.ec

FEBRERO, 2024

CERTIFICACIONES

Yo, BRITANY DENNISE ANZULES PALMA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

BRITANY DENNISE ANZULES PALMA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por BRITANY DENNISE ANZULES PALMA, bajo mi supervisión.

FABIÁN MARCELO VILLARES JIBAJA
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

BRITANY DENNISE ANZULES PALMA

FABIÁN MARCELO VILLARES JIBAJA

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado para mis padres y hermanos que, gracias a su esfuerzo, confianza, entrega y amor, me motivaron a continuar mi vida universitaria:

A mi amada madre Amalia Palma Arias, quién es un pilar fundamental en mi vida, que con su apoyo, consejos y dedicación hizo todo esto posible.

A mi amado padre Carlos Anzules Salvatierra, que a pesar de que no esté conmigo, es mi ángel y agradezco por su esfuerzo y apoyo.

A mis queridos hermanos Javier, Miguel y David su apoyo y ánimos fueron el empuje para continuar mi carrera universitaria.

A mi abuelita Nery Arias.

A mis tíos Rocío Palma, René Palma y su esposa Shirley Vélez.

A mis amadas mascotas Gertrudis y Tomy, que fueron y son mis compañeritos durante mi carrera, y espero tenerlos muchos años más.

A mis queridos colegas y mejores amigos Héctor Freire, Andrés Núñez y Richard Pilicita (**Ultramáficos.S.A forever**) gracias por su apoyo incondicional, estuvieron conmigo en momentos difíciles e hicieron que mi vida universitaria sea amena y divertida, así mismo agradezco porque me ayudaron a tomar las rocas del presente trabajo con la mayor disposición.

Cometa ☾.

“Cuando todos te digan que **no es posible o que no puedes**, demuéstrales como sí puedes y como lo lograste” De mí, para mí.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Geología y Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional, por permitirme utilizar los laboratorios.

A mi tutor Fabián Villares, que con paciencia y dedicación implantó sus conocimientos para que este trabajo se realizara de la mejor manera.

A mis profesores, por sus enseñanzas y consejos impartidos durante mi vida universitaria.

A mis compañeros de la Facultad, con quién he compartido momentos buenos y malos.

A todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, estoy muy agradecida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo General.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.2 Área de estudio.....	3
1.3 Estudios previos.....	3

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Metamorfismo.....	8
2.2 Rocas Metamórficas	8
2.2.1 Rocas Metamórficas Máficas.....	8
2.2.1.1 Anfibolita.....	8
2.2.1.2 Esquisto verde.....	8
2.2.1.3 Esquisto Azul.....	8
2.2.1.4 Eclogita.....	8
2.2.1.5 Granulita.....	9
2.3 Condiciones Metamórficas.....	9
2.3.1 Presión, Temperatura y Grado.....	9
2.3.2 Facies Metamórficas	10
2.4 Protolito	10
2.5 Texturas de Rocas Metamórficas.....	11
2.5.1 Textura granoblástica.....	11
2.5.2 Textura lepidoblástica.....	11
2.5.3 Textura Nematoblástica.....	11
2.5.4 Textura Poiquiloblástica.....	11
2.6 Rocas Máficas.....	11
2.6.1 Gabro.....	11
2.6.2 Basalto.....	11

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA REGIONAL

3.1 Entorno geológico.....	12
3.2 Tectónica y Evolución regional.....	13

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA Y ALCANCE

4.1 Recopilación Bibliográfica.....	14
4.2 Muestreo.....	14
4.3 Descripción de muestra de mano y microscópica.....	15
4.4 Geoquímica de roca total de elementos mayores.....	15
4.4.1 Preparación de muestras	15
4.4.2 Determinación de elementos mayores por Fluorescencia de Rayos X (XRF).....	16
4.5 Análisis e interpretación de resultados.....	16
4.6 Redacción y preparación del informe final.....	17

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 Petrografía, características mineralógicas y texturales de las anfibolitas de la zona norte, central y sur del Complejo Metamórfico El Oro.....	17
5.1.1 Anfibolitas al Norte de la falla La Palma-El Guayabo.....	17
5.1.1.1 Unidad Arenillas.....	18
5.1.1.2 Serpentinita.....	19
5.1.2 Zona central entre las Fallas La Palma-El Guayabo y Zanjón Naranjo.....	21
5.1.2.1 Unidad Río Panupali.....	21
5.1.3 Sur de la Falla Zanjón Naranjo.....	22
5.1.3.1 Unidad Quebrada Plata.....	23
5.1.3.1.1 Anfibolitas en facies de esquistos verdes.....	23
5.1.3.1.2 Anfibolitas en facies de anfibolita	25
5.1.3.1.3 Serpentinitas	26
5.2 Geoquímica.....	29
5.2.1 Clasificación Geoquímica de elementos mayores.....	30

5.2.1.1 Elementos Mayores.....	30
CAPÍTULO 6	
DISCUSIÓN	
6.1 Unidades Arenillas, Río Panupali, Quebrada Plata y peridotitas serpentinizadas.....	35
6.1.1 Unidad Río Panupali vs Unidad Arenillas / Quebrada Plata.....	35
6.1.2 Unidad Arenillas vs Unidad Quebrada Plata.....	36
6.1.3 Peridotitas serpentinizadas vs Unidad El Toro/Serpentinitas sin nombre.....	37
6.2 Condiciones metamórficas.....	37
6.3 Modelo geodinámico.....	39
CAPÍTULO 7	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1 Conclusiones.....	42
7.2 Recomendaciones.....	43
CAPÍTULO 8	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
CAPÍTULO 9	
ANEXOS.....	47
ANEXO I. EQUIPOS PARA PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	48
ANEXO II. FICHAS DESCRIPTIVAS.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación de la zona de estudio y las muestras recolectadas.....	3
Figura 2. Esquema nomenclatura y distribución en el espacio P-T de las facies metamórficas más comunes (basado en Smulikowky et al., 2002 y Spear, 1993). Las bandas transicionales son los límites entre las distintas facies, que se determinaron fundamentalmente por cambios mineralógicos en las composiciones máficas. Se incluye como referencia los campos de estabilidad de los polimorfos de los silicatos de Al (Holdaway, 1971). De igual manera, se incluye la terminología recomendada por la SCMR para cualificar el grado metamórfico en función de la temperatura, presión y relación P/T. Tomado de (Torres et al., 2004)	10

Figura 3. Fotografías representativas de las muestras de campo recolectadas de la Unidad Arenillas en la vía Arenillas-Santa Rosa (A (afloramiento de la unidad Arenillas), B(deformación)), con sus correspondientes secciones delgadas (C, D, E); mostrando su respectiva mineralogía. Las secciones (F, G, H) pertenecen a las peridotitas serpentinizadas que se encuentra en la vía Zaracay-La Avanzada frente a la gasolinera PetroEcuador. Hbl-Hornblenda, Pl-Plagioclasa, Cpx-Clinopiroxeno, Ol-Olivino, Tr-Tremolita, Srp-Serpentina, Chl-clorita (Abreviaciones de Whitney & Evans, 2010)...20

Figura 4. Sección delgada de la Unidad Río Panupali, esquisto verde. A. Luz polarizada plana. B. Nícoles Cruzados. Act-Actinolita, Bt-Biotita, Ep-Epidota, Zo-Zoisita, Qz-Cuarzo. (Abreviaciones de Whitney & Evans, 2010)...22

Figura 5. Fotografías representativas de las muestras de campo recolectadas de la Unidad Quebrada Plata (A: afloramiento meteorizado (en la vía Carcabón-Chacras/ Frontera con Perú), (B: afloramiento parcialmente meteorizado; contacto entre anfibolitas y serpentinitas (en la vía hacia Palmales Nuevo) y sus correspondientes secciones delgadas (C, D, E, F, H); mostrando su respectiva mineralogía. Las secciones (D, E) pertenecen a las serpentinitas. (C) pertenece a los esquistos verdes de la unidad Quebrada Plata; (F, G, H) pertenecen a las anfibolitas de la unidad Quebrada Plata. Hbl-Hornblenda, Act-Actinolita, Pl-Plagioclasa, Opx-Ortopiroxeno, Ol-Olivino, Ep-Epidota, Zo-Zoisita, Tr-Tremolita, Srp-Serpentina, Chl-clorita (Abreviaciones de Whitney & Evans, 2010)27

Figura 6. Diagramas Harker en los que se presentan los valores de los elementos mayores en (wt. %) vs el contenido de SiO₂ (wt. %) de las anfibolitas de las Unidades Arenillas, Quebrada Plata y Piedras (este estudio; Cochrane et al., 2014), los esquistos verdes de la Unidad Río Panupali (Aspden et al., 1995) y las serpentinitas de la Unidad El Toro y las sin nombre (Aspden et al., 1995). *este estudio.....31

Figura 7. a) Diagrama de clasificación TAS (SiO₂ vs Na₂O+K₂O), según Le Bas et al., (1986), b) Diagrama K₂O (wt. %) vs SiO₂ (wt. %) de Peccerillo & Taylor, (1976) y c) Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971), mostrando el límite entre las afinidades toleíticas y calco-alcalinis para las anfibolitas de las Unidades Arenillas, Quebrada Plata y Piedras (Cochrane et al., 2014), los esquistos verdes de la Unidad Río Panupali (Aspden et al., 1995) y las serpentinitas de la Unidad El Toro y las sin nombre. *este estudio.....32

Figura 8. Proyección de las muestras estudiadas en los diagramas ACF y AMF. Se representa a los miembros finales de las fases minerales con un círculo negro (clorita con Fe+Mg=9, Al=3 y Si=5 átomos por 10 O y 8OH; Spear, 1993). a) Diagrama ACF muestra los campos metaluminoso y peraluminoso, además de la composición mineral de rocas básicas y de las rocas alteradas. b) Diagrama ACF para rocas metabásicas proyectadas a partir de vector plagioclasa, se muestra la composición teórica de varios minerales. c) Diagrama AMF para rocas metabásicas proyectadas a partir de clinozoisita, cuarzo y albita y accesorios, mostrando la factibilidad para la recristalización de anfíbol. Los diagramas se

proyectan desde fases coexistentes y vectores de intercambio adecuado que permitan establecer una zona composicional. NMORB: Basalto normal de dorsal medio oceánica, según Gale et al., (2013). Abreviaciones de Whitney & Evans, (2010)34

Figura 9. P-T Pseudosecciones calculadas en PERPLE_X. a) pseudosección para la composición de la metabasita BA-ORO-3 [SiO₂=49.20, CaO=11.59, FeO=8.69, Al₂O₃=17.19, MgO=8.14, Na₂O=2.12, TiO₂=1.37, MnO=0.15, O₂=0.43 (porcentaje en peso)]. b) pseudosección para la composición de la metabasita BA-ORO-7 [SiO₂=49.41, CaO=12.29, FeO=9.77, Al₂O₃=14.41, MgO=7.77, Na₂O=3.04, TiO₂=1.70, MnO=0.20, O₂=0.48 (porcentaje en peso)].39

Figura 10. Diagramas de discriminación de basaltos. a) diagrama ternario TiO₂-K₂O-P₂O₅ como método de discriminación entre basaltos oceánicos y continentales de Pearce et al., (1975), b) Diagrama V vs Ti/1000 indicador de influencia de subducción, distingue tipos de magmas de Shervais (1982), c) Diagrama discriminante MnO*10-TiO₂-P₂O₅*10 para basaltos de regiones oceánicas por Mullen (1983) y d) diagrama ternario MgO-FeO*-Al₂O₃ identifica cinco ambientes tectónicos diferentes por Pearce et al. (1977).....40

Figura 11. Modelo geológico esquemático 2D propuesto para el margen ecuatorial, el cual involucra un evento de magmatismo tipo S, se produce descompresión de la astenosfera ocasionando el emplazamiento cortical de tipo MORB (metabasitas), el emplazamiento de las metabasitas ocasiona migmatización de la Unidad La Bocana.....42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha explicativa general de las muestras tomadas para el trabajo de investigación.....28

Tabla 2. Tabla de análisis químicos (Elementos mayores wt. % y elementos traza ppm) de las Unidades Arenillas, Río Panupali, Quebrada Plata y serpentinitas (BA-ORO-33 y BAT-25 de la zona Norte y Sur, respectivamente).....29

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue abordar la problemática petrográfica y química de afloramientos puntuales de las metabasitas del Complejo Metamórfico El Oro que conforman las Unidades Arenillas, Río Panupali y Quebrada Plata. Las litologías analizadas fueron anfibolitas en facies de anfibolitas para la Unidad Arenillas cuya mineralogía es de hornblenda + plagioclasa ± opacos ± titanita ± circón y piroxenos relictos, esquistos verdes en facies de esquistos verdes de la Unidad Río Panupali, con una composición de actinolita + cuarzo + zoisita + epidota ± circón ± rutilo; mientras que las anfibolitas de la Unidad Quebrada Plata corresponden a anfibolitas en facies de esquistos verdes con una mineralogía de actinolita + plagioclasa + epidota ± clorita ± rutilo ± opacos ± cuarzo y anfibolitas en facies de anfibolitas cuya mineralogía es de hornblenda+plagioclasa+actinolita±epidota±titanita±opacos. Las características mineralógicas, texturales y químicas distinguen las Unidades Arenillas de Quebrada Plata y Arenillas de Río Panupali. Los datos geoquímicos de todas las metabasitas indican una afinidad de tipo MORB con influencia de una zona de subducción. Las estimaciones termobarométricas en función de la composición modal indican que las condiciones de metamorfismo de las metabasitas de la Unidad Arenillas son de ~840-940 °K y ~ 1200-4500 bar, mientras que de la Unidad Quebrada Plata son de ~750-900°K y presiones ~1700-3800 bar, es decir en condiciones de moderada-alta temperatura y baja presión.

PALABRAS CLAVE: Anfibolita, Complejo Metamórfico El Oro, pseudosección, condiciones metamórficas.

ABSTRACT

The goal of this research was to address the petrographic and geochemical vagueness of the outcrops of the metabasites of the El Oro Metamorphic Complex that make up the Arenillas, Río Panupali and Quebrada Plata Units. The analyzed lithologies were amphibolites with amphibolite facies for the Arenillas Unit whose mineralogy is hornblende + plagioclase ± opaque ± titanite ± zircon and relictic pyroxenes; greenschists with green schists facies to the Rio Panupali Unit, with a paragenesis of actinolite + quartz + zoisite + epidote ± zircon ± rutile and amphibolites in green schists facies with a mineralogy of actinolite + plagioclase + epidote ± chlorite ± rutile ± opacos ± quartz and amphibolites in amphibolite facies whose mineralogy is hornblende + plagioclase + actinolite ± epidote ± titanite ± opacos. Mineralogical, textural and chemical characteristics distinguish the Arenillas from Quebrada Plata and Arenillas from Río Panupali Units. Geochemical data of all metabasites indicated MORB type affinity with influence of a subduction zone. Thermobarometric estimates based on modal composition propose that the metamorphic conditions of the Arenillas Unit metabasites are ~840-940 °K and ~ 1200-4500 bar, while for the Quebrada Plata Unit are ~750-900°K and ~1700-3800 bar, that is, in conditions of moderate-high temperature and low pressure.

KEYWORDS: Amphibolite, Metamorphic El Oro Complex, pseudosection, metamorphic conditions.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El Ecuador se ubica en la parte occidental de Sudamérica, y su área geográfica ocupa parte de los Andes septentrionales o del Norte. El margen occidental de Sudamérica es un claro ejemplo de un margen convergente donde interactúan las placas Nazca y Sudamericana, lo cual contribuyó a la formación de la orogenia Andina en el Terciario (Aspden and McCourt, 1986; Bourgois et al., 1987). El Ecuador está constituido por la Región Litoral, Región Sierra (Cordillera Occidental, Valle Interandino y Cordillera Real) y la Región Amazónica o Cuenca Oriente.

El Complejo Metamórfico El Oro se encuentra ubicado al SW del Ecuador, está compuesto por unidades oceánicas y continentales (Feininger, 1978); se ubica entre la falla Jubones al norte y la cuenca cretácica de Celica-Lancones al sur el cual consiste de sedimentos del Paleozoico tardío (Martínez, 1970). El Complejo Metamórfico El Oro se caracteriza por presentar litologías y conjuntos variados, cuyas edades metamórficas varía entre el Paleozoico y el Cretácico, se encuentra afectado por fallas con rumbo E-W que lo subdividen en unidades más pequeñas (Aspden et al., 1995). El presente trabajo divide al Complejo Metamórfico El Oro en tres unidades tectono-metamórficas independientes en función de su posición relativa.

Al norte del Complejo Metamórfico El Oro; la zona de cizalla La Palma-Guayabo define el límite entre el complejo Birón al norte y las unidades oceánicas situadas al sur. El complejo Birón comprende varias unidades con afinidades continentales, siendo las más importantes los metagranitoides de Limón Playa y Quera Chico en contacto con la división Mélange Palenque (Suhr., et al. 2018) y la Unidad Arenillas de afinidad oceánica (facies anfibolíticas). En la parte central, se encuentra el Complejo Raspas, que está limitado al norte por la falla La Palma-El Guayabo y al sur por la falla Tahuín-Zanjón-Naranjo, se divide en las metaperidotitas El Toro, y las eclogitas y los esquistos azules (Unidad La Chilca) (Aspden et al., 1995). La unidad de esquistos azules está atribuidos a montes submarinos, mientras que las eclogitas a una dorsal mediooceánica (John et al., 2010). La zona de cizalla Zanjón Naranjo define el contacto entre los esquistos verdes la Unidad Río Panupali al norte y las anfibolitas de la Unidad Quebrada Plata al sur. Gabriele (2002) toma la nomenclatura Arenillas-Panupali (esquistos azules) a la zona norte de la falla Zanjón Naranjo y la Unidad Piedras (metagabros) a la zona sur de la falla Zanjón Naranjo, mientras que Aspden et al., 1995; considera que la Unidad Arenillas-Panupali son dos unidades

separadas. Por lo que en el presente trabajo toma la nomenclatura propuesta por Aspden et al. (1995). Al sur del Complejo Metamórfico El Oro (Sur de la Falla Zanjón Naranja), se encuentra la división paleozoica continental Tahuín, comprende de Unidades El Tigre y la Victoria (Aspden et al., 1995). La Unidad El Tigre (rocas sedimentarias débilmente metamorfizadas) define el margen sur del Complejo Metamórfico El Oro.

El presente estudio tiene como objetivo discernir y discriminar las incertidumbres y/o problemáticas en cuanto a nomenclatura y relación litológica de las Unidades Arenillas, Quebrada Plata, serpentinitas y la Unidad Río Panupali, ya que Aspden et al., 1995 inicialmente atribuyó esta última unidad al Complejo Ofiolítico Raspas, mientras que (Gabriele, 2002; Riel et al., 2013) agrupan las Unidades Arenillas-Panupali correspondientes a esquistos azules basándose en dataciones. El trabajo se fundamenta en la caracterización petrográfica, mineralógica y geoquímica, y compara con los datos previamente publicados, finalmente se propone un entorno geodinámico.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Caracterizar a las Unidades Arenillas y Quebrada Plata, a través de estudios petrográficos y geoquímicos de afloramientos puntuales en el Complejo Metamórfico El Oro al Suroeste de Ecuador para dilucidar su entorno geodinámico de formación.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Establecer las asociaciones minerales y características petrográficas de las rocas en la zona de estudio.
- Estudiar las características geoquímicas de elementos mayores de las Unidades Arenillas, Río Panupali y Quebrada Plata.
- Comparar datos obtenidos con datos publicados del área de estudio.
- Comprender la geodinámica y evolución de las Unidades Arenillas, Río Panupali y Quebrada Plata.

1.2 Área de estudio

El presente trabajo se centra en el S-W del Ecuador, en las anfíbolitas (TrPp: Unidad Quebrada Plata y TrPa: Unidad Arenillas), y en los esquistos verdes (KOp: Unidad Río Panupali) del Complejo Metamórfico El Oro.

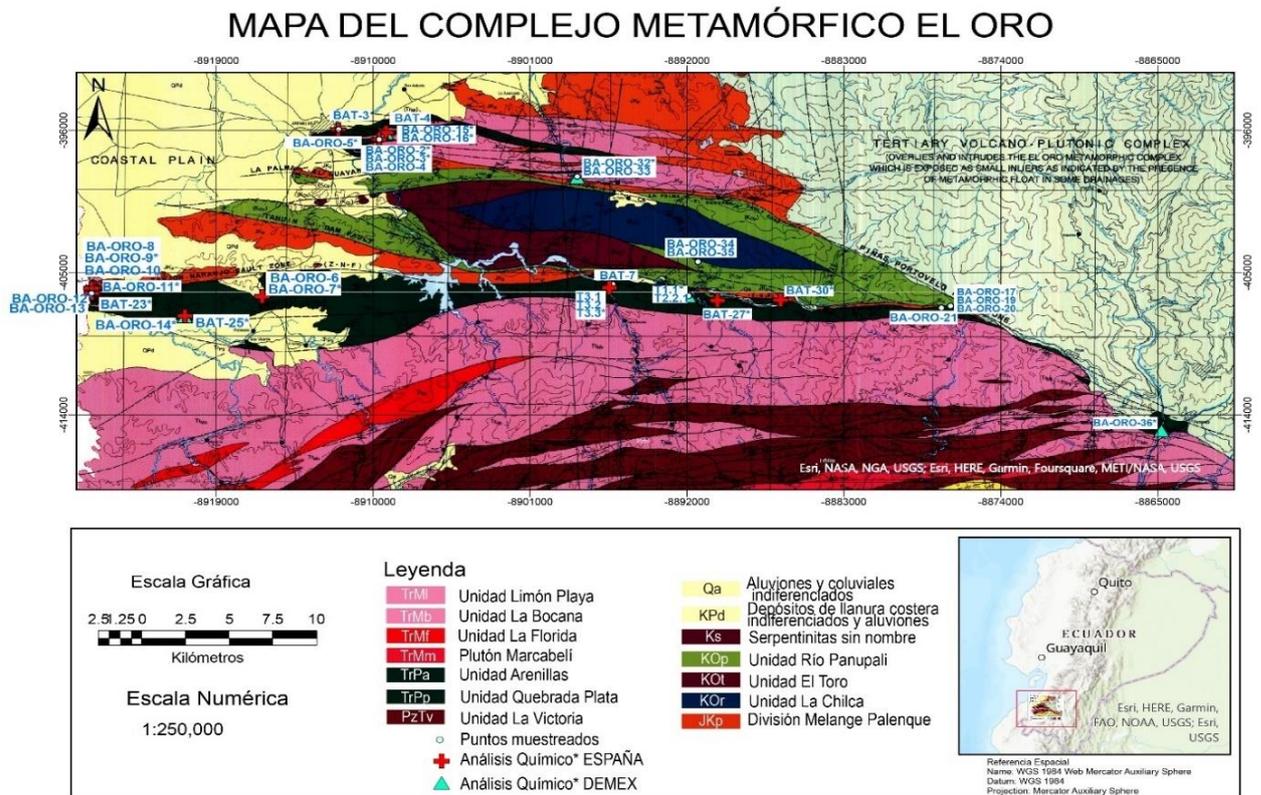


Figura 1. Mapa de Ubicación de la zona de estudio y las muestras recolectadas.

Elaborado por: Britany Anzules

Modificado de: Feininger (1978) y Aspden et al. (1995).

1.3 Estudios previos

Las primeras caracterizaciones geológicas en la provincia de El Oro fueron realizadas por Sauer (1965); posteriormente Kennerley (1973) cartografió la zona este de la provincia de El Oro, mientras que Feininger (1978) cartografió la zona oeste, de la provincia de El Oro. Tanto Sauer (1965) como Gansser (1973), mencionaron que las rocas metamórficas de El Oro presentan un rumbo E-W y que son completamente discordante con la tendencia de los Andes.

Las primeras dataciones radiométricas fueron (Brian Kennerley, en su comunicación escrita 1974) en una anfíbolita tomada en Portovelo que posteriormente es clasificada por Feininger (1980) como el grupo Piedras, obteniendo edades Precámbricas tardías (K-Ar de 732 ± 14 Ma en la hornblenda); después se obtuvieron edades del Cretácico Temprano (K-

Ar de 132 ± 5 Ma en fengita; Miles L. Silberman, en su comunicación escrita, 1976) en esquistos pelíticos de la formación Raspas (Feininger 1980).

Duque (1974, 1992) y Feininger (1980) mapearon y describieron las rocas de alta presión del Ecuador; Feininger (1980) clasificó a las rocas del Complejo Metamórfico El Oro en los grupos: Piedras, grupo Tahuín y harzburgitas El Toro y la Formación Raspas. El grupo Piedras constituido por anfibolitas, gneiss granítico, esquistos muscovíticos, cuarcitas, esquistos sericíticos, y esquistos verdes. El grupo Tahuín por anfibolitas, gneises y migmatitas, gneises aplíticos, granitos, cuarcitas, esquistos y filitas y arenitas y lutitas sin metamorfizar. Las harzburgitas El Toro corresponden a harzburgitas serpentizadas mientras que la Formación Raspas incluye esquistos pelíticos y cuarcitas, rocas máficas prógradas (eclogitas) y rocas máficas retrógradas (esquistos verdes).

Aspden et al. (1992c) proporciona edades radiométricas para las anfibolitas de Piedras y Arenillas; para las anfibolitas de Piedras se obtuvieron edades de 647 ± 37 Ma y 224 ± 3 Ma, de muestras tomadas cerca de Portovelo, posteriormente se confirman las edades triásicas mediante datación U-Pb en circón de $221 \pm 18 - 16$ Ma (S Noble en su comunicación escrita). En cambio, en las anfibolitas de Arenillas se obtuvieron cuatro edades K-Ar que van desde 72 ± 15 Ma a 76 ± 7 Ma, consideradas reajustadas (Aspden et al., 1992c).

Aspden et al. (1995) realizaron la cartografía geológica, respaldada por datos geocronológicos y geoquímicos de roca total, y tomaron posiciones relativas en función de la falla Zanjón Naranjo. Describieron dos "subprovincias" informales; la subprovincia I situada al sur de la falla Zanjón-Naranjo en dirección este-oeste, que consiste en elementos geológicamente diversos pertenecientes a la división semipelítica Tahuín que está conformada por las Unidades El Tigre y La Victoria; al complejo granitoide Moromoro conformada por las Unidades La Bocana, La Florida y los plutones Marcabelí y El Prado; y finalmente al Complejo Máfico Piedras conformado por la Unidad Quebrada Plata. Por otro lado, al norte de la falla Zanjón-Naranjo en dirección este-oeste se encuentra la subprovincia II y corresponde a la división de Melange Palenque, al Complejo Ofiolítico Raspas conformado por las Unidades Río Panupali, El Toro y La Chilca; a la Unidad Limón Playa que conforma el Complejo Granitoide Moromoro y finalmente la Unidad Arenillas que conforma el Complejo Máfico Piedras. La Unidad Río Panupali es la capa externa del Complejo Ofiolítico Raspas y está constituida por esquistos verdes (Aspden et al., 1995), fue asignada al grupo Piedras por Feiniger (1978). En algunas muestras presentan glaucofano y granate, lo cual indican que son parte integral del Complejo Ofiolítico Raspas (Aspden et al., 1995).

Noble et al. (1997) presentó edades de U-Pb en circón y monacita, las cuales confirmaron que la mayor parte de la actividad intrusiva en El Oro, incluyendo al Plutón Marcabelí (221 ± 0.8 Ma), el Complejo Máfico Piedras ($221 \pm 18/16$ Ma) y los granitoides que aparecen como bloques exóticos al norte de la falla Zanjón-Naranjo (Limón Playa; 200 ± 30 Ma), tuvieron lugar durante el Triásico tardío asociado a un evento tectonotermal denominado Moromoro.

Arculus et al. (1999) realizaron análisis de elementos mayores y trazas en rocas representativas del “Complejo Metamórfico Raspas” y las comparan con rocas oceánicas frescas. Concluyen que debido a los procesos de subducción se dieron cambios en los elementos Rb, Ba, Sr y Pb, a alta P y baja T. Los alcalinos, alcalinoterreos, U, Th, Pb y los REES permanecieron inmóviles en la formación de la eclogita (Bebout, 1996), debido a que la eclogita contiene fases hidrosolubles (clinozoisita y anfíbol).

Bosch et al. (2002) concluyen que las rocas máficas de HP (eclogitas y probablemente las peridotitas serpentinizadas) son restos de una sección de una meseta oceánica, correspondiendo las peridotitas serpentinizadas a la parte residual; por otro lado, que las anfibolitas con epidota fueron metamorizadas en facies de esquistos verdes a anfibolitas (Unidad Río Panupali) y que estas rocas muestran características geoquímicas con afinidades tipo MORB.

Gabriele (2002) trabajó sobre todo en la caracterización del “Complejo Ofiolítico Raspas” y las unidades en contacto con él. Al sur del Complejo Ofiolítico Raspas, describe a la Unidad Arenillas-Panupali como una unidad metamorizada en facies de esquistos azules y la asigna a un periodo Triásico en función de las edades obtenidas por el método Ar/Ar en anfíbol (225 Ma). El abandona la nomenclatura propuesta por Aspden et al., (1995) y subdivide en 3 grupos al Complejo Metamórfico El Oro; (1) El Grupo Birón, ubicado al norte del sistema de fallas de La Palma-El Guayabo; (2) El Complejo Ofiolítico Raspas, ubicado entre el sistema de falla de La Palma-El Guayabo; y (3) El complejo metamórfico del Triásico se subdivide en (1) las Unidades Piedras y Arenillas-Panupalí de geoquímica oceánica, situadas a ambos lados del sistema de fallas Zanjón-Naranjo, y (2) la Unidad continental Tahuín (Aspden et al., 1995). El Grupo Tahuín comprende las subunidades de El Tigre (sedimentos pelíticos), La Victoria (metasedimentos pelíticos), La Bocana (migmatitas), Marcabeli (granitoides) y El Prado (granitoides). Limita al norte con la unidad gabroica del Piedras y al sur con los sedimentos cretácicos de la cuenca Celica-Lancones.

Gabriele et al. (2003) documentan la historia de reacción y las condiciones P-T de las metapelitas de granate-cloritoide-cianita del “Complejo Raspas”, de igual forma reagrupan en dos formaciones al Complejo Raspas el cual está comprendido de: la Formación El Toro

que corresponde a metaperidotitas de facies eclogítica, y la Formación Raspas, compuesta por eclogitas, granate-anfibolitas, esquistos azules y micaesquistos granate-cloritoides (Feininger, 1978, 1980; Gabriele, 2002). Así mismo agrupan a las Unidades Arenillas-Panupali y Piedras ya que presentan afinidades de tipo MORB respaldado por los estudios previos de (Aspden et al., 1995; Bosch et al., 2002; Gabriele, 2002). Las rocas del Complejo Raspas presentan una evolución P-T similar, obteniendo una profundidad máxima de enterramiento de unos 60km, en donde las rocas se calentaron a 600 °C, alcanzando un gradiente geotérmico bastante cálido de aproximadamente 12°C/km al menos en las partes de la corteza y del manto superior (slab). Las edades de Lu-Hf obtenidas en las eclogitas, esquistos azules y metapelitas del complejo Raspas son muy similares e indican que estas rocas fueron sometidas a un metamorfismo de HP prógrado en torno a los 130 Ma. La asociación de eclogitas de tipo MORB, esquistos azules de tipo monte submarino, peridotitas serpentinizadas de facies eclogítica y metasedimentos de alta presión apunta a una secuencia exhumada de ofiolitas de alta presión (John et al., 2010).

Riel (2012) y Riel et al. (2013) se centran en el complejo metamórfico Triásico, realizan termobarometría y muestra un modelo de evolución. Mencionan que primero existió un adelgazamiento de la corteza continental y después hubo la fusión de la secuencia Paleozoica de La Bocana que comenzó a los ~229 Ma. El adelgazamiento de la corteza y el emplazamiento de la unidad gabroica de Piedras suministraron una fuente de calor que favoreció a la anatexis de la corteza a ~229 Ma. Las estimaciones de las condiciones metamórficas P-T máximas mostraron que la anatexis de la corteza comenzó a unos 650 °C y ~4,5 kbar, y que la temperatura se atenuó entre 700 y 720 °C por fusión y por deshidratación de biotita en una capa de 7 km de espesor. Señalan que en el PermoTriásico hubo descompresión de la astenosfera, que sufrió una fusión parcial y provocó la Unidad gabroica Piedras de tipo MORB, que a su vez proporcionó el flujo de calor necesario para la migmatización de la secuencia continental del Complejo El Oro. Este evento tectonotérmico fue seguido inmediatamente por nuevos procesos de subducción y el hundimiento de la unidad de esquistos azules Arenillas-Panupali, que contribuyó en gran medida al rápido enfriamiento de la región “forearc” del suroeste de Ecuador.

Riel et al., 2014 combinan datos estructurales, modelos térmicos y datos geocronológicos, demostrando que la Provincia Metamórfica de El Oro sufrió al menos cuatro eventos importantes de deformación desde el Triásico tardío hasta el Paleoceno; deformación (D1) en ~230 Ma con el emplazamiento de la unidad gabroica de Piedras a nivel cortical, que ocasionó la fusión en la zona del antearco que presentaba un régimen extensional con

dirección E-W; deformación (D2) en ~226 Ma con el hundimiento tectónico de los esquistos azules de la Unidad Arenillas-Panupali que enfrió la zona. Cerca del límite entre el Jurásico y el Cretácico (145-140 Ma), la subducción de la placa paleopacífica cambió de dirección ESE a NNE y 10 Ma más tarde (D3) provocó la subdeposición del Complejo Raspas, probablemente debido a la verticalización de la losa paleopacífica (130-120 Ma). A finales del Cretácico Temprano (~110 Ma) la extensión paralela a la fosa ocasionó la apertura con tendencia NE-SW de la cuenca Celica-Lancones e inclinó al Complejo Metamórfico El Oro más de 90° y finalmente (D4) desde el Campaniano hasta el Maastrichtiano (80-65 Ma), la extensión cambió a compresión con dirección N-S, posiblemente relacionado a la acreción de los terrenos oceánicos evidenciados en Ecuador y Colombia.

Cochrane et al. (2014) presentan datos geoquímicos, isotópicos y geocronológicos de los granitos tipo S y diques basálticos anfibolitizados (rocas Permo-Triásicas) que se encuentran expuestas en México, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú; y proporcionan un modelo de evolución de estas rocas.

Suhr et al. (2018) delimitan la historia de depositación y la procedencia de varias unidades sedimentarias que se forman parte del Complejo Metamórfico El Oro, para lo cual utilizan geocronología mediante el método U-Pb en circones obteniendo 240-215 Ma (Triásico Superior) para la Unidad Limón Playa, 510-550 Ma Unidad El Tigre, las Unidades La Victoria, La Bocana y división Melange Palenque presenta un mismo rango de edad de 390 Ma, confirmando la presencia de un cinturón magmático. Por lo que el Complejo Metamórfico El Oro tiene tres secuencias temporalmente distintas con las más antiguas al sur y las más jóvenes al norte. Así mismo mencionan que hay unidades autóctonas y que posiblemente su procedencia es similar a ciertas unidades que se encuentran en la Cordillera Real.

Silva et al. (2023) presentan nuevos datos geoquímicos, geocronología, análisis mineral y mapas de rayos X para proporcionar más información sobre rocas de Raspas. Llegan a la conclusión de que las rocas del Complejo Metamórfico Raspas tienen una firma NMORB a E-MORB, presenta una heterogeneidad del protolito y similitudes de elementos traza con lavas de mesetas oceánicas; indicando que el protolito para el Complejo Metamórfico Raspas es enriquecido y que se originó durante el ascenso de una pluma del manto. Finalmente proponen que los Andes recibieron la influencia de una meseta oceánica que probablemente se formó durante el Cretácico Temprano y que, durante la subducción de la meseta, se formó un cinturón HP que se extendió hasta Colombia en ~130 Ma.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Metamorfismo

El metamorfismo es una respuesta a los cambios físicos en estado sólido en el entorno de una roca preexistente, el metamorfismo se puede dar por variaciones de presión, de temperatura, de esfuerzos o por infiltración de fluidos. Ocasionalmente la recristalización de los minerales preexistentes en otros cristales nuevos y/o la aparición de nuevos minerales, y la descomposición de otros minerales.

2.2 Rocas Metamórficas

2.2.1 Rocas Metamórficas Máficas

Son rocas derivadas del metamorfismo de rocas ígneas máficas (basaltos, gabros) e incluso de rocas sedimentarias ricas en FeO, MgO y CaO. Se usan comúnmente nombres basados en el protolito, tales como metagrabo, metabalto, etc., con referencia especial a la proveniencia o texturas dominantes. Existe otra clasificación que hace referencia a rocas en función de condiciones particulares y mineralogía específica, tales como esquistos verdes, esquistos azules, anfibolitas, eclogitas y granulitas máficas (Torres et al., 2004).

2.2.1.1 Anfibolita

Roca metamórfica máfica verde oscura, foliada, formada esencialmente por anfíboles (hornblendas) y plagioclasas de diferente composición.

2.2.1.2 Esquisto verde

Roca verde claro, formada esencialmente por minerales verdes como actinolita, clorita y epidota (Gómez, 2006).

2.2.1.3 Esquisto Azul

Roca metamórfica con esquistosidad y una tonalidad azulada debido a la presencia de anfíbol sódico (glaucofano, riebeckita, crossita). El tono "azul" raramente es azul en realidad (Gómez, 2006).

2.2.1.4 Eclogita

Roca máfica sin feldspatos compuesta fundamentalmente por onfacita (píroxeno sódico) y granate, ambos en proporciones importantes (Gómez, 2006).

2.2.1.5 Granulita

Roca metamórfica con una asociación mineral de alta temperatura dominada por minerales anhidros máficos. Es característico la presencia de ortopiroxeno, mientras que texturalmente se caracteriza por poseer un mosaico granoblástico poligonal, normalmente equidimensional aunque también hay diversidades con una cierta orientación preferente (Gómez, 2006).

2.2.2 Rocas Metamórficas Ultramáficas

Son rocas que derivan del metamorfismo de rocas ultramáficas (lerzolitas, harzburgitas, dunitas y otros tipos de rocas provenientes del manto). Durante el metamorfismo estas rocas pueden sufrir procesos de hidratación y carbonatación, dando lugar a serpentinitas (Torres et al., 2004).

2.3 Condiciones Metamórficas

La cristalización de minerales metamórficos depende, a la vez, de la composición global de la roca y de las condiciones de presión (P) y temperatura (T) que ha experimentado (Torres et al., 2004).

2.3.1 Presión, Temperatura y Grado

Se utilizan términos como “alta temperatura (HT)” o “baja presión (LP)” para dar un nombre a la roca y estos adicionan información sobre las condiciones de P-T del metamorfismo. Los términos empleados son calificativos relativos, es por eso que se utilizan rangos de temperaturas y presiones como se indica en (*Figura 2*). Así, las áreas metamórficas pueden ser subdivididas en zonas caracterizadas por un mineral particular o por una paragénesis bien definida. Los límites de zonas metamórficas representan un grado constante y por tanto se denominan *isogradas* (Torres et al., 2004).

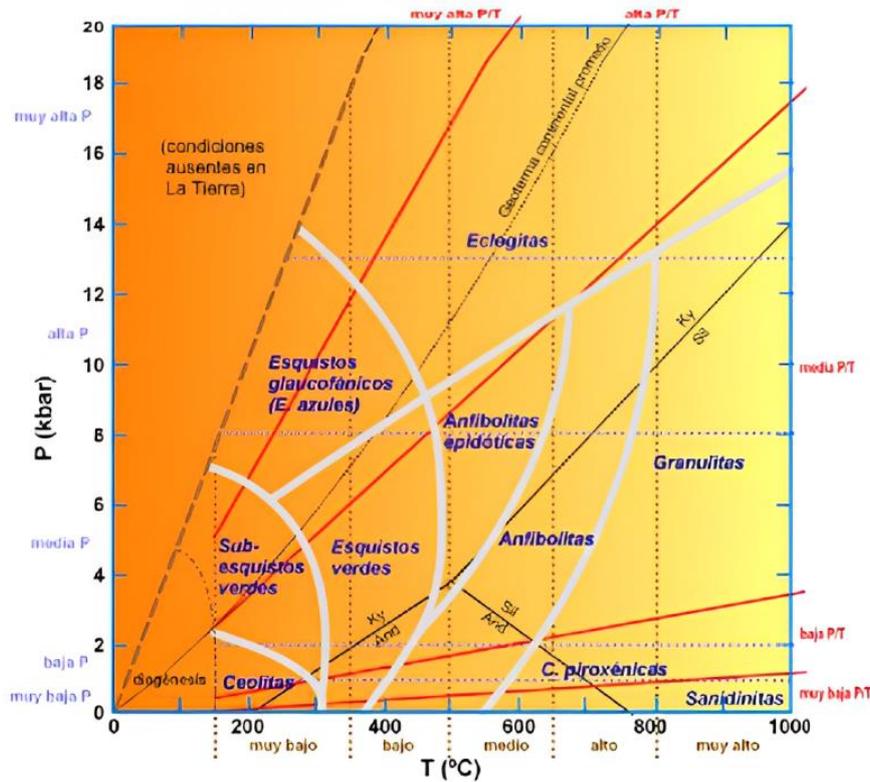


Figura 2. Esquema nomenclatura y distribución en el espacio P-T de las facies metamórficas más comunes (basado en Smulikowky et al., 2002 y Spear, 1993). Las bandas transicionales son los límites entre las distintas facies, que se determinaron fundamentalmente por cambios mineralógicos en las composiciones máficas. Se incluye como referencia los campos de estabilidad de los polimorfos de los silicatos de Al (Holdaway, 1971). De igual manera, se incluye la terminología recomendada por la SCMR para cualificar el grado metamórfico en función de la temperatura, presión y relación P/T. Tomado de (Torres et al., 2004).

2.3.2 Facies Metamórficas

Una facie metamórfica es un grupo de rocas caracterizadas por un conjunto definido de minerales que, bajo las condiciones de su formación, alcanzaron el equilibrio perfecto entre ellos. La composición mineral cualitativa y cuantitativa en las rocas de una facies dada varía gradualmente en correspondencia con las variaciones en la composición química de las rocas (Eskola, 1915). Las facies metamórficas corresponden de a regiones o subáreas donde el diagrama P-T puede ser definido por las paragénesis de cualquier tipo de roca. Las paragénesis de las metabasitas constituyen la base fundamental de la clasificación de las facies (Torres et al., 2004).

2.4 Protolito

Es una roca que representa su estado antes de sufrir efectos metamórficos.

2.5 Texturas de Rocas Metamórficas

Las texturas metamórficas son un complemento esencial al estudio de la paragénesis mineral, permitiendo definir las condiciones físicas de los fenómenos metamórficos, las texturas indican los procesos metamórficos y la historia del metamorfismo.

2.5.1 Textura granoblástica

Es la distribución equi- o inequigranular de los cristales con orientación al azar. Es la textura más típica de corneanas, granulitas, mármoles, cuarcitas y peridotitas metamórficas (Gómez, 2006).

2.5.2 Textura lepidoblástica

Los minerales planares (filosilicatos) presentan una orientación subparalela preferencial (Gómez, 2006).

2.5.3 Textura Nematoblástica

Los minerales prismáticos (anfíboles o piroxenos) presentan una orientación subparalela preferencial. Es una textura típica de las anfíbolitas (Gómez, 2006).

2.5.4 Textura Poiquiloblástica

Es una textura inequigranular el cual un cristal de mayor tamaño está entre otros minerales de menor tamaño. Esta textura puede manifestar diferencias de densidad, nucleación y velocidad de crecimiento o distintos momentos de cristalización (Gómez, 2006).

2.6 Rocas Máficas

Son rocas que presentan un alto contenido de magnesio, hierro y un contenido de SiO_2 entre 45 y 52%. La mayoría de los minerales máficos son de color oscuro y tienen una densidad relativa mayor a 3. Las rocas máficas son características de la corteza oceánica.

2.6.1 Gabro

Es una roca ígnea intrusiva compuesta principalmente de minerales de plagioclasas cálcicas y piroxenos en proporción similar.

2.6.2 Basalto

Es una roca ígnea extrusiva más común del planeta, está compuesta principalmente de minerales de plagioclasas cálcicas y piroxenos en proporción similar.

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA REGIONAL

3.1 Entorno geológico

Durante el Mesozoico temprano, la evolución del margen del noroeste de América del Sur se encuentra controlada por la actividad tectono-magmática de la zona de suprasubducción (Aspden et al., 1987; Jaillard et al., 1990). Durante los últimos 26 Ma, la subducción hacia el este de la placa de Nazca contribuyó a la formación del orógeno Andino (Pardo-Casas y Molnar, 1987; Jaillard et al., 1999).

En el SW de Ecuador, existen varios terrenos metamórficos con afinidad continental y oceánica que conforman parte del Complejo Metamórfico de El Oro (Aspden et al., 1995; Feininger, 1978). El Complejo Metamórfico está atravesado por varios sistemas de fallas dextrales con tendencia E-W, estas fallas subdividen el complejo en unidades más pequeñas (Bosch et al., 2002). Al norte del Complejo Raspas se encuentra la falla La Palma-El Guayabo y al sur la falla Zanjón-Naranjo (*Figura 1*; Aspden et al., 1995; Feininger, 1978).

Las rocas semipelíticas paleozoicas del Complejo Metamórfico El Oro corresponden a la división Tahuín asociado a un margen pasivo el cual se divide según el grado de metamorfismo, la Unidad de El Tigre al norte y la Unidad la Victoria al sur (Aspden et al., 1995). El complejo estructural semipelítico del Cámbrico Inferior (525 – 510 Ma, Suhr et al., 2018), incluye varios cuerpos de diferentes tipos de rocas, se encuentra limitado entre sistemas de fallas correspondiente a la división Melange Palenque. Las intrusiones Triásicas corresponden a los granitoides tipo I y tipo S del complejo Moromoro que se encuentran distribuidos al norte y al sur del Complejo Ofiolítico Raspas, mientras que el Complejo Máfico Piedras (Aspden et al., 1995) está conformada de rocas con afinidad geoquímica MORB (Gabriele, 2002) y comprende a las Unidades Arenillas al norte y Quebrada Plata al sur con edades de Ar/Ar $226 \pm 2,1$ Ma (Aspden et al., 1995), U-Pb 221 ± 17 Ma (Noble et al., 1997) y 223 ± 17 Ma (Cochrane et al., 2014); parte de la actividad intrusiva tuvo lugar durante el Triásico tardío asociado a un evento tectonotermal extensivo denominado Moromoro (Noble et al., (1997). El Complejo Ofiolítico Raspas se encuentra limitado entre los sistemas de fallas La Palma-El Guayabo al norte y Zanjón Naranjo al sur, los protolitos corresponden a litosfera oceánica de afinidad NMORB y montes submarinos (John et al., 2010) y comprende a las Unidades Río Panupali, el Toro y la Chilca (Aspden et al., 1995). Sin embargo, la Unidad Río Panupali está conformada por esquistos verdes con afinidad de basaltos de dorsal medio oceánica (MORB, por sus siglas en inglés Bosch

et al., 2002, Gabriele, 2002) y presenta edades de enfriamiento ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en hornblenda) de 226 Ma, interpretada como edad de emplazamiento tectónico (Gabriele, 2002), por lo que no correspondería a este complejo. La Unidad El Toro está conformada por metaperidotitas de facies eclogíticas con edades de enfriamiento de 123-129 Ma (Gabriele 2002), y Unidad La Chilca, está compuesta por eclogitas, granate-anfibolitas, esquistos azules y micaesquistos granate-cloritoides (Feininger, 1978, 1980; Gabriele, 2002).

3.2 Tectónica y Evolución regional

La historia geológica del Complejo Metamórfico El Oro tiene diversas interpretaciones. Suhr et al., (2018) indica que el Complejo Metamórfico El Oro tiene tres secuencias temporalmente distintas y que hay unidades autóctonas con procedencia similar a ciertas unidades que se encuentran en la Cordillera Real. Mourier et al., (1988) propone que para el Jurásico tardío- Cretácico Temprano el Complejo Metamórfico El Oro se acrecionó al margen andino. Aspden et al., 1995 lo interpretan como un melange tectónico formado de un prisma de acreción del Jurásico. Aspden et al., (1995) así mismo plantean que el emplazamiento de la unidad gabroica de Piedras en la zona de cizalla activa, suministró una fuente de calor para ocasionar la anatexis de la corteza y formación del granitoide tipo S de Marcabelí en condiciones de HT y LP. La mayor parte de la actividad Intrusiva (Plutón Marcabelí 221 ± 0.8 Ma, Complejo Máfico Piedras $221 \pm 18/16$ Ma y los granitoides Limón Playa 220 ± 30 Ma), tuvieron lugar durante un evento tectonotermal llamado Moromoro (Noble et al., 1997).

Bosch et al. (2002) propusieron para la evolución de las rocas metamórficas de HP del Complejo Metamórfico de Raspas, como el arrastre de sedimentos de origen continental acumulados en un prisma de acreción provocado por el avance de meseta oceánica hacia la subducción, posteriormente la meseta oceánica detuvo los procesos de subducción. Ya en trabajos más recientes como el de Silva et al., (2023) se consideró que los Andes tuvieron influencia de una meseta oceánica hace ~ 130 Ma que formó el cinturón de HP con una rápida exhumación

Riel et al., (2014) para el Triásico tardío- Paleoceno proponen 4 eventos importantes de deformación:

- El emplazamiento de la unidad gabroica de Piedras a nivel cortical hace ~ 230 Ma, provocó la fusión del antearco que se encontraba en régimen extensional con dirección E-W.

- El hundimiento tectónico de los esquistos azules (Unidad Arenillas-Panupali) hace ~226 Ma, que enfrió rápidamente el predecesor arco ecuatoriano. La subducción de la placa paleopacífica cambió de dirección ESE a NNE en el límite entre el Jurásico- Cretácico (145-140 Ma).
- La verticalización de la placa paleopacífica probablemente provocó la subdeposición del Complejo Ofiolítico Raspas (130-120 Ma). A finales del Cretácico Temprano (~110 Ma) la extensión paralela a la fosa ocasionó la apertura con tendencia NE-SW de la cuenca Celica-Lancones e inclinó al complejo metamórfico El Oro más de 90°.
- La inversión tectónica con dirección N-S se dio desde el Campaniano hasta el Maastrichtiano, posiblemente relacionado a la acreción de los terrenos oceánicos que se encuentran en Ecuador y Colombia.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA Y ALCANCE

A continuación, se precisa las actividades que se desarrollaron durante el trabajo de titulación:

4.1 Recopilación Bibliográfica

Se realizó un sumario de estudios, investigaciones, informes técnicos realizados sobre el Complejo Metamórfico El Oro, con la finalidad de situar en la sucesión geológica las unidades de interés que afloran en la zona de estudio. Las publicaciones científicas revisadas son principalmente petrográficas, geoquímicas, geocronología y de mapeo. Se incluyeron los resultados geoquímicos recopilados por Aspden et al., (1995) y Cochrane et al., (2014) de las Unidades de Arenillas, Río Panupali, Quebrada Plata, El Toro y serpentinitas sin nombre que fueron utilizadas para el análisis, comparación y la discusión del presente trabajo.

4.2 Muestreo

Se realizó una jornada de campo de 8 días para la descripción de afloramientos y el muestreo de las Unidades Arenillas, Quebrada Plata, Río Panupali y serpentinitas sin nombre. En general se recolectó 36 muestras de las cuales, se realizaron 24 secciones delgadas, de estas 9 corresponden a la zona norte, 1 corresponden a la zona central y 14 corresponden a la zona sur del Complejo Metamórfico El Oro. El análisis petrográfico

cuenta con la descripción de las propiedades ópticas de cada mineral, determinación porcentual, textural, deformación, alteración y meteorización; a partir esto se estimó un protolito. 18 muestras fueron seleccionadas para análisis geoquímicos de elementos mayores (BA-ORO-5, BA-ORO-15, BA-ORO-16, BA-ORO-2, BA-ORO-3, BA-ORO-33, BA-ORO-9, BA-ORO-11, BAT-23, BA-ORO-12, BA-ORO-14, BAT-25, BA-ORO-7, T3-3, T1.1, BAT-27, BAT-30, BA-ORO-36).

4.3 Descripción de muestra de mano y microscópica

Para el estudio petrográfico se llevó a cabo las descripciones macroscópicas con la ayuda de una lupa geológica y las descripciones de las láminas delgadas se realizaron utilizando un microscopio petrográfico. Esto con el objetivo de determinar la mineralogía, microestructuras y texturas presentes en las muestras. Se realizaron 24 láminas delgadas en el laboratorio de Láminas Delgadas, y la descripción petrográfica se realizó en el laboratorio de Geoquímica y Preparación de muestras, ambos del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional.

4.4 Geoquímica de roca total de elementos mayores

4.4.1 Preparación de Muestras

Las muestras se cortaron en el laboratorio de láminas delgadas del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional, empleando un cortador de disco de diamante. La preparación de las muestras para geoquímica de roca total se basó en los siguientes pasos:

1. Se utilizó un fragmento de roca de aproximadamente 6 cm de largo, 4 cm de ancho y 1 cm de grosor.
2. El fragmento se lo lava para evitar contaminación y se lo coloca en un platillo de vidrio y posterior se lo lleva al horno del laboratorio para su correcto secado.
3. El fragmento es colocado en una funda limpia y nueva con la finalidad de triturarla con el combo hasta obtener fragmentos con dimensiones menores a 1 cm.
4. Finalmente, todos estos fragmentos se los coloca en el molino de discos de carburo de tungsteno previamente lavado y secado, obteniendo así un polvo con tamaños de micras para así proceder con el análisis geoquímico.

Los fragmentos se trituraron en el laboratorio de Geoquímica y Preparación de muestras del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional (*Anexo 1*).

5 muestras (BA-ORO-15, BA-ORO-33, BA-ORO-14, T1.1, BA-ORO-36) se analizaron en el Departamento de Metalúrgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional, y 13 muestras (BA-ORO-5, BA-ORO-16, BA-ORO-2, BA-ORO-3, BA-ORO-9, BA-ORO-11, BAT-23, BA-ORO-12, BAT-25, BA-ORO-7, T3-3, BAT-27, BAT-30) se analizaron en la Universidad de Alicante en España.

4.4.2 Determinación de elementos mayores por Fluorescencia de Rayos X (XRF)

El análisis químico de las muestras enviadas al Departamento de Metalúrgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional, se determinó en el equipo de Fluorescencia de Rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss, y fueron analizadas mediante pastilla prensada, por lo cual los resultados son semi-cuantitativos. Por otro lado, el análisis químico de las muestras enviadas a la universidad de Alicante en España, se determinó en el espectrómetro secuencial de rayos X (PHILIPS MAGIX PRO) equipado con tubo de rodio y ventana de berilio. El PW2400 es un espectrómetro secuencial con una canal de medida gobernado por un goniómetro, que cubre la totalidad del rango de medida del instrumento. Los diferentes componentes del aparato son controlados por microprocesador, proporcionándole así una gran flexibilidad. El conjunto del sistema es controlado por un ordenador externo, en el que se ejecuta un paquete de software analítico. Los análisis se realizaron mediante el perlado de las muestras.

4.5 Análisis e interpretación de resultados

A partir de los datos generados por las descripciones petrográficas y geoquímicas de las muestras, se estableció la asociación mineral y facies metamórficas correspondientes para las Unidades Arenillas, Río Panupali y Quebrada Plata. Además, se tomaron datos geoquímicos previamente publicados con la finalidad de correlacionar con los datos de este estudio.

La pseudosección es un diagrama de fase que muestra los campos de estabilidad para diferentes conjuntos minerales en equilibrio, calculado para una sola composición de roca total (Hirsch et al., 2016). Se contempló el modelado termodinámico isoquímico (Pseudosección) utilizando el paquete de programas informáticos Perple_X (Connolly, 1990, 2023; versión 7.1.4). Se consideró el contenido de 5% Fe⁺³ del hierro total, este valor permite establecer el conjunto mineral observado dentro de la ventana P-T de interés. Los modelos de valoración de sólidos utilizados para anfíbol, piroxeno, epidota, espinela, plagioclasa, granate y clorita son los de Diener et al. (2007), Green et al. (2007), Holland y

Powell (2011), White et al. (2000), White et al. (2002), Fuhrman y Lindsley (1988), Holland y Powell (1998), White et al. (2014) y White et al. (2017), respectivamente.

Los diagramas de composición ACF y AMF (triangulares) se construyeron tras la proyección de la composición química a partir de fases y vectores de intercambio utilizando el software CSpace (Torres-Roldán et al., 2000). El software CSpace utiliza el método algebraico "Singular Value Decomposition" (SVD; Fisher, 1989; 1993) que permite proyectar desde un espacio de composición hacia un sistema de 3 o 4 componentes en un diagrama triangular o tetraédrico.

4.6 Redacción y preparación del informe final

Con toda la información obtenida a partir de la descripción y análisis de muestras, los resultados son presentados en los capítulos siguientes como descripciones, tablas, fotografías, gráficas y mapas geológicos.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 Petrografía, características mineralógicas y texturales de las anfibolitas de la zona norte, central y sur del Complejo Metamórfico El Oro.

El presente capítulo incluye la descripción petrográfica de muestras de roca recolectadas, el cual incorpora una descripción macroscópica y microscópica. Se llevó a cabo la caracterización petrográfica de 36 muestras de mano, de las cuales se realizaron 24 láminas delgadas, 9 muestras son del norte de la Falla La Palma-El Guayabo, 1 de la zona central que se encuentra limitada entre las fallas La Palma-El Guayabo y Zanjón Naranja y 14 corresponden al sur de la Falla Zanjón Naranja (*Figura 1, Tabla 1*).

5.1.1 Anfibolitas al Norte de la falla La Palma-El Guayabo.

Según Aspden et al. (1995), la Unidad Arenillas se encuentra ubicado en la zona norte y consiste en una serie de astillas con forma de lentes, con límites tectónicos que ahora la intercala con la Unidad Limón Playa, lo que sugiere que las anfibolitas de Arenillas posiblemente fueron intruidas por la Unidad Limón Playa. La Unidad Arenillas contiene minerales como hornblenda y plagioclasa junto con pequeñas cantidades de circón, cuarzo, epidota y clinopiroxeno relicto.

En la vía Zaracay-La Avanzada frente a la gasolinera PetroEcuador se identificó lentes correspondientes a harzburgitas serpentinizadas de grano finogranular.

5.1.1.1 Unidad Arenillas

Relaciones de Campo

Los afloramientos de las anfibolitas de la zona norte del Complejo Metamórfico El Oro correspondiente a la Unidad Arenillas son rocas macizas con afloramientos métricos, se encuentran parcialmente meteorizados, esta unidad está intruida por diques de aproximadamente 20 cm de espesor de plagioclasa fresca y meteorizada con foliación (*Figura 3.A*).

La litología de las rocas tomadas cerca del pueblo de Arenillas corresponde a anfibolitas con cierto grado de deformación y meteorización, en donde el tamaño de grano varía de grueso a fino.

En la vía Arenillas- Santa Rosa, el tamaño de los granos de las anfibolitas son de medio a grueso, en general el afloramiento presenta cierto grado de deformación (plegamiento) (*Figura 3.B*) y se encuentra meteorizado.

Descripción de muestra de mano

Las rocas son grises claras a oscuras con ciertas variaciones de tonalidades a verdes y café debido a procesos de meteorización. La textura es nematoblástica, holocristalina, presentando cristales con tamaños de aproximadamente 3 mm; en general todas las muestras presentan una esquistosidad y foliación bien definida, en ciertas muestras se evidencian venas y deformación (plegamiento).

Presentan una asociación de: hornblenda, plagioclasa, opacos además de clorita.

Descripción Microscópica

Las rocas de la Unidad Arenillas presentan una textura general nematoblástica finogranular, manteniendo su estructura esquistosa en sección delgada, con venas, deformación y/o plegamiento; tiene cristales idioblásticos a subidioblásticos de tamaños aproximados a 2 mm, siendo los cristales de hornblenda y plagioclasa los de mayor tamaño, apreciable en la muestra BAT-03 (*Figura 3.C*), la composición modal estimada de hornblenda de color marrón (45%), plagioclasa (37%), clinopiroxeno (9%), ortopiroxeno (4%), clorita (<2%), titanita (<1%), circones (<1%) y opacos (<1%). Estas rocas

corresponden a anfibolitas en facies de anfibolitas con protolito máfico, que de acuerdo con el tamaño de grano podría ser gabro.

La hornblenda es de un color marrón pleocróico, con altos colores de interferencia cafés, verdes, magentas y naranjas, además de encontrar plagioclasas dentro de estos minerales representando una textura poikiloblástica. Por otro lado, la plagioclasa fresca, tiene colores blancos-amarillos de primer orden, se encuentra maclada (polisintética) observando ángulos de extinción entre 35° a 55° que correspondería a andesina y labradorita.

Los piroxenos subidioblásticos son relictos ígneos (*Figura 3.D*), se reconocen por su clivaje paralelo y en los bordes de estos se observa una recristalización a hornblenda.

La clorita aparece como producto de la alteración de los piroxenos (p.e. muestra BA-ORO-16) reconocida por su pleocroísmo verdoso y por su color azul anómalo (*Figura 3.E*).

Las titanitas y los opacos han cristalizado entre y/o dentro de los demás minerales.

La muestra (p.e. BA-ORO-2) presenta cristales subidioblásticos de circones, reconocidos por su forma y relieve.

5.1.1.2 Serpentinita

Relaciones de Campo

Corresponde a un afloramiento aislado de rocas máficas serpentinizadas en la vía Zaracay-La Avanzada, frente a la gasolinera PetroEcuador.

Descripción de muestra de mano

Las rocas son de tonalidades oscuras verdosas. La textura decusada finogranular, holocristalina, presentando cristales de tamaño aproximado <0.5 mm, su estructura es masiva (no presenta disposición mineral) (p.e. BA-ORO-33).

Presentan una asociación de: serpentina y ferromagnesianos (piroxeno, olivino y anfíbol).

Descripción Microscópica

Estas rocas grises presentan una textura decusada, finogranular, manteniendo su estructura masiva en sección delgada, observando cristales subidioblásticos a xenoblásticos de tamaños menores a <0.5 mm, salvo los cristales de serpentina. La composición modal estimada es serpentina (49%), olivino (25%), tremolita (12%), clinopiroxeno (7%), opacos (6%) y ortopiroxeno (1%). Estas rocas corresponden a peridotitas serpentinizadas.

La serpentina es subidioblástica fibrosa, con colores pleocróicos grises claros a oscuros, además de encontrar opacos dentro de estos minerales. La mayoría de porfiroblastos de olivino están transformados en agregados de serpentina; estos relictos se reconocen por su clivaje, relieve y colores de interferencia (*Figura 3.F*); los cristales subidioblásticos prismáticos de tremolita son poco fibrosos se reconocen por su clivaje y colores de interferencia. Finalmente, los piroxenos relictos se reconocen por su clivaje paralelo y colores de interferencia, están cortados y/o rodeados por los cristales de serpentina (*Figura 3.G*).

La muestra presenta microplegamiento que afecta a los cristales de serpentina y ciertos cristales de olivinos que siguen la dirección de la deformación (*Figura 3.H*).

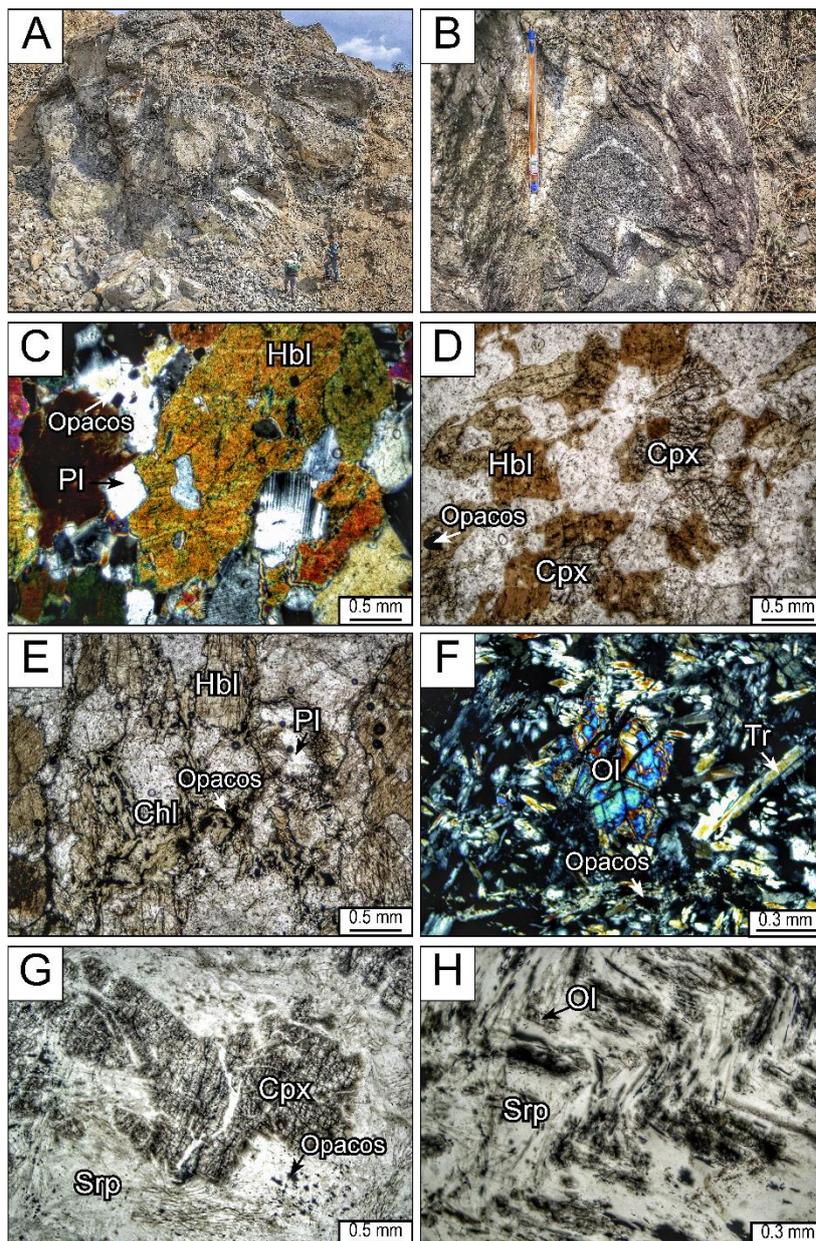


Figura 3. Fotografías representativas de las muestras de campo recolectadas de la Unidad Arenillas en la vía Arenillas-Santa Rosa (A (afloramiento de la unidad Arenillas), B(deformación)), con sus correspondientes secciones delgadas (C, D, E); mostrando su respectiva mineralogía. Las secciones (F, G, H) pertenecen a las peridotitas serpentinizadas que se encuentra en la vía Zaracay-La Avanzada frente a la gasolinera PetroEcuador. Hbl-Hornblenda, Pl-Plagioclasa, Cpx-Clinopiroxeno, Ol-Olivino, Tr-Tremolita, Srp-Serpentina, Chl-clorita (Abreviaciones de Whitney & Evans, 2010).

5.1.2 Zona central entre las Fallas La Palma-El Guayabo y Zanjón

Naranjo.

Según Aspden et al. (1995), la Unidad Río Panupali forma la envoltura externa del Complejo Ofiolítico Raspas, y está formado por esquistos verdes de color verde pálido a oscuro, foliados a masivos, compuesto por actinolita, albita, cuarzo, clorita, epidota ± granate ± glaucofano ± esfena ± calcita y ± opacos. Gabriele (2002), la asocia con la Unidad Arenillas.

La litología de las rocas tomadas en la vía Zaracay-Torata corresponden a esquistos verdes de color verde pálido a oscuro con meteorización.

5.1.2.1 Unidad Río Panupali

Relaciones de Campo

Los afloramientos de la Unidad Río Panupali se observan cerca de la vía Zaracay-Torata, presentan meteorización, se encuentran cortadas por venas de plagioclasa fresca y cuarzo de aproximadamente 1 cm.

Descripción de muestra de mano

Las rocas son verdes claros a oscuras, la textura es esquistosa finogranular, presentando cristales de tamaño menor a 0.6 mm, su estructura es foliada y presenta deformación.

Presentan una asociación de: actinolita, cuarzo y epidota.

Descripción Microscópica

La muestra de la Unidad Río Panupali presenta textura nematoblástica finogranular, estructura foliada con microcristales subidioblásticos de tamaño aproximado menor a 0.8 mm, la composición modal estimada es actinolita (38%), zoisita (19%), epidota (16%), circones (<1%), biotita (<1%), rutilo (<1%) y cuarzo secundario (24%). Estas rocas corresponden a esquistos verdes en facies de esquistos verdes con protolito máfico que de acuerdo con el tamaño de grano podría pertenecer a un basalto.

La actinolita se encuentra en contacto con todos los otros minerales. El cuarzo secundario con extinción ondulatoria se encuentra entre y cortando ciertos cristales de actinolitas, zoisitas y epidotas. La zoisita se reconoce por sus colores de interferencia anómalos, mientras que a los circones se los reconoce por su relieve y forma.

La biotita y rutilo han cristalizado entre y/o dentro de los demás minerales (*Figura 4.A y B*).

La muestra BA-ORO-34 presenta cristales subidioblásticos de titanita reconocidos por su forma y relieve.

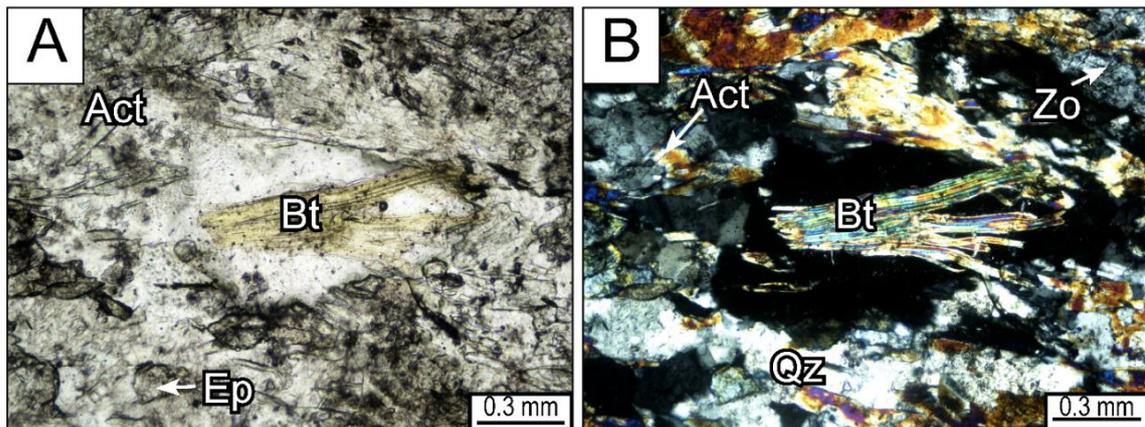


Figura 4. Sección delgada de la Unidad Río Panupali, esquistos verdes. A. Luz polarizada plana. B. Nícoles Cruzados. Act-Actinolita, Bt-Biotita, Ep-Epidota, Zo-Zoisita, Qz-Cuarzo. (Abreviaciones de Whitney & Evans, 2010).

5.1.3 Sur de la Falla Zanjón Naranjo.

Según Aspden et al. (1995), el Complejo Ofiolítico Piedras debe su nombre a la zona que rodea el pequeño asentamiento de Piedras, las rocas pertenecientes a este complejo intrusivo se han asignado a la Unidad Quebrada Plata.

Litológicamente la Unidad Quebrada Plata consiste de metabasitas saussuritizadas, variablemente texturadas, masivas a gneísicas, de grano fino a grueso, generalmente máficos, consistentes en hornblenda y/o actinolita, plagioclasa (oligoclasa- andesina), epidota y cantidades menores de cuarzo, opacos, esfena, rutilo y clinozoisita.

En el oeste (Frontera con Perú) y a lo largo de la zona de falla Zanjón-Naranjo, la unidad incluye algunos esquistos verdes y lentes de serpentinita mientras que en el Sur a lo largo del contacto con la Unidad la Bocana y cerca de la localidad de Piedras las anfibolitas pegmatíticas son comunes.

5.1.3.1 Unidad Quebrada Plata

Relaciones de Campo

Se muestreó la Unidad Quebrada Plata en los tramos central, occidental y oriental de la unidad. Hacia el W de dicha unidad a lo largo de la frontera con Perú, hacía Carcabón en la vía a Chacras, los afloramientos están meteorizados (*Figura 5.A*), son rocas verdes deleznable con una foliación preferencial, en esta formación se pueden encontrar diques de plagioclasa alterada a arcilla que cortan y/o siguen la dirección de la foliación, con espesor aproximado de 6 cm.

Mientras que, en la vía hacia Palmares Nuevo, los afloramientos corresponden a anfibolitas, están parcialmente meteorizados y se encuentran en contacto con lentes de serpentinitas (*Figura 5.B*) que proceden de rocas ultramáficas ricas en olivino (p.e. BAT-25).

En cambio, hacia el E, en la vía Zaracay-Piñas y Portovelo los afloramientos de anfibolitas presentan cristales centimétricos bien desarrollados, se puede observar filones de plagioclasa y cuarzo que siguen la dirección de la deformación.

5.1.3.1.1 Anfibolitas en facies de esquistos verdes.

Estas rocas afloran hacia el W cerca de la frontera con Perú hacía Carcabón en la vía a Chacras, son afloramientos meteorizados de aproximadamente 10 m. Otras ocurrencias se identificaron al sur de la parroquia Piedras hacia la vía Tahuín, en la vía Zaracay-Piedras (cerca del centro de vida silvestre), en la vía Zaracay-Piñas y en la vía Piñas-Portovelo.

Descripción de muestra de mano

Al Sur de la parroquia de rural de Piedras las rocas presentan una variabilidad de tamaño de grano, van desde rocas esquistosas finogranular (p.e. T3.1) hasta rocas con tamaño de granos de hasta 2 mm (p.e. T3.2 y T3.3) a excepción de ciertas muestras (p.e. BA-ORO-36) que los cristales centimétricos (pegmatítico).

Las rocas son de tonalidades verdes claras a oscuras. La textura es esquistosa finogranular, holocristalina, presentando cristales microcristalinos, su estructura es foliada.

Presentan una asociación de: actinolita, plagioclasa, epidota, clorita y minerales accesorios como el cuarzo. Las arcillas secundarias presentes son producto de la alteración de las plagioclasas.

Otras ocurrencias se reconocieron en la frontera con Perú, donde pertenecen rocas de color verdoso-naranja por meteorización con venas de plagioclasa transformándose a arcilla secundaria, con espesor aproximado de 1 cm. Estas rocas son deleznales, holocristalinas, microcristalinas y con textura nematoblástica (p.e BA-ORO-9 y BA-ORO-11).

Presentan una asociación de: actinolita, epidota, clorita, plagioclasa y minerales accesorios como el cuarzo. Las arcillas secundarias presentes son producto de alteración de las plagioclasas.

Descripción Microscópica

Las rocas de la Unidad Quebrada Plata presentan textura general nematoblástica finogranular, mantenido su estructura esquistosa/fofiada en sección delgada con deformación y/o microplegamiento (p.e. BAT-23), observando microcristales subidioblásticos de tamaño aproximado menor a 0.3 mm, siendo los cristales de anfíbol y plagioclasa los de mayor tamaño (*Figura 5.C*), la composición modal estimada es actinolita (45%), plagioclasa (22%), epidota (20%), clorita (11%), rutilo (<1%) y cuarzo (<1%). Estas rocas pertenecen a anfibolitas en facies de esquisto verde con protolito máfico, que de acuerdo con el tamaño de grano podría ser basalto.

Las plagioclasas presentan un aspecto “sucio” y se encuentran como inclusiones en las actinolitas representando una textura poikiloblásticas, con una composición posiblemente de andesina, las plagioclasas más frescas presentan procesos de saussuritización en los bordes y a lo largo de la misma, transformándose a epidota.

La epidota ha recristalizado entre y en los cristales de actinolita, plagioclasa y clorita.

La muestra (p.e. BA-ORO-11) tiene cuarzo y clorita. Las venas de cuarzo con extinción ondulatoria cortan los cristales de actinolita, epidota, clorita, y presentan un tamaño aproximado de 0.4 mm.

Localmente, hay muestras ricas en epidota (p.e. BA-ORO-12), la cual es una roca verde maciza, en sección delgada tiene una composición modal estimada de epidota (80%), actinolita (9%) y opacos (<1%). Esta roca pertenece a un esquisto verde donde el protolito máfico que de acuerdo con el tamaño de grano podría corresponder a basalto.

5.1.3.1.2 Anfibolitas en facies de anfibolita

Estas rocas afloran en la vía Arenillas-San Francisco E25, cerca de Palmares Nuevo. El afloramiento es métrico de aproximadamente 150 m de ancho por 20 m de alto, en la vía Zaracay-Piñas y Piñas-Portovelo.

Descripción de muestra de mano

Las rocas son grises oscuros con ciertas variaciones de tonalidades a verdes y café debido a procesos de meteorización. La textura es nematoblástica, holocristalina, presentando cristales con tamaños aproximados a 2 mm o mayores; En general todas las muestras presentan una esquistosidad, foliación bien definida, y deformación (plegamiento) (p.e. BA-ORO-7).

Presentan una asociación de: hornblenda, plagioclasa, epidota y opacos.

Descripción Microscópica

Estas rocas presentan una textura general nematoblástica, manteniendo su estructura esquistosa en sección delgada y con venas. Se observan cristales idioblásticos a subidioblásticos de tamaños aproximados a 2.8 mm, siendo los cristales de anfíbol y plagioclasa los de mayor tamaño, apreciable en la muestra (*Figura 5.F*), la composición modal estimada de hornblenda (40%), plagioclasa (40%), actinolita (8%), epidota (7%), zoisita (2%), titanita (<2%) y opacos (<1%).

Estas rocas corresponden a anfibolitas en facies de anfibolitas donde el protolito máfico que de acuerdo con el tamaño de grano podría ser un gabro.

La hornblenda se encuentra en contacto con los demás minerales (*Figura 5.G*). Las plagioclasas presentan un aspecto “sucio” y ocasionalmente se encuentran como inclusiones en los anfíboles representando una textura poikiloblásticas, con una composición posiblemente de labradorita en base a su ángulo de extinción (*Figura 5.F*).

La epidota, zoisita y actinolita han recristalizado entre y en los bordes de los cristales de hornblenda y plagioclasa, evidenciando una cristalización tardía o secundaria.

Las titanitas y los opacos han cristalizado entre y/o dentro de los demás minerales.

5.1.3.1.3 Serpentinitas

Estas rocas afloran como escamas tectónicas cerca de la frontera con Perú en la vía hacia Palmare Nuevo, y se encuentran en contacto con afloramientos de anfibolitas en facies de esquisto verde.

Descripción de muestra de mano

La roca maciza es de tonalidad verde clara, finogranular, holocristalina, con foliación y plegamiento.

Presentan una asociación de: serpentina y minerales ferromagnesianos como anfíbol, piroxenos y olivino.

Descripción Microscópica

La roca es de tonalidad verde clara, finogranular, manteniendo su foliación en sección delgada, observando cristales subidioblásticos a xenoblásticos de tamaños menores a 0.09 mm, salvo los cristales de serpentina y tremolita que tienen tamaños de hasta 1.2 mm. La composición modal estimada es serpentina (77%), tremolita (13%), olivino (8%), ortopiroxeno (<1%) y titanita (<1). Corresponde a peridotitas serpentinizadas.

La serpentina es subidioblástica fibrosa, con colores pleocróicos grises claros a oscuros y en ocasiones puede ser incolora. Los cristales idioblásticos prismáticos de tremolita casi fibrosos se reconocen por clivaje y colores de interferencia; la mayoría de porfiroblastos de olivino están transformados en agregados de serpentina (*Figura 5.E*); finalmente los ortopiroxenos relictos están cortados y/o rodeados por los cristales de serpentina.

La muestra presenta microplegamiento que afecta a los cristales de serpentina, olivino, tremolita y ortopiroxeno, y siguen la dirección de la deformación (*Figura 5.D*).

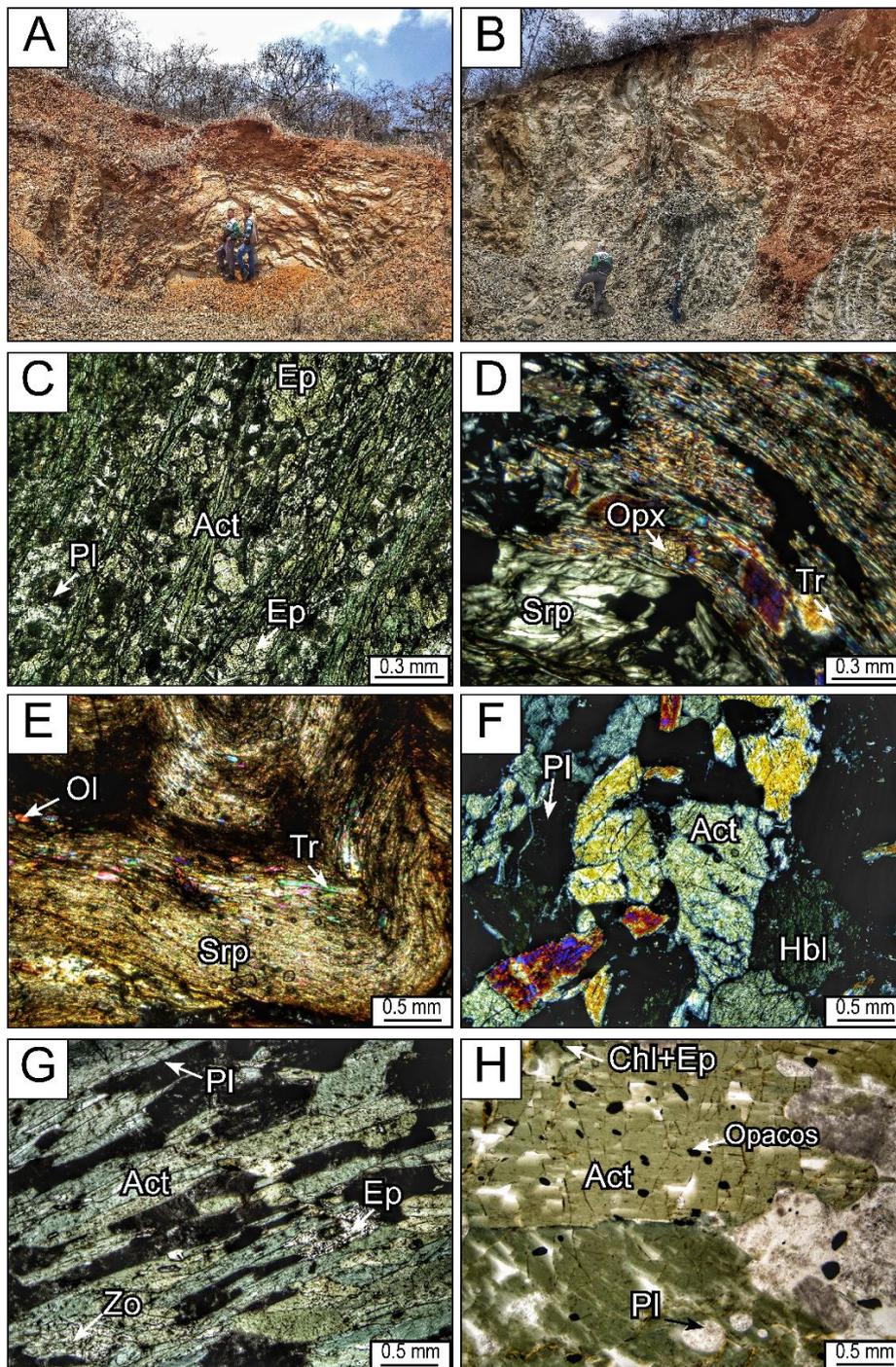


Figura 5. Fotografías representativas de las muestras de campo recolectadas de la Unidad Quebrada Plata (A: afloramiento meteorizado (en la vía Carcabón-Chacras/Frontera con Perú), (B: afloramiento parcialmente meteorizado; contacto entre anfibolitas y serpentinitas (en la vía hacia Palmales Nuevo) y sus correspondientes secciones delgadas (C, D, E, F, H); mostrando su respectiva mineralogía. Las secciones (D, E) pertenecen a las serpentinitas. (C) pertenece a los esquistos verdes de la Unidad Quebrada Plata; (F, G, H) pertenecen a las anfibolitas de la Unidad Quebrada Plata. Hbl-Hornblenda, Act-Actinolita, Pl-Plagioclasa, Opx-Ortopiroxeno, Ol-Olivino, Ep-Epidota, Zo-Zoisita, Tr-Tremolita, Srp-Serpentina, Chl-clorita (Abreviaciones de Whitney & Evans, 2010).

Tabla 1. Ficha explicativa general de las muestras tomadas para el trabajo de investigación.

Código de Muestra	UTM			Estructura	Textura	FICHA GENERAL										Nombre de la Roca	Observaciones		
	X	Y	Z			Minerales Principales (%)												Minerales accesorios (%)	Mineral secundario (%)
						Hbl	Act/Trm	Pl	Chl	Ep	Srp	Oi	Px	Opr	Qz				
BA-ORO-5	0604635	9607040	38	Esquistosidad, foliación, vetas, diques y plegamiento.	Nematoblástica.	45		39					15	1				Anfibolita.	Cristales con tamaños < 2mm.
BAT-03	0604659	9607056	31	Esquistosidad, foliación y vetas	Nematoblástica.	50		49						1				Anfibolita.	Cristales con tamaños < 3mm.
BAT-04	0607374	9606895	63	Esquistosidad, foliación y vetas	Nematoblástica.	40		41					18	1				Anfibolita.	Cristales con tamaños < 4mm.
BA-ORO-15	0607379	9606866	68	Esquistosidad, foliación y deformación.	Nematoblástica.	43		37					19	1				Anfibolita.	Cristales con tamaños < 1mm.
BA-ORO-16	0607379	9606866	68	Esquistosidad, foliación y deformación.	Nematoblástica.	45		43	10					2				Anfibolita.	Cristales con tamaños < 6mm.
BA-ORO-2	0606979	9606435	15	Esquistosidad, foliación, vetas, diques y plegamiento.	Nematoblástica.	50		41					9					Anfibolita.	Cristales con tamaños < 1mm.
BA-ORO-3	0606979	9606435	15	Esquistosidad, foliación, vetas, diques y plegamiento.	Nematoblástica.	48		39	9				2	1	1			Anfibolita.	Cristales con tamaños < 5mm.
BA-ORO-4	0606979	9606435	15	Esquistosidad, foliación, vetas, diques y plegamiento.	Nematoblástica.	47		44	6				1	1	1			Anfibolita.	Cristales con tamaños < 1mm.
BA-ORO-32	0618310	9604095	154	Maciza			2						53	33	4	8		Peridotita serpentinizada.	Mircocristalino
BA-ORO-33	0618310	9604095	154	Maciza			12						49	25	8	6		Peridotita serpentinizada.	Mircocristalino
BA-ORO-34	0625220	9598746	270	Foliación, deformación y vetas.	Nematoblástica.	40				36							24	Esquisto Verde.	Cristales con tamaños < 1mm.
BA-ORO-35	0625220	9598746	270	Foliación, deformación y vetas.	Nematoblástica.	35				35							30	Esquisto Verde.	Meteorizado
BA-ORO-8	0590620	9597159	66	Foliación.	Nematoblástica.	66	20	3	10					1				Roca Verde a Esquisto Verde.	Meteorizado
BA-ORO-9	0590620	9597159	66	Foliación.	Nematoblástica.	66	20	3	10					1				Roca Verde a Esquisto Verde.	Meteorizado
BA-ORO-10	0590620	9597159	66	Foliación.	Nematoblástica.	68	17	4	9					2				Roca Verde a Esquisto Verde.	Mircocristalino
BA-ORO-11	0590499	9597127	55	Altamente fracturado y diques.	Nematoblástica.	48	10	10	29					3				Roca Verde.	Cristales con tamaños < 0.8mm.
BAT-23	0590516	9596805	28	Foliación.	Nematoblástica.	45	40	15										Esquisto Verde.	Mircocristalino
BA-ORO-12	0590509	9596802	56	Esquistosidad y vetas	Nematoblástica.	50		25	25									Esquisto Verde.	Cristales con tamaños < 1mm.
BA-ORO-13	0590509	9596802	56	Esquistosidad y vetas	Nematoblástica.	50		25	25									Esquisto Verde.	Cristales con tamaños < 1mm.
BA-ORO-14	0595840	9595382	68	Esquistosidad, foliación, vetas, falla y deformación.	Nematoblástica.	57	30	2	8					1	2			Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 1cm.
BAT-25	0595846	9595378	99	Foliación y plegamiento		13				77	9	1						Peridotita serpentinizada.	Mircocristalino
BA-ORO-6	0600279	9596608	147	Esquistosidad, foliación, vetas, diques y plegamiento.	Nematoblástica.	40	6	40	13					1				Anfibolita	Cristales con tamaños < 2mm.
BA-ORO-7	0600279	9596608	147	Esquistosidad, foliación, vetas, diques y plegamiento.	Nematoblástica.	40	9	40	10					1				Anfibolita	Cristales con tamaños < 5mm.
BAT-07	0620342	9597351	110	Esquistosidad, foliación, vetas	Nematoblástica.	10	39	40	10					1				Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 1mm.
T3.1	0620340	9597339	135	Esquistosidad con vetas de Pl, plegamiento	Nematoblástica.	50	40	10										Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 3mm y meteorizado.
T3.2	0620340	9597339	135	Esquistosidad con vetas	Nematoblástica.	50	42	8										Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 2mm.
T3.3	0620340	9597339	135	Esquistosidad con vetas	Nematoblástica.	50	44	6										Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 3mm
T1.1	0624682	9596616	85	Esquistosidad.	Nematoblástica.	45	43	12										Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 3mm
T2.2.1	0624682	9596616	85	Esquistosidad.	Nematoblástica.	48	40	12										Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 2.5mm.
BAT-27	0626331	9596329	150	Esquistosidad con vetas	Nematoblástica.	47	37	15						1				Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 1.5mm
BAT-30	0629940	9596340	159	Esquistosidad con vetas	Nematoblástica.	44	40	15						1				Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 1.3mm
BA-ORO-17	0639668	9595954	971	Foliación, fracturas	Nematoblástica.	50	33	6	10					1				Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 3mm y meteorizado.
BA-ORO-19	0639668	9595954	965	Foliación, fracturas	Nematoblástica.	47	38	5	8					2				Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 3mm y parcialmente meteorizado.
BA-ORO-20	0639668	9595954	965	Foliación, fracturas	Nematoblástica.	49	39	4	7					1				Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 3mm y parcialmente meteorizado
BA-ORO-21	0639145	9595839	944	Foliación, fracturas	Nematoblástica.	45	45	3	6					1				Anfibolita en facies de esquito verde	Cristales con tamaños < 4mm.
BA-ORO-36	0651728	9588185	606	Foliación, fracturas.	Nematoblástica.	50	41	5	2					2				Anfibolita.	Cristales con tamaños < 4mm.

5.2 Geoquímica

La geoquímica es la ciencia que emplea herramientas de la química para solventar problemas geológicos. Estudia el origen, la distribución y evolución de los elementos químicos que se ubican en la Tierra, relacionando su comportamiento con las propiedades atómicas. Por esa razón en el presente trabajo se empleó la geoquímica con la finalidad de conocer la composición de las muestras recolectadas en campo en función de los elementos mayores.

Se efectuaron 18 análisis geoquímicos de elementos mayores mediante Fluorescencia de Rayos X (XTF), de los cuales 6 corresponden a rocas de la zona norte y 12 a rocas de la zona sur del Complejo Metamórfico El Oro; así mismo, se incorporaron 40 datos geoquímicos (Aspden et al., 1995; Cochrane et al., 2014) que permitirán la correlación y constreñir las incertidumbres que existen en las unidades del presente trabajo.

Tabla 2. *Tabla de análisis químicos (Elementos mayores wt. % y elementos traza ppm) de las Unidades Arenillas, Río Panupali, Quebrada Plata y serpentinitas (BA-ORO-33 y BAT-25 de la zona Norte y Sur, respectivamente).*

	Código de la Muestra								
	T1.1	BA-ORO-14	BA-ORO-15	BA-ORO-33	BA-ORO-36	BAT-23	BA-ORO-16	BAT-25	BA-ORO-12
Longitud	624682	595840	607379	618310	651728	590516	607379	595846	590509
Latitud	9596616	9595382	9606866	9604095	9588185	9596805	9606866	9595378	9596802
SiO ₂	43.94	46.42	45.08	41.12	42.89	49.20	53.91	48.78	46.21
CaO	10.59	10.12	12.65	2.76	8.79	11.17	12.45	11.24	20.71
FeO	8.66	5.20	7.83	7.20	10.10	8.26	7.14	7.22	9.03
Al ₂ O ₃	10.68	10.60	12.85	3.44	11.09	15.72	13.06	5.31	15.34
MgO	9.12	10.40	7.18	35.90	9.73	8.09	8.84	24.38	4.15
Na ₂ O	2.32	2.70	1.97		2.59	4.11	2.31		1.28
TiO ₂	1.00	0.35	0.93	0.08	1.25	1.60	1.09	0.17	1.67
MnO	0.17	0.10	0.13	0.10	0.17	0.17	0.15	0.08	0.18
SO ₃	0.15	0.05	0.05	0.50	0.17			1.44	
P ₂ O ₅	0.11	0.05	0.09		0.09				0.12
K ₂ O	0.05	0.12	0.29	0.02	0.24	0.63	0.17	0.08	0.10
LOI						3.16	1.11	5.16	1.93
V	300	200			300				
Cr	300	300	400	2700	300	391	470	1170	729
Ni	100	200	100	1800	200	458	333	1580	390
Sr	100	100	100		100	201	274		272

	Código de la Muestra								
	BAT-27	BA-ORO-9	T3-3	BAT-30	BA-ORO-11	BA-ORO-5	BA-ORO-7	BA-ORO-3	BA-ORO-2
Longitud	626331	590620	620340	629940	590499	604635	600279	606979	606979
Latitud	9596329	9597159	9597339	9596340	9597127	9607040	9596608	9606435	9606435
SiO ₂	50.49	49.42	48.13	49.20	48.13	46.64	49.42	49.20	47.92
CaO	12.03	15.53	13.68	12.16	14.97	16.23	12.30	11.60	14.55
FeO	9.38	8.85	9.19	10.85	9.26	8.68	9.78	8.70	8.72
Al ₂ O ₃	13.76	14.72	14.32	13.66	15.38	14.42	14.42	17.19	15.97
MgO	8.27	6.22	8.87	7.40	6.22	8.32	7.78	8.14	7.36
Na ₂ O	2.93	1.77	2.93	2.87	2.55	2.32	3.05	2.13	2.01
TiO ₂	1.63	1.65	1.57	2.32	1.72	1.31	1.70	1.37	1.62
MnO	0.17	0.17	0.18	0.15	0.15	0.15	0.20	0.15	0.16
SO ₃						0.12			
P ₂ O ₅		0.10		0.13	0.10	0.08		0.08	0.12
K ₂ O	0.19	0.28			0.23	0.49		0.22	0.35
LOI	1.65	2.06	1.44	1.29	1.88	0.71	1.3	2.12	0.5
V		390		272	455		290		
Cr	431	430	548		389	438	359	535	448
Ni	572	526	583		357	441	471	378	586
Sr		336	268	238	206	183	192	209	280

5.2.1 Clasificación Geoquímica de elementos mayores

Debido a los datos disponibles y a que los protolitos de las unidades del presente trabajo son ígneos, la variación composicional de las rocas se muestra a través de un diagrama Harker, contribuyendo a la interpretación de los procesos magmáticos involucrados.

5.2.1.1 Elementos Mayores

En los diagramas de variación con óxidos mayores se evidencia las diferentes tendencias en función al contenido sílice, expresadas en porcentaje en peso (wt%) (*Figura 6*).

Las anfibolitas en facies de esquistos verdes, facies de anfibolitas y peridotitas serpentinizadas de esta zona de estudio muestran valores de SiO₂ comprendidos entre 38.21 a 53.91 wt. %, en donde los valores más bajos de SiO₂ (41.11– 48.78 wt. %) pertenecen a las peridotitas serpentinizadas, mientras que los valores más altos corresponden a las anfibolitas de la Unidad Arenillas (45.07 – 53.91 wt. %) y las anfibolitas de la Unidad Quebrada Plata (42.89 – 50.48 wt. %).

El Al₂O₃ (12.84 – 17.19 wt. %), de la Unidad Arenillas presenta valores más altos en comparación a la Unidad Quebrada Plata (10.60– 15.72 wt. %), en cuanto al MgO y CaO existe un rango más amplio para la Unidad Quebrada Plata MgO (4.14- 10.39 wt. %) y CaO (8.79 – 20.70 wt. %) en comparación a la Unidad Arenillas MgO (7.18 – 8.83 wt. %) y CaO (11.59 -16.23 wt. %). Mientras las peridotitas serpentinizadas presentan los valores más bajos de Al₂O₃ (3.43 wt. % muestra del norte – 5.30 wt. % muestra del sur), CaO (2.75 wt. % muestra del norte – 11.23 wt. % muestra del sur) y los valores más altos de MgO (35.90 wt. % muestra del norte – 24.37 wt. % muestra del sur) en comparación con de los valores de las Unidades Quebrada Plata y Arenillas.

El FeO = (Fe₂O₃*0.8998) tiene un rango más amplio (5.19 – 10.84 wt. %) para la Unidad Quebrada Plata en comparación de la Unidad Arenillas que presenta valores de (7.14 – 8.72 wt. %). Por otro lado, las peridotitas serpentinizadas presenta valores (7.20 wt. % muestra del norte – 7.21 wt. % muestra del sur).

Las muestras con las concentraciones más bajas de TiO₂ (0.08 wt. % muestra del norte – 0.17 wt. % muestra del sur) y K₂O (0.024 wt. % muestra del norte – 0.075 wt. % muestra del sur) pertenecen a las peridotitas serpentinizadas, mientras que los valores más altos corresponden a las Unidades Arenillas TiO₂ (0.93 – 1.61 wt. %), Na₂O (1.96 – 2.31 wt. %), K₂O (0.17 – 0.49 wt. %), y Quebrada Plata TiO₂ (0.35 – 2.31 wt. %), Na₂O (1.28 – 4.11 wt. %), K₂O (0.04 – 0.62 wt. %), en donde este último presenta un rango más amplio de variabilidad.

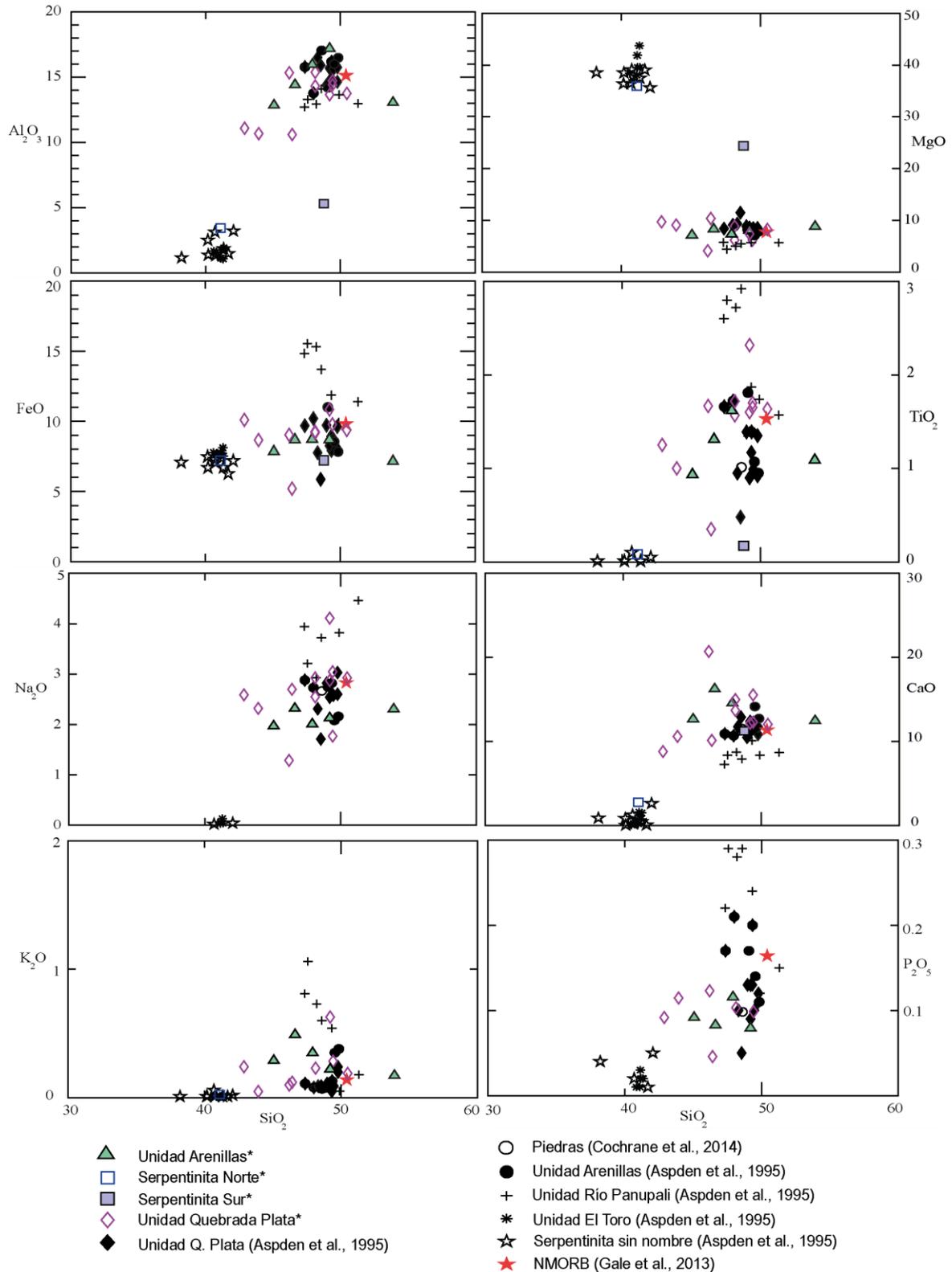


Figura 6. Diagramas Harker en los que se presentan los valores de los elementos mayores en (wt. %) vs el contenido de SiO_2 (wt. %) de las anfibolitas de las Unidades Arenillas, Quebrada Plata y Piedras (este estudio; Cochrane et al., 2014), los esquistos verdes de la Unidad Río Panupali (Aspden et al., 1995) y las serpentinitas de la Unidad El Toro y las sin nombre (Aspden et al., 1995). *este estudio.

El diagrama TAS muestra una relación de los contenidos de $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs SiO_2 (Le Bas et al., 1986 *Figura 7a*), en donde las anfibolitas y esquistos verdes presentan un contenido de sílice que va de 42.89 a 53.91 wt. % siendo esencialmente de composición basáltica. Las concentraciones de $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ de la Unidad Río Panupali son más altas (3.41 – 4.75 wt. %) en comparación con las anfibolitas; sin embargo, podría ser resultado de alteración y/o metasomatismo, ya que estos elementos son móviles. El contenido de K_2O es menor a 0.63 wt. % (*Figura 7b*), indicando una serie toleítica, más aún considerando que el K_2O es un elemento móvil, en consecuencia, valores altos podrían indicar alteración o alteración durante el metamorfismo. Considerando el diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) se observa que todas las muestras presentan afinidad toleítica (*Figura 7c*).

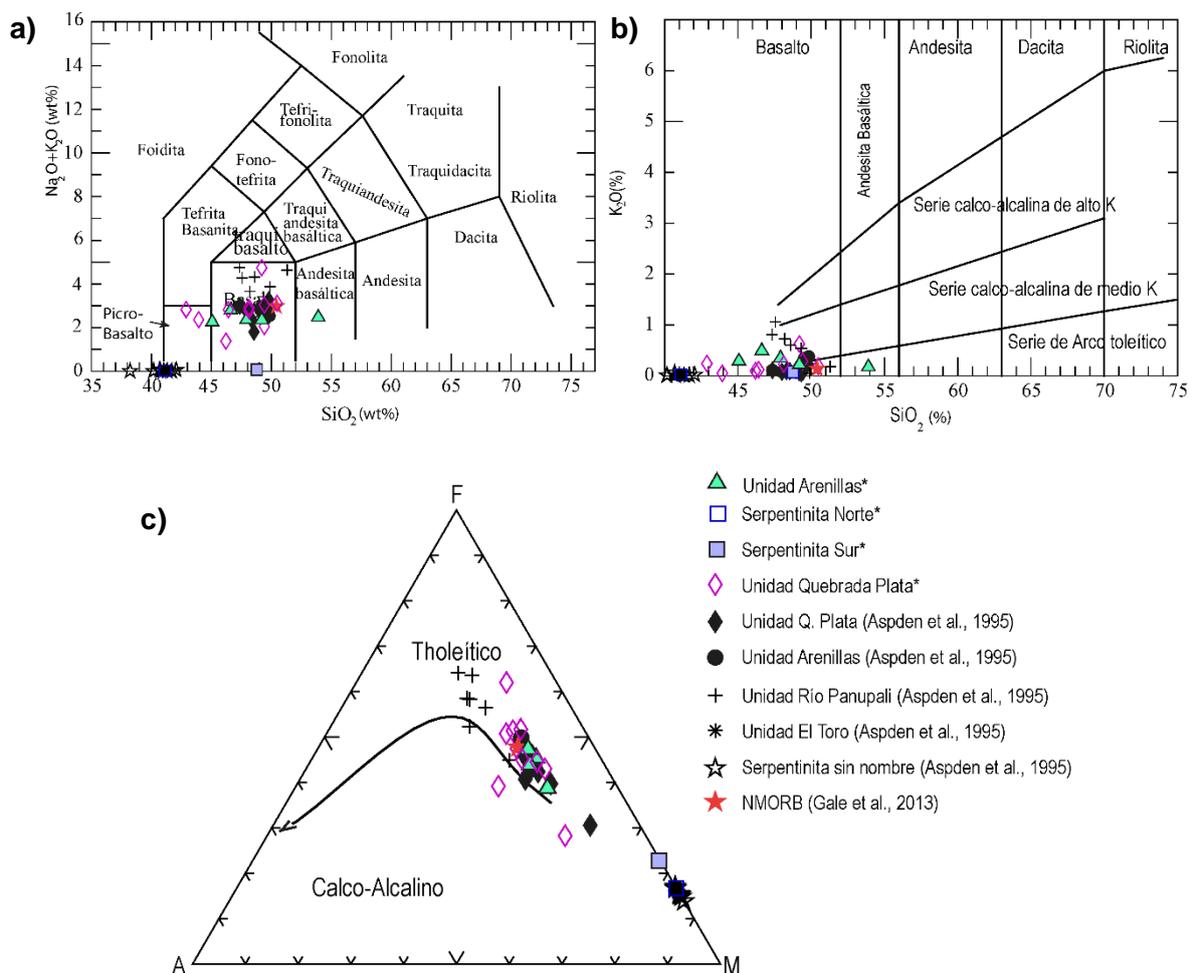


Figura 7. a) Diagrama de clasificación TAS (SiO_2 vs $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), según Le Bas et al., (1986), b) Diagrama K_2O (wt. %) vs SiO_2 (wt. %) de Peccerillo & Taylor, (1976) y c) Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971), mostrando el límite entre las afinidades toleíticas y calco-alcalinos para las anfibolitas de las Unidades Arenillas, Quebrada Plata y Piedras (Cochrane et al., 2014), los esquistos verdes de la Unidad Río Panupali (Aspden et al., 1995) y las serpentinitas de la Unidad El Toro y las sin nombre. *este estudio.

El diagrama ACF es útil para la representación de rocas metabásicas ya que ayuda a establecer relaciones de estabildades de la composición total de la roca con las diferentes asociaciones minerales, utilizando el A (Al_2O_3) – C (CaO) – F (FeO + MnO + MgO) y proyectando desde cuarzo (Torres et al., 2004); para establecer estos vértices, se utilizaron vectores de intercambio.

Se examinó el grado de alteración de los protolitos usando la composición de los elementos principales proyectada en función de las fases coexistentes y los apropiados vectores de intercambio que ayudan a establecer el espacio composicional (ACF *Figura 8*). Las rocas metabasálticas se proyectan en el campo metaluminoso y no muestran una relación con un ensamblaje mineral de alteración propilitica (plagioclasa-epidota-clorita *Figura 8*), ni enriquecimiento en álcalis o Al_2O_3 (tendencia hacia el vértice A; espilitización). Por otra parte, todas las muestras de composición basáltica muestran una compatibilidad con un ensamblaje mineral plagioclasa-piroxeno-olivino típica de rocas básicas (*Figura 8a*). Las serpentinitas se proyectan cerca del vértice de F, indicando un alto contenido de Mg - Fe y muy bajo contenido de Ca en su composición, propio de rocas ultramáficas de composición harzburgítica (*Figura 8a*). En los diagramas ACF y AMF (*Figura 8 b-c*) las rocas metabasálticas no presentan una tendencia hacia A, indicando una afinidad química para que los conjuntos minerales sean ricos en anfíbol.

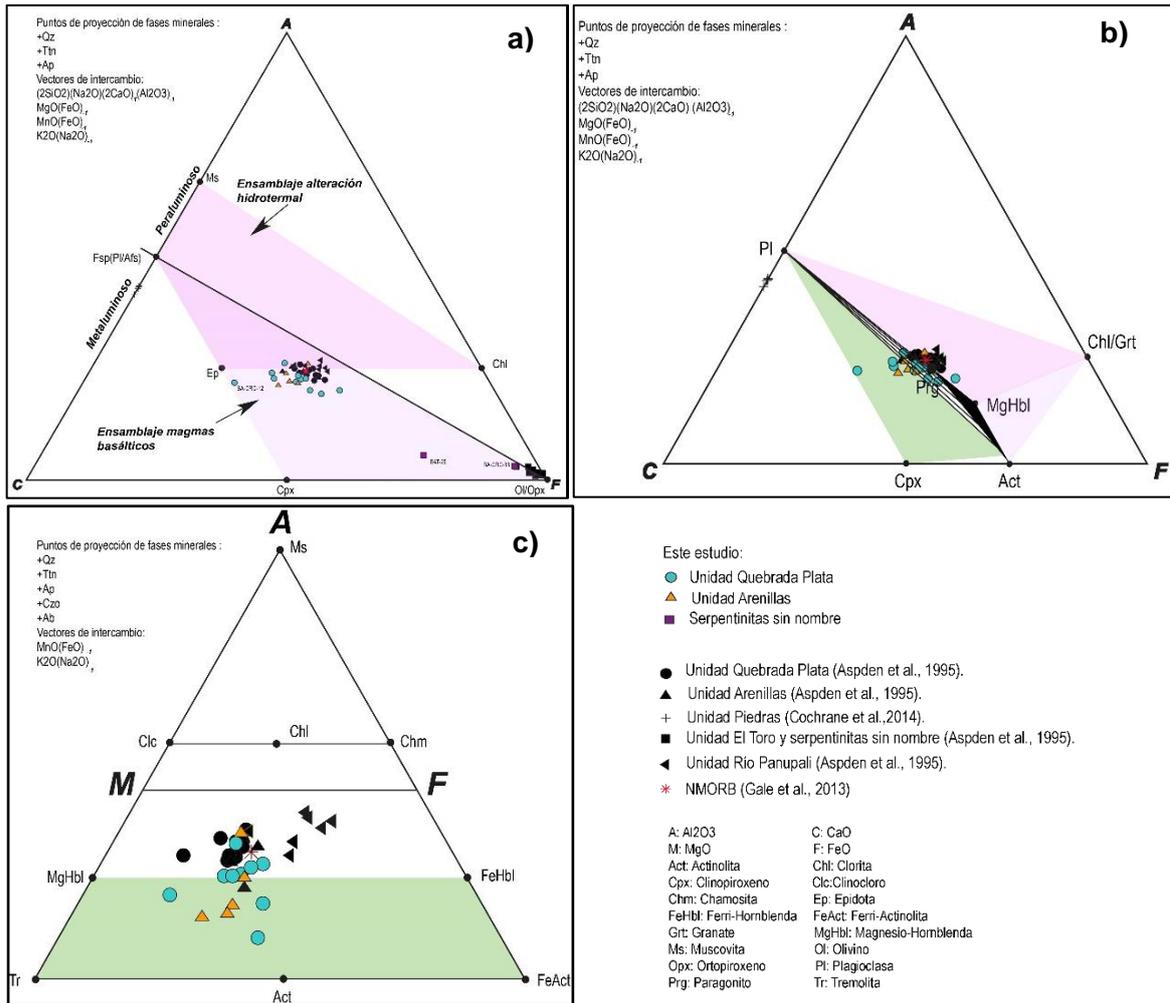


Figura 8. Proyección de las muestras estudiadas en los diagramas ACF y AMF. Se representa a los miembros finales de las fases minerales con un círculo negro (clorita con $Fe+Mg=9$, $Al=3$ y $Si=5$ átomos por 10 O y 8OH; Spear, 1993). a) Diagrama ACF muestra los campos metaluminoso y peraluminoso, además de la composición mineral de rocas básicas y de las rocas alteradas. b) Diagrama ACF para rocas metabásicas proyectadas a partir de vector plagioclasa, se muestra la composición teórica de varios minerales. c) Diagrama AMF para rocas metabásicas proyectadas a partir de clinzoisita, cuarzo y albita y accesorios, mostrando la factibilidad para la recristalización de anfíbol. Los diagramas se proyectan desde fases coexistentes y vectores de intercambio adecuado que permitan establecer una zona composicional. NMORB: Basalto normal de dorsal medio oceánica, según Gale et al., (2013). Abreviaciones de Whitney & Evans, (2010).

CAPITULO 6

DISCUSIÓN

6.1 Unidades Arenillas, Río Panupali, Quebrada Plata y peridotitas serpentinizadas

Las muestras del presente estudio se las agrupó de acuerdo con la litología, mineralogía y texturas presentes en las rocas. En general comprenden anfibolitas en facies de esquistos verdes y en facies de anfibolita, esquistos verdes y peridotitas serpentinizadas, con texturas nematoblásticas para las anfibolitas y esquistos verdes hasta estructuras macizas en las peridotitas serpentinizadas.

6.1.1 Unidad Río Panupali vs Unidades Arenillas / Quebrada Plata

En el análisis microscópico se reconocieron microestructuras, esquistosidad, foliación y plegamiento debido a los procesos de deformación. En particular la mayor parte de las anfibolitas y esquistos verdes presentan textura pokiloblástica en donde la plagioclasa se encuentra dentro de cristales de anfíboles.

Las rocas analizadas de la Unidad Río Panupali presentan foliación, esquistosidad y deformación (plegamiento), está compuesta por microcristales de actinolita, plagioclasa, zoisita, epidota, clorita, cuarzo y titanita. Mientras que Aspden et al. (1995) y Gabriele (2002), reportan adicionalmente glaucofano en esta unidad, la cual no fue encontrada en este estudio, pero no se descarta su existencia.

En comparación entre la Unidad Río Panupali con las Unidades Arenillas y Quebrada Plata en sección delgada se aprecian pequeñas diferencias mineralógicas. La Unidad Arenillas contiene anfíbol (hornblenda pleocróica marrón) y en baja proporción piroxenos relictos (clinopiroxeno y ortopiroxeno), lo cual no se reporta en la Unidad Río Panupali. Por otro lado, las rocas en facies de esquistos verde de la Unidad Quebrada Plata presentan similitudes mineralógicas y texturales con la Unidad Río Panupali, contiene anfíbol, plagioclasa (andesina), epidota, zoisita, clorita, rutilo, titanita, cuarzo y opacos, con la diferencia de que no presenta glaucofano como mencionan Aspden et al. (1995) y Gabriele (2002).

En relación con las Unidades Quebrada Plata y Arenillas del presente estudio, la Unidad Río Panupali (Aspden et al., 1995) está empobrecido en MgO, pero enriquecido en FeO (total), TiO₂, Na₂O, K₂O y P₂O₅. Químicamente no se correlaciona con estas unidades (p.e. Figuras 6, 7 y 8), separándose de la zona composicional de Arenillas y Quebrada Plata.

En cuanto a las edades al norte de la Falla La Palma-El Guayabo correspondiente a la Unidad Arenillas, Gabriele (2002) lo atribuye al terreno Birón obteniendo edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en hornblenda y biotita dispersas de 103.4 ± 1.9 , 111.9 ± 12.8 , 75 ± 0.5 y 78.4 ± 0.5 Ma. Mientras al sur de la Falla Zanjón Naranjo obtiene edades de 225.3 ± 1.7 Ma $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en anfíbol en la Unidad Río Panupali y 226 ± 1.6 Ma $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en hornblenda para la Unidad Quebrada Plata, siendo concordantes con las obtenidas por Aspden et al. (1995) Ar/Ar en anfíbol $226 \pm 2,1$ Ma, estas edades corresponderían a edades de metamorfismo, mientras que dataciones U-Pb en circón muestran edades de 221 ± 17 Ma (Noble et al., 1997) y 223 ± 17 Ma (Cochrane et al., 2014) que corresponderían a edades de cristalización.

El presente trabajo propone revisar la edad Triásica propuesta por Gabriele (2002) para la Unidad Río Panupali, puesto que las Unidades Arenillas, Río Panupali y Quebrada Plata presentan petrografías significativamente diferentes. De igual forma sugiere revisar el sitio de muestreo ya que la Unidad Río Panupali está yuxtapuesta a la Unidad Quebrada Plata y esta última presenta esquistos verdes y anfibolitas en facies de esquistos verde.

6.1.2 Unidad Arenillas vs Unidad Quebrada Plata

Se reconocieron microestructuras, esquistosidad, foliación y plegamiento debido a los procesos de deformación. La mayor parte de las anfibolitas en facies de esquistos verde y en facies de anfibolita presenta textura pokiloblástica en donde la plagioclasa se encuentra dentro de los cristales de los anfíboles. Además, las anfibolitas tienen un tamaño de grano variable en muestra de mano que va desde grano fino a medio (y localmente casi pegmatítico).

Las rocas analizadas de la Unidad Arenillas presentan el anfíbol pleocróico café (hornblenda), la plagioclasa es subidioblástica con maclado polisintético facilitando exponer su composición de andesina (en base a la extinción), la característica más importante es que esta unidad dispone de cristales relictos de piroxenos (clinopiroxeno y ortopiroxeno) y en baja proporción circones. Mientras que la Unidad Quebrada Plata comprende anfibolitas saussuritizadas, en donde en lámina delgada la plagioclasa presenta un aspecto "sucio" dificultando establecer su composición, no se ha registrado piroxenos, el anfíbol en lámina delgada se trata de actinolita y hornblenda de color verde pálido y hay mayor proporción de epidota, clorita y zoisita.

En cuanto los datos geoquímicos estas unidades presentan valores similares de Al_2O_3 , MgO, FeO, TiO_2 , Na_2O , CaO, K_2O y P_2O_5 .

Las edades obtenidas no permiten una correlación ya que la Unidad Quebrada Plata es consistentemente datada como Triásico Tardío (Aspden et al., 1995; Noble et al., 1997;

Cochrane et al., 2014), mientras que la Unidad Arenillas presenta variación de edades K-Ar y Ar-Ar del Cretácico Temprano al Cretácico Tardío (Aspden et al., 1995; Gabriele 2002).

6.1.3 Peridotitas serpentinizadas vs Unidad El Toro/Serpentinitas sin nombre

La roca ultramáfica que se encuentra al sur de la falla La Palma-El Guayabo, es de color gris verdoso oscuro, maciza, microcristalina y sin estructuras en muestra de mano. Mientras que la roca que se encuentra al norte es de tonalidad verde claro, con deformación (plegamiento).

Los datos geoquímicos de la Unidad El Toro y de la serpentinita sin nombre se recopilaron de Aspden et al. (1995). La serpentinita que se encuentra al sur de la falla La Palma-El Guayabo se encuentra en contacto con las anfibolitas de la Unidad Quebrada Plata, tiene valores altos de Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , K_2O , valores bajos de MgO y valores similares de FeO en comparación con la serpentinita que se encuentra al norte, en donde la muestra del norte sigue la tendencia de los valores tomados de Aspden et al. (1995). Por lo tanto, la serpentinita del sur no presenta una química igual a la serpentinita del norte, a la Unidad El Toro y la serpentinitas sin nombre Aspden et al. (1995). La serpentinita del sur podría corresponder a un cuerpo del manto asociado con las unidades máficas del Triásico Tardío, similar a como se ha reportado en otros complejos de edad similar en los Andes del Norte, como por ejemplo en los complejos Peltetec y Aburrá (García-Casco et al., 2020; Villares et al., 2023).

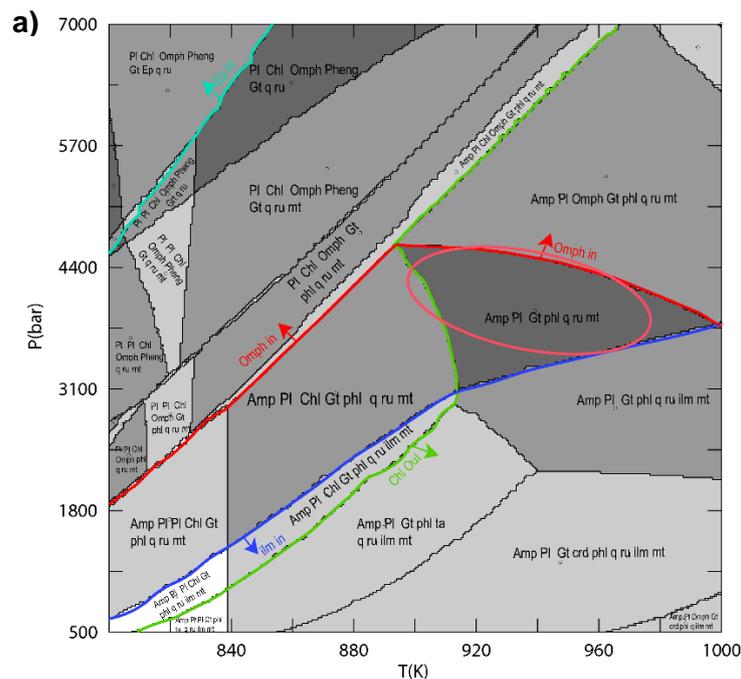
6.2 Condiciones metamórficas

Los programas computacionales como Perple_X tiene como objetivo buscar fases minerales en equilibrio (menor energía de Gibbs, G), la optimización de la minimización de G radica en la elección de la base de datos termodinámicos que más se acople al tipo de roca, los modelos minerales y especialmente la resolución inicial de los pseudocompuestos junto con un nivel adecuado de mallado (Ramos, 2022).

Hasta la actualidad no se han determinado las condiciones de presión y temperatura del metamorfismo de las anfibolitas de las Unidades Arenillas y Quebrada Plata. El software Perple_X (Connolly, 1990, 2023; versión 7.1.4) se utilizó para el cálculo de las proyecciones isoquímicas P-T (pseudosecciones) de las muestras BA-ORO-3 y BA-ORO-7 en el sistema $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-Na}_2\text{O-TiO}_2\text{-MnO-K}_2\text{O-O}_2$. El contenido de O_2 de la composición de la roca se estimó, asumiendo un 5% de Fe+3 del hierro total (wt%), obteniendo una ventana de P-T que reproduce el ensamblaje mineral de interés.

La pseudosección P-T (*Figura 9a*) de la anfibolita (BA-ORO-3; zona norte, Unidad Arenillas) muestra el campo de estabilidad de paragénesis mineral hornblenda + plagioclasa ± opacos ± rutilo el cual expone la tendencia general de aumento de Na₂O, Al₂O₃ y FeO en el anfíbol a medida que aumenta la presión. La estabilidad del piroxeno metamórfico (onfacita) y la desaparición de clorita restringen las condiciones metamórficas (*Figura 9a*). El campo de estabilidad que se ajusta a la paragénesis mineral de las rocas indica condiciones de temperatura ~920-1000°K y presiones ~3100-4400 bar, por lo tanto, esta pseudosección es aceptable. Este campo presenta un porcentaje de granate <1.17 vol%. Hay que aclarar que en las muestras no se reportó granate, sin embargo, el porcentaje modelado es bajo, y este campo es el que más se aproxima a la abundancia modal y paragénesis observada en las rocas.

En cambio, en la zona sur (anfibilota BA-ORO-7, Unidad Quebrada Plata, *Figura 9b*) no se obtuvo resultados completamente satisfactorios que reproduzcan el campo de estabilidad mineral hornblenda + plagioclasa ± titanita ± opacos. Sin embargo, el campo que más se asemeja se encuentra a condiciones de ~750-900°K y presiones ~1700-3800 bar a concentraciones altas de onfacita 15.13 vol% y con bajo granate 0.97 vol%. Tentativamente es el campo que más se acerca, pero presenta incongruencias las cuales pueden estar relacionadas con varios factores como el modelo mineral escogido para la simulación, el contenido de O₂ y la química de la muestra.



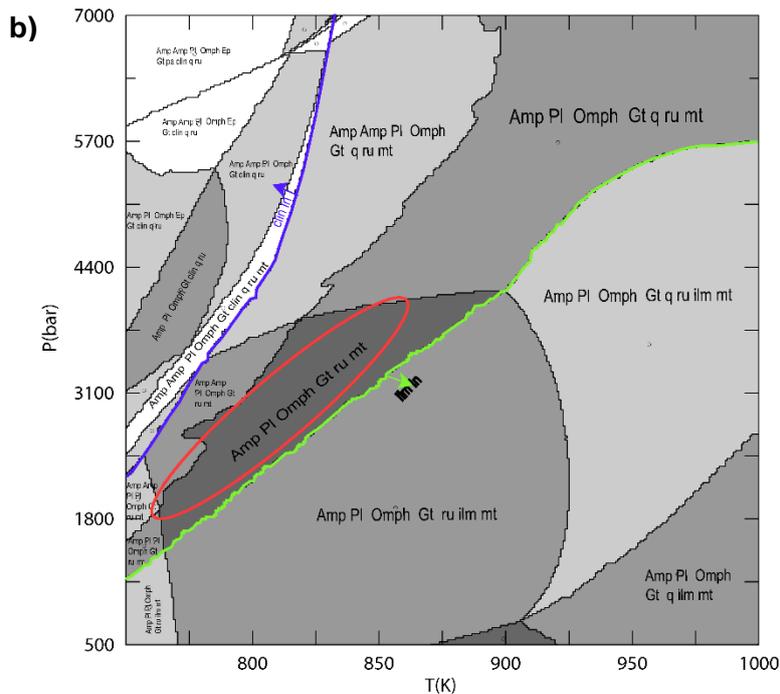


Figura 9. P-T Pseudosecciones calculadas en PERPLE_X. a) pseudosección para la composición de la metabasita BA-ORO-3 [$\text{SiO}_2=49.20$, $\text{CaO}=11.59$, $\text{FeO}=8.69$, $\text{Al}_2\text{O}_3=17.19$, $\text{MgO}=8.14$, $\text{Na}_2\text{O}=2.12$, $\text{TiO}_2=1.37$, $\text{MnO}=0.15$, $\text{O}_2=0.43$ (porcentaje en peso)]. b) pseudosección para la composición de la metabasita BA-ORO-7 [$\text{SiO}_2=49.41$, $\text{CaO}=12.29$, $\text{FeO}=9.77$, $\text{Al}_2\text{O}_3=14.41$, $\text{MgO}=7.77$, $\text{Na}_2\text{O}=3.04$, $\text{TiO}_2=1.70$, $\text{MnO}=0.20$, $\text{O}_2=0.48$ (porcentaje en peso)].

6.3 Modelo geodinámico

Para la discriminación tectónica, se utilizó las concentraciones de los elementos mayores TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , MnO , MgO , FeO y Al_2O_3 de igual manera los elementos trazas Ti y V.

Todas las rocas metabálticas plotean en el campo de rocas oceánicas (Figura 10a); aunque la meteorización y la alteración tiende a desplazar a los basaltos oceánicos hacia el campo continental (Pearce et al., 1975).

Las rocas de la Unidad Quebrada Plata pertenecientes a este estudio poseen valores de $\text{Ti/V} = 10.5$ a 51.10 . Mayoritariamente las rocas de la Unidad Quebrada Plata trazan en el campo MORB (Figura 10b) con cierta tendencia hacia composiciones de rocas de arco insular (IAT) sugiriendo que la fuente pudo tener influencia de una zona de subducción. A medida que aumenta la influencia de la zona de subducción las rocas tienden a IAT. Similares conclusiones se pueden obtener en el diagrama discriminante para basaltos de regiones oceánicas (Mullen 1983; Figura 10c), en el cual las muestras de las Unidades Arenillas y Quebrada Plata se representan en los campos de MORB e IAT (arco insular), esta tendencia MORB hacia IAT podría también estar controlado por el fraccionamiento (Hawkins, 1997). Mientras que en el diagrama triangular $\text{MgO-FeO}^*\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Pearce et al.,

1977) las rocas estudiadas se proyectan en su totalidad en el campo de los basaltos de dorsal oceánica (*Figura 10d*).

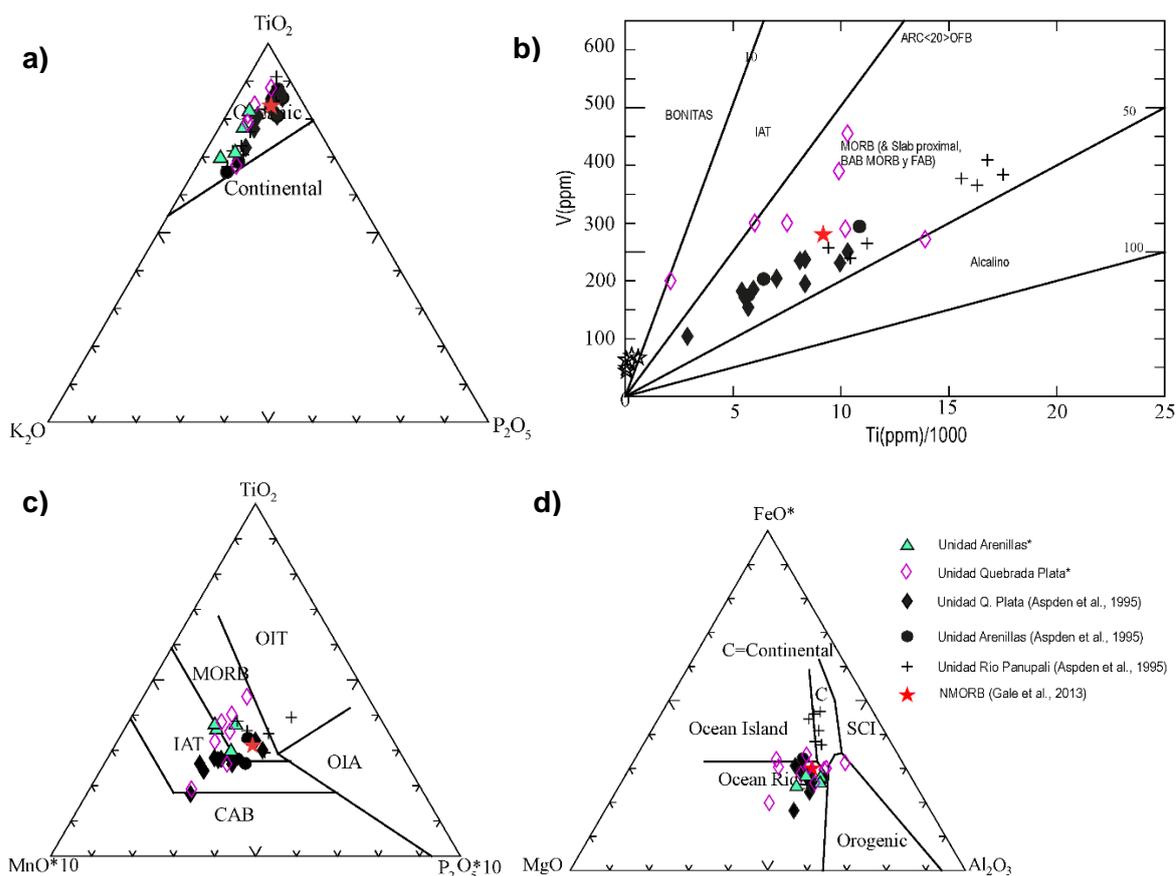


Figura 10. Diagramas de discriminación de basaltos. a) diagrama ternario TiO_2 - K_2O - P_2O_5 como método de discriminación entre basaltos oceánicos y continentales de Pearce et al., (1975), b) Diagrama V vs $Ti/1000$ indicador de influencia de subducción, distingue tipos de magmas de Shervais (1982), c) Diagrama discriminante $MnO*10$ - TiO_2 - P_2O_5*10 para basaltos de regiones oceánicas por Mullen (1983) y d) diagrama ternario MgO - FeO^* - Al_2O_3 identifica cinco ambientes tectónicos diferentes por Pearce et al. (1977).

La geoquímica de las Unidades Arenillas y Quebrada Plata indican un carácter toleítico con afinidad de tipo MORB. Durante los procesos de extensión existe ruptura de la litosfera continental y como consecuencia hay extrusión de productos volcánicos, involucrando intrusiones de diques, sills y plutones (Litherland et al., 1994; Aspden et al., 1995, Gabriele, 2002). Estos cuerpos son congruentes con el modelo de extensión triásica ocurrida en una corteza continental, ocasionando procesos de migmatización y anomalías térmicas, las cuales produjeron anatexia en el continente (Litherland et al., 1994; Reitsma, 2012; Cochrane et al., 2014a; Riel et al., 2013; Spikings et al., 2015). La extensión debió generarse por un cambio en el ángulo de inclinación del slab, un aumento de este ángulo generará las condiciones extensionales en la zona continental.

Riel et al. (2012, 2013 y 2014) propuso que durante el Triásico el margen de Sur América sufrió una anomalía térmica entre 230 y 225 Ma, ocasionando la formación de varios granitoides de tipo S. Este proceso de extensivo generó la descompresión de la astenosfera, posterior fusión parcial y emplazamiento de las metabasitas de tipo MORB (Unidades Arenillas y Quebrada Plata).

Este trabajo propone un modelo geológico para el metamorfismo durante el Triásico Tardío (*Figura 11*), en donde de acuerdo con las condiciones de P-T (~3100-4400 bar y ~920-1000°K) involucra un evento de baja presión y moderada a alta temperatura, congruente con un régimen tectónico extensional en el margen continental, considerando las edades de los anfíboles en la Unidad Quebrada Plata (226 ± 1.6 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en hornblenda, Gabriele, 2002; y $226 \pm 2,1$ Ma Ar/Ar en anfíbol, Aspden et al., 1995), estas corresponderían a edades de metamorfismo, y dada la similitud con las edades U-Pb en circón (221 ± 17 Ma, Noble et al., 1997; y 223 ± 17 Ma, Cochrane et al., 2014) que representaría la edad de cristalización del protolito se plantea que el metamorfismo ocurrió inmediatamente después del emplazamiento de las metabasitas, en un ambiente hidratado. Las Unidades Arenillas y Quebrada Plata son petrográficamente diferentes, pero químicamente similares, por lo cual se considera que corresponden a un mismo protolito en donde las condiciones de metamorfismo estaban controladas por la zonación en cuanto a la profundidad (gradiente geotérmico), en donde la Unidad Arenillas se encontraba en la zona más profunda (anfíbolitas con protolito gabróico) con restricción de fluidos (agua) el cual favoreció a la preservación de los piroxenos relictos. Mientras que la Unidad Quebrada Plata presenta anfíbolitas en facies de anfíbolitas (zona transicional) y anfíbolitas en facies de esquistos verdes con protolito basáltico (zona somera), las cuales se hidrataron favoreciendo a la cristalización de minerales como actinolitas, epidotas y cloritas. Además, el modelo toma en cuenta las peridotitas (parte del manto) que se encuentran en la zona estudio. El ascenso astenosférico que generó las metabasitas, también ocasionó el incremento de la temperatura, lo que produjo anatexia de la corteza continental y migmatización.

Este trabajo considera que la Unidad Río Panupali no corresponde a la edad Triásica propuesta por Gabriele (2002), si la Unidad Río Panupali presenta edades Cretácicas conformaría al Complejo Ofiolítico Raspas (Aspden et al., 1995), por lo tanto, se sugiere revisar el sitio de muestreo y datar para establecer su entorno geológico.

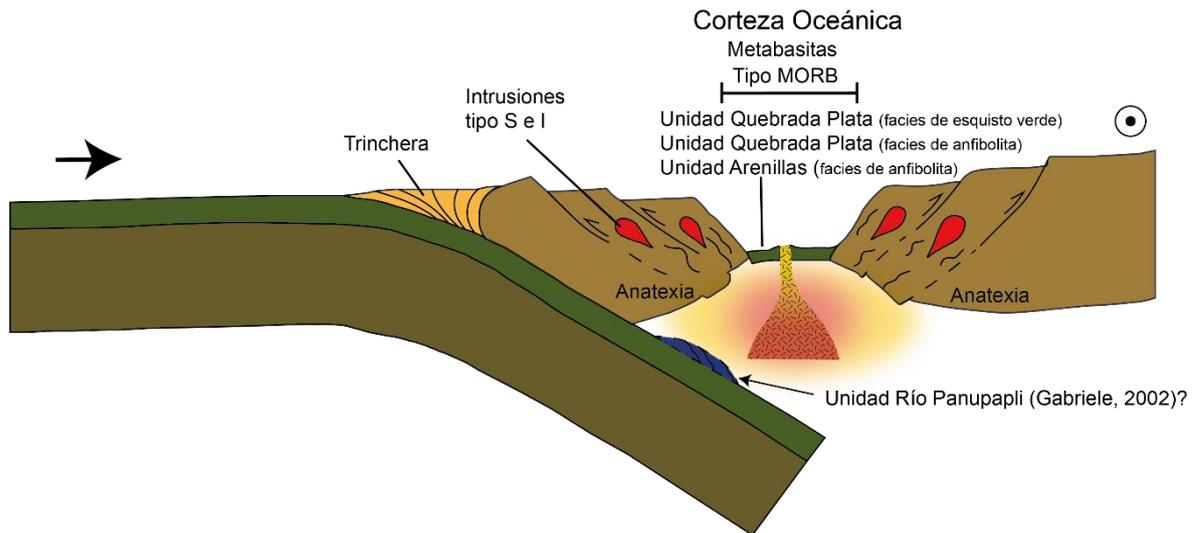


Figura 11. Modelo geológico esquemático 2D propuesto para el margen ecuatoriano, el cual involucra un evento de magmatismo tipo S, se produce descompresión de la astenosfera ocasionando el emplazamiento cortical de tipo MORB (metabasitas), el emplazamiento de las metabasitas ocasiona migmatización de la Unidad La Bocana.

Modificado de: Riel et al., (2013).

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Mineralógicamente las anfíbolitas de la Unidad Arenillas difieren de la Unidad Quebrada Plata, la primera presenta piroxenos relictos de origen ígneo y anfíbol café (hornblenda) mientras que la Unidad Quebrada Plata presenta anfíbol verde (hornblenda/actinolita/tremolita), plagioclasa saussuritizada, y ensamblajes de clorita y epidota. Pero químicamente son similares, por lo tanto, estas unidades se consideran como un mismo protolito en donde su variación mineralógica está ligada con el metamorfismo y la hidratación.

Las rocas en facies de esquistos verde de la Unidad Quebrada Plata presentan similitudes mineralógicas y texturales con la Unidad Río Panupali, contiene anfíbol verde (actinolita), plagioclasa (andesina), epidota, zoisita, clorita, rutilo, titanita, cuarzo y opacos, con la diferencia de que no presenta glaucofano. Los datos geoquímicos del presente estudio establecen diferencias entre las Unidades Quebrada Plata, Arenillas y Río Panupali, para esta última se tomó los datos de Aspden et al. (1995), estableciendo que la Unidad Río

Panupali presenta empobrecimiento de MgO, pero enriquecimiento en FeO (total), TiO₂, Na₂O, K₂O y P₂O₅ en comparación a las otras unidades. Por lo que no se la debe correlacionar con la Unidad Arenillas como propone Gabriele (2002). La correlación sugerida es con el Complejo Ofiolítico Raspas (Aspden et al., 1995).

La preservación del piroxeno relicto en la Unidad Arenillas podría indicar que los gabros estuvieron restringidos en fluidos (agua) el cual favoreció a la conservación de la mineralogía primaria. Las anfibolitas evidencian valores de temperatura ~920-1000°K y presiones ~3100-4400 bar, son condiciones de baja presión y alta temperatura, por lo que el metamorfismo pudo ocurrir inmediatamente después de su emplazamiento en un régimen tectónico extensivo hidratado.

Las anfibolitas de la Unidad Quebrada Plata presentan conjuntos minerales que son consistentes con facies anfibolíticas (hornblenda, plagioclasa) y facies de esquistos verdes (actinolita+ plagioclasa +epidota+ clorita), donde estas últimas se encontraban en zona más someras con interacción de fluidos, esa interacción favoreció a la cristalización secundaria de actinolita, epidota y clorita.

El estudio geoquímico muestra que las Unidades Arenillas y Quebrada Plata tienen una afinidad de tipo MORB, al igual que las muestras de la Unidad Río Panupali (Aspden et al., 1995). Sin embargo, las dos primeras evidencian influencia de una zona de subducción.

La serpentinita que se encuentra en contacto con la Unidad Quebrada Plata no tiene relación química con la Unidad El Toro y la serpentinita que se encuentra en el norte de la falla Zanjón-Naranjo. Su correlación es con las unidades del Triásico Tardío.

7.2 Recomendaciones

Se recomienda hacer química mineral de los anfíboles, plagioclasas, epidota y minerales relictos como piroxenos con el objetivo establecer con mayor precisión las condiciones de metamorfismo de las rocas tipo MORB, ya que el modelado realizado en el software Perplex_X tiene sus limitaciones. Además de realizar análisis de elementos traza y tierras raras.

Hacer una correcta cartografía y muestreo en la Unidad Río Panupali, caracterización petrográfica en sección delgada, realizar química en roca total y química mineral. Además, realizar dataciones para precisar la edad de esta unidad.

Hacer datación U-Pb en los circones que se encuentran en la Unidad Arenillas.

CAPITULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arculus R., Lapierre H. & Jaillard E. (1999). Geochemical window into subduction and accretion processes: Raspas metamorphic complex, Ecuador., *Geology*, v. 27, no. 6, pp. 547-550 + 2 figuras.

Aspden J., Bonilla W. & Duque P. (1995) - The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits., *Overseas Geology and Mineral Resources*, British Geological Survey, No. 67, 63p.

Bosch D., Gabrielle P., Lapierre H., Malfere JL. & Jaillard E. (2002)- Geodynamic significance of the Raspas Metamorphic Complex (SW Ecuador): geochemical and isotopic constraints., *Tectonophysics*, 345, pp. 83-102.

Cochrane R., Spikings R., Gerdes A., Ulianov A., Mora A., Villagómez D., Putlitz B. & Chiaradia M. (2014a)- Permo-Triassic anatexis, continental rifting and the disassembly of western Pangea: *Lithos*, v. 190-191, pp. 383-402.

Diener J.F.A, Powell R., White R.W., Holland T.J.B.(2007)- A new thermodynamic model for clino-and orthoamphiboles in the system Na₂O-CaO- FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-O: *Journal of Metamorphic Geology*, 25, pp.631-56.

Feininger T. (1980)- Eclogite and related high-pressure regional metamorphic rocks from the Andes of Ecuador. *J. Petrology*, 21, 107-140.

Gabriele, P., (2002). HP Terranes Exhumation in an Active Margin Setting: Geology and Geochemistry of the Raspas Complex in SW Ecuador. Unpublished Ph.D. thesis, University of Lausanne, Switzerland.

Gabriele P., Ballèvre M., Jaillard E. & Hernandez J. (2003)- Garnet-chloritoid-kyanite metapelites from the Raspas Complex (SW Ecuador): a key eclogite-facies assemblage., *Eur. J. Mineral.*, 15, 977–989.

García-Casco, A., Restrepo, J. J., Correa–Martínez, A. M., Blanco–Quintero, I. F., Proenza, J. A., Weber, M., & Butjosa, L. (2020). The petrologic nature of the “Medellín Dunitite” revisited: An algebraic approach and proposal of a new definition of the geological body. *The Geology of Colombia*, 2(36), 31.

Green, E., Holland ,T.J.B., Powell ,R., (2007). An order-disorder model for omphacitic pyroxenes in the system jadeite-diopside-hedenbergite-acmite, with applications to eclogitic rocks: *American Mineralogist*, 92, pp. 1181-1189. Doi.org/10.2138/am.2007.2401

Gómez., J. (2006). Metamorfismo- Apuntes de la asignatura Petrología Endógena II (Módulo I). Universidad de Zaragoza.

Hirsch, D., Baldwin, J., & Perkins, D. (2016, noviembre 10). What are Pseudosections? Teaching Phase Equilibria. https://serc.carleton.edu/research_education/equilibria/pseudosections.html

Holland T.J.B., Powell R., (1998). An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest: *Journal of Metamorphic Geology*, 16, pp.309-343.

Holland T.J.B., Powell R., (2011). An improved and extended internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest, involving a new equation of state for solids: *Journal of Metamorphic Geology*, 29, pp. 333-383. 10.1111/j.1525-1314.2010.00923.x

Irvine, T. N., & Baragar, W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, 8(5), 523-548.

Jaillard, E., Laubacher, G., Bengtson, P., Dhontd, A.V., Bulot, L.C., 1999. Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador. *J. S. Am. Earth Sci.* 12, 51–68.

John T., Scherer E., Schenk V., Herms P., Halama R. & garbe-schonberg D. (2009)- Subducted seamounts in an eclogite-facies ophiolite sequence: the Andean Raspas Complex, SW Ecuador., *Contrib. Mineral Petrol.*, *Contrib. Mineral Petrol.*, DOI 10.1007/s00410-009-0427-0, 20p.

J.W. Hawkins, Petrologic and geochemical characteristics of marginal basin basalts, in: *Island Arcs, Deep Sea Trenches, and Back-Arc Basins*, M. Talwani and W.C. Pitman III, eds. (American Geophysical Union, Washington, D.C., 1977) 355-365.

Kennerley J B., Almeida L., & Calle J. (1973). Mapa geológico del Ecuador, Saraguro, Hoja 55 1:100 000, Dirección General de Geología y Minas, Quito.

Le Bas, M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen, A.L. & Zanettin, B., (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* 27: 745-750.

Noble S., Aspden J., & Jemielita R., (1997). Northern Andean crustal evolution: new U-Pb geochronological constraints from Ecuador., *GSA Bulletin*, v. 109, no. 7, pp. 789-798 + 6 figuras + 2 tablas.

Mourier T., Laj C., Mégard F., Roperch P., Mitouard P., & Medrano F., (1988). An accreted continental terrane in northwestern Peru., *Earth and Planetary Science Letter*, pp. 182-192.

Pearce, J., (2014). Ophiolites: Immobile Element Fingerprinting of Ophiolites. *Elements*, v.10, no.2, pp.101-108.

Peccerillo, A., & Taylor, S. R. (1976). Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to mineralogy and petrology*, 58(1), 63-81.

Ramos Galarza, S. I. (2022). Utilización de programas computacionales en el entendimiento del metamorfismo y las rocas metamórficas (Bachelor's thesis, Quito: EPN, 2022.).

Riel N., Guillot S., Jaillard E., Martelat J., Paquette JL., Schwartz S., Goncalves P., Duclaux G., Thebaud N., Lanari P., Janots E. & Yuquilema J. (2013)- Metamorphic and geochronological study of the Triassic El Oro metamorphic complex, Ecuador: Implications for high-temperature metamorphism in a forearc zone., *Lithos* 156-159, pp. 41-58.

Riel, N., J.-E. Martelat, S. Guillot, E. Jaillard, P. Monié, J. Yuquilema, G. Duclaux, AND J. Mercier (2014), Fore arc tectonothermal evolution of the El Oro metamorphic province (Ecuador) during the Mesozoic, *Tectonics*, 33, doi:10.1002/2014TC003618.

Shervais, J. W. (1982). Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and planetary science letters*, 59(1), 101-118.

Silva S., Bustamante A., Bustamante C., Cardona A. & Juliani., C. (2023)- Early Cretaceous subduction of an oceanic plateau at the Northern Andes; geochemical, metamorphic, and cooling age constraints of the Raspas Metamorphic Complex, *Lithos* 456-457.

Spear F.S. (1993). *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*: Mineralogical Society of America Monographs, Washington.

Suhr N., Rojas Y., Chew D., Pinto A., Villagómez D., Toulkeridis T., Regina Mertz (2019)- Detrital-zircon geochronology and provenance of the El Oro Metamorphic Complex, Ecuador: Geodynamic implications for the evolution of the western Gondwana margin., *Journal South American Earth Sciences*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.12.010>.

Torres R., García A., Molina J., (2004)-*Petrología Metamórfica*, Asistente de Prácticas., Universidad de Granada.

Torres-Roldán, R.L, García-Casco, A., and García-Sánchez, P.A., (2000), CSpace: an integrated workplace for the graphical and algebraic analysis of phase assemblages on 32-bit Wintel platforms: *Computers and Geosciences*, 26, pp. 779-793.

Villares, F., Blanco-Quintero, I. F., Reyes, P. S., Montes, C., Fuentes, D., Cardona, A., & Garcia-Casco, A. (2024). Ocean floor and Barrovian metamorphic events in the Mesozoic Pelitetec ophiolitic belt (Ecuador). *International Geology Review*, 66(1), 130-156.

White R.W., Powell R., Holland T.J.B., and Worley B.A. (2000). The effect of TiO₂ and Fe₂O₃ on metapelitic assemblages at greenschist and amphibolite facies conditions: mineral equilibria calculations in the system K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-TiO₂-Fe₂O₃: *Journal Metamorphic Geology*, 18, pp. 497-511.

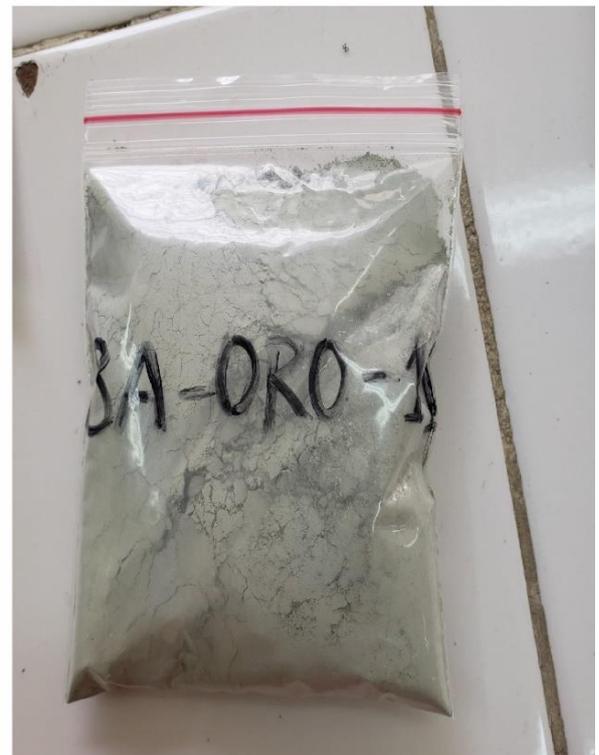
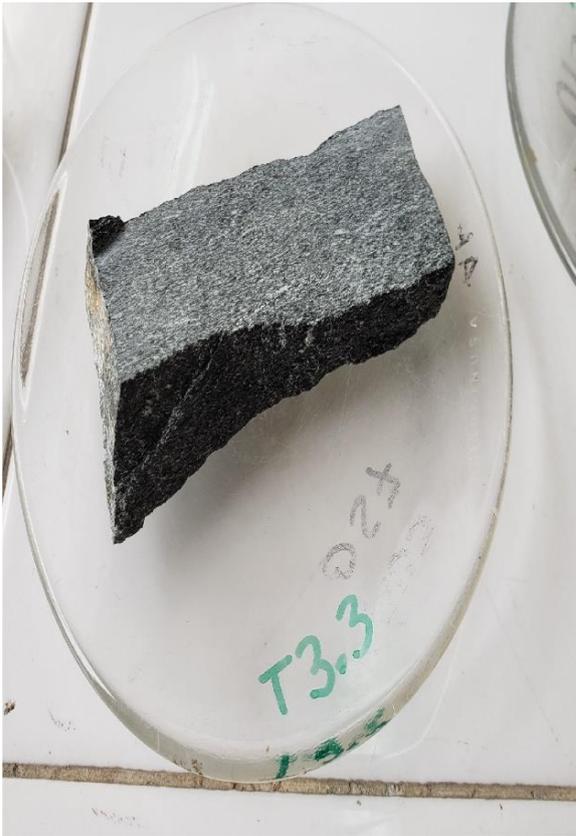
White R.W., Powell R., and Clarke G.L. (2002). The interpretation of reaction textures in Fe-rich metapelitic granulites of the Musgrave Block, central Australia; constraints from mineral equilibria calculations in the system K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-TiO₂-Fe₂O₃: *Journal Metamorphic Geology*, 20 (1), pp. 41-55.

Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 95(1), 185-187.

CAPÍTULO 9

ANEXOS

ANEXO I. EQUIPOS PARA PREPARACIÓN DE MUESTRAS



ANEXO II. FICHAS DESCRIPTIVAS

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código BA-ORO-5

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Roca de color verde grisáceo de textura nematoblástica con cristales de hasta 2mm.
Compuesta principalmente por hornblenda (45%), plagioclasa (39%) piroxeno (15%) y opacos (1%).
Presenta esquistosidad, foliación, venas de aproximadamente 0.5 mm y deformación (plegamiento).

Muestra de mano



ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral

%

Propiedades

Minerales principales

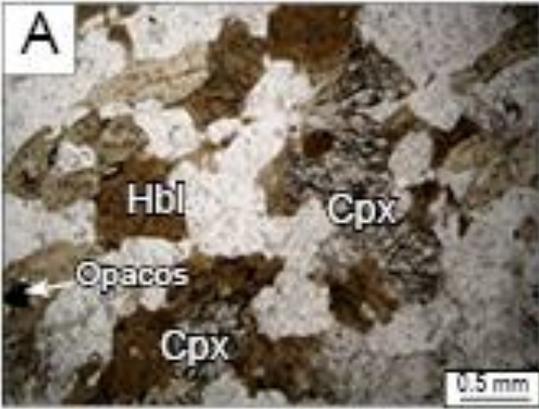
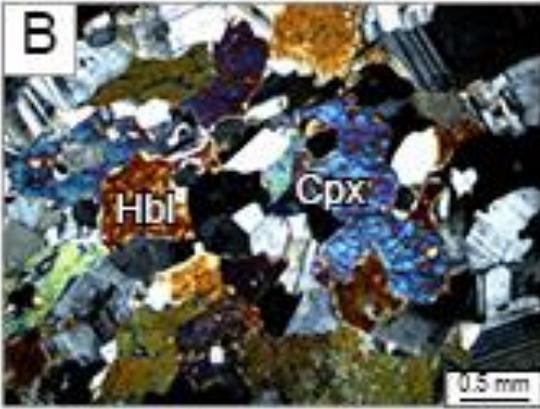
Hornblenda (Hbl)	45%	NP: Color marrón, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1.8mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden e inicios de 2 ^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas a celeste (Fig. B).
Plagioclasa (Pl)	40%	NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris. Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 1.2 mm. Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1 ^{er} orden, en tonos grises y blancos. Algunas Pl se presentan maclas polisintéticas mostrando una composición que va desde labradorita a andesina.
Clinopiroxeno (Cpx)	15%	NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). Existe recristalización a hornblenda en los bordes de los cristales siguiendo procesos de uralitización. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden e inicios de 2 ^{do} orden (colores intensos, amarillos, azul, verde, rojos, etc.), en este caso el azul-marrón (Fig. B).

Minerales Accesorios

Titanita (Ttn)	1%	NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua.
Opacos (Opq)	1%	Óxidos de Fe- Ti (Fig. A).

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica, tiene fenocristales de Hbl y Pl. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Hbl incluye pequeños cristales de Pl). Además, de estructuras como esquistosidad, foliación de los minerales, venas y vetas de Pl y plegamiento.

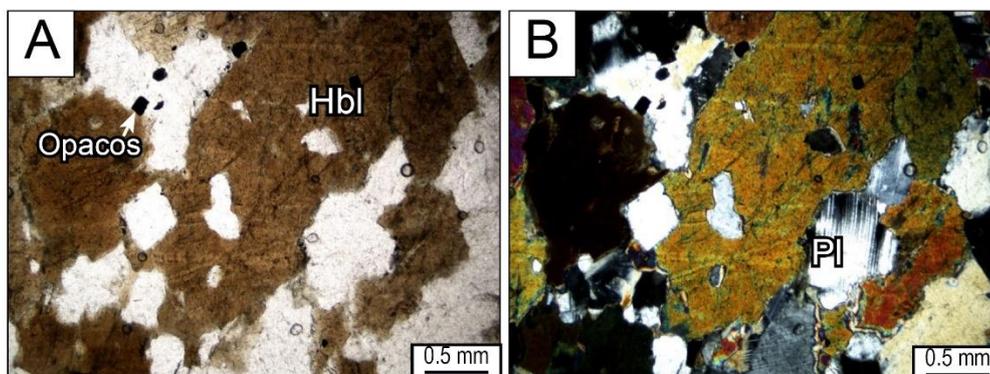
Análisis microscópico con luz transmitida			
			
Nombre de la roca	Anfibolita en facies de anfibolita	Meteorización	

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA		
Código	BAT-03	
ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Composición de la roca	Muestra de mano	
<p>Roca de color verde grisáceo de textura nematoblástica, con cristales de hasta 2.5 mm.</p> <p>Compuesta principalmente por hornblenda (50%), plagioclasa (49%) y opacos (1%).</p> <p>Presenta esquistosidad, foliación y venas de Pl.</p>		
ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Hornblenda (Hbl)	49%	<p>NP: Color marrón, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2.4 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas a celeste (Fig. B).</p>
Plagioclasa (Pl)	50%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris. Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 2.9 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos. Algunas Pl se presentan maclas polisintéticas mostrando una composición que va desde labradorita a andesina.</p>
Minerales Accesorios		
Opacos (Opq)	1%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales (Fig. A).

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica, tiene fenocristales de Hbl y Pl. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Hbl incluye pequeños cristales de Pl). Además, de estructuras como esquistosidad, foliación de los minerales y venas de Pl.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca

Anfibolita en facies de
anfibolita

Meteorización

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código

BAT-04

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Roca de color verde grisáceo de textura nematoblástica, con cristales de hasta 3mm.
Compuesta principalmente por hornblenda (40%), plagioclasa (41%) piroxeno (18%) y opacos (1%).
Presenta esquistosidad, foliación y venas de hasta 1mm.

Muestra de mano



ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral

%

Propiedades

Minerales principales

Hornblenda
(Hbl)

40%

NP: Color marrón, pleocroísmo moderado. Cristales idiomorfos – subidiomorfos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) con tamaños de hasta 1.1 mm. Cristales con relieve medio – alto.
NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas a celeste.

Plagioclasa
(Pl)

41%

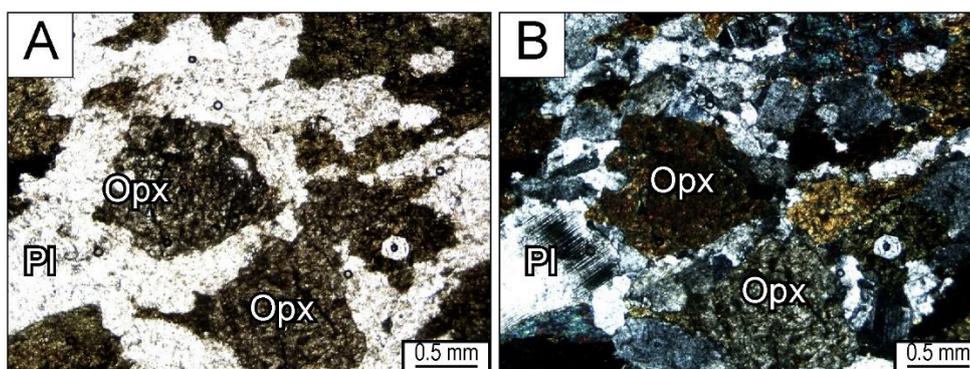
NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio”. Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 0.6 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica.
NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos. Algunas Pl se presentan maclas polisintéticas mostrando una composición que va desde labradorita a andesina.

Ortopiroxeno (Opx)	13%	NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden (colores café, gris, etc.), en este caso café (Fig. B).
Clinopiroxeno (Cpx)	5%	NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) con tamaños de hasta 1 mm. Cristales con relieve medio – alto. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de inicios de 2 ^{do} orden (colores intensos, amarillos, azul, verde, rojos, etc.),
Minerales Accesorios		
Opacos (Opq)	1%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica, tiene fenocristales de Hbl y Pl. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Hbl incluye pequeños cristales de Pl). Además, de estructuras como esquistosidad, foliación de los minerales y venas de Pl.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Anfibolita en facies de anfibolita	Meteorización	
--------------------------	------------------------------------	----------------------	--

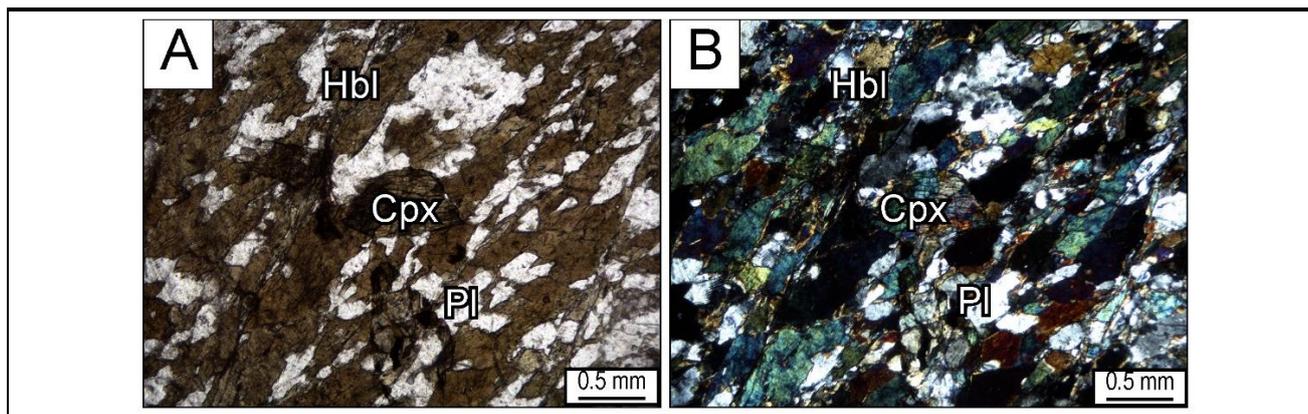
ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	BA-ORO-15
---------------	-----------

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
<p>Roca de color verde grisáceo de textura nematoblástica, con cristales de hasta 1mm. Compuesta principalmente por hornblenda (43%), plagioclasa (37%) piroxeno (19%) y opacos (1%). Presenta esquistosidad, foliación y deformación (plegamiento).</p>	

ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Hornblenda (Hbl)	43%	<p>NP: Color marrón, pleocroísmo moderado. Cristales idiomorfos – subidiomorfos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) con tamaños de hasta 1.8mm. Cristales con relieve medio – alto. (Fig. A-B).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas a celeste.</p>
Plagioclasa (Pl)	37%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio”. Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 0.9 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos. Algunas Pl se presentan maclas polisintéticas mostrando una composición que va desde labradorita a andesina.</p>
Ortopiroxeno (Opx)	2%	<p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idiomorfos – subidiomorfos (prismas cortos, formas octogonales o cuadradas) con tamaños de hasta 1mm. Cristales con relieve medio – alto.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden (colores café, gris, etc.), en este caso café</p>
Clinopiroxeno (Cpx)	17%	<p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idiomorfos – subidiomorfos (prismas cortos, formas octogonales o cuadradas) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1 mm. Cristales con relieve medio – alto.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de inicios de 2^{do} orden (colores intensos, amarillos, azul, verde, rojos, etc.) (Fig. B).</p>
Minerales Accesorios		
Muscovita (Ms)	1%	<p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde muy claro o rosa pálido. Cristales subidiomorfos (fibrosos a tabulares) con tamaños de hasta 0.8 mm. Cristales con relieve medio – alto.</p> <p>NC: Paralela y colores de interferencia de 2^{do} orden (colores intensos, amarillos, azul, verde, rojos, etc.),</p>
Titanita (Ttn)	1%	<p>NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidiomorfos y relieve alto.</p> <p>NC: Extinción oblicua.</p>
Opacos (Opq)	1%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.
Características de la roca / Observaciones:		
La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica, tiene fenocristales de Hbl y Pl. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Hbl incluye pequeños cristales de Pl). Además, de estructuras como esquistosidad y foliación de los minerales.		
Análisis microscópico con luz transmitida		



Nombre de la roca	Anfibolita en facies de anfibolita	Meteorización	
--------------------------	------------------------------------	----------------------	--

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	BA-ORO-16
---------------	-----------

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
<p>Roca de color verde grisáceo de textura nematoblástica, con cristales de hasta 6mm en el caso de la plagioclasa. Compuesta principalmente por hornblenda (45%), plagioclasa (43%), clorita (10%) y opacos (2%). Presenta esquistosidad, foliación y deformación (plegamiento).</p>	

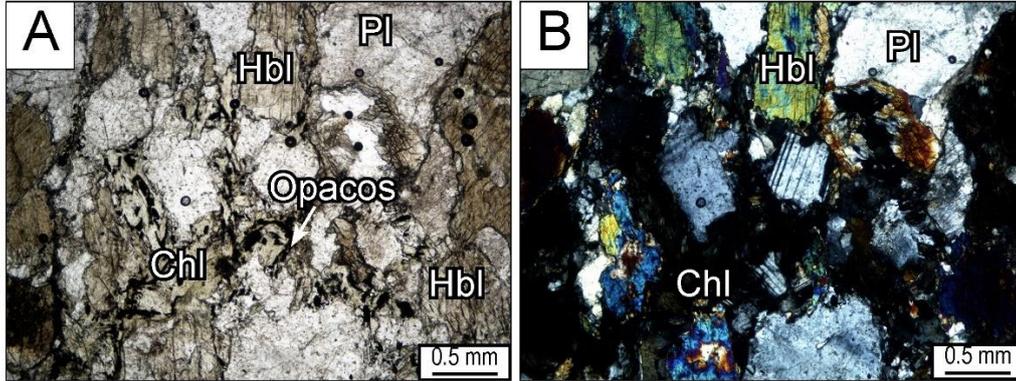
ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Hornblenda (Hbl)	45%	<p>NP: Color marrón, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) con tamaños de hasta 2 mm. Cristales con relieve medio – alto. (Fig. A-B). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, celeste.</p>
Plagioclasa (Pl)	43%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio”. Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 2.4 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos. Algunas Pl se presentan maclas polisintéticas mostrando una composición que va desde labradorita a andesina.</p>
Clorita (Chl)	10%	<p>Distribuido entre los grandes cristales de Pl y Hbl. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas idioblásticas – subidioblásticos (Fig. A). Presenta cristales con tamaños de hasta 2.5 mm y con un relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso, marrón a púrpura (Fig. B).</p>
Minerales Accesorios		
Opacos (Opq)	2%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica, tiene fenocristales de Hbl y Pl. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Hbl incluye pequeños cristales de Pl). Además, de estructuras como esquistosidad y foliación de los minerales.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca

Anfibolita en facies de anfibolita

Meteorización

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código

BA-ORO-2

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Roca de color verde grisáceo de textura nematoblástica, con cristales de hasta 1mm.
Compuesta principalmente por hornblenda (50%), plagioclasa (41%) y piroxeno (6%). Presenta esquistosidad, foliación, venas y deformación (plegamiento).

Muestra de mano



ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral

%

Propiedades

Minerales principales

Hornblenda (Hbl)	50%	NP: Color marrón, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) con tamaños de hasta 2mm. Cristales con relieve medio – alto. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden e inicios de 2 ^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón.
Plagioclasa (Pl)	41%	NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio”. Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 2 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1 ^{er} orden, en tonos grises y blancos. Algunas Pl se presentan maclas polisintéticas mostrando una composición que va desde labradorita a andesina.
Ortopiroxeno (Opx)	13%	NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1 mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden (colores café, gris, etc.), en este caso café (Fig. B).

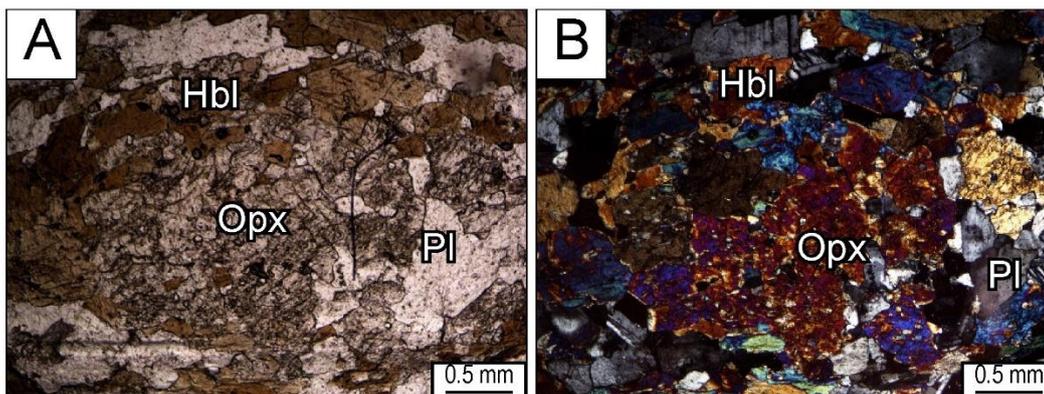
Minerales Accesorios

Titanita (Ttn)	3%	NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua.
Circón (Zm)	2%	NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores ligeramente marrones, pleocroísmo ausente. Cristales subidioblásticos (con terminaciones piramidales) Cristales con alto relieve.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica, tiene fenocristales de Hbl y Pl. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Hbl incluye pequeños cristales de Pl). Además, de estructuras como esquistosidad, foliación de los minerales, venas de Pl y plegamiento.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Anfibolita en facies de anfibolita	Meteorización	
--------------------------	------------------------------------	----------------------	--

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	BA-ORO-3
---------------	----------

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
Roca de color verde grisáceo de textura nematoblástica, con cristales de hasta 5mm en el caso de la plagioclasa y hornblenda. Compuesta principalmente por hornblenda (48%), plagioclasa (39%), clorita (9%), piroxeno (2%), sericita (1%) y opacos (1%). Presenta esquistosidad, foliación, venas y deformación (plegamiento).	

ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Hornblenda (Hbl)	48%	NP: Color marrón, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) con tamaños de hasta 2mm. Cristales con relieve medio – alto. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden e inicios de 2 ^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón.
Plagioclasa (Pl)	39%	NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” debido a que se están alterando intensivamente a Ser y Arc. Presenta grandes cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 1.5 mm (Fig.

		A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1 ^{er} orden, en tonos grises y blancos. Algunas PI se presentan maclas polisintéticas mostrando una composición que va desde labradorita a andesina.
Clorita (Chl)	10%	Producto de alteración de los Px y Amp y entre los grandes cristales de PI y Hbl. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas idioblásticas – subidioblásticas (Fig. A). Presenta cristales con tamaños de hasta 2.5 mm y con un relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso, marrón a púrpura (Fig. B).
Ortopiroxeno (Opx)	2%	NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas cortos, formas octogonales o cuadradas) con tamaños de hasta 1 mm. Cristales con relieve medio – alto. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden (colores café, gris, etc.), en este caso café.

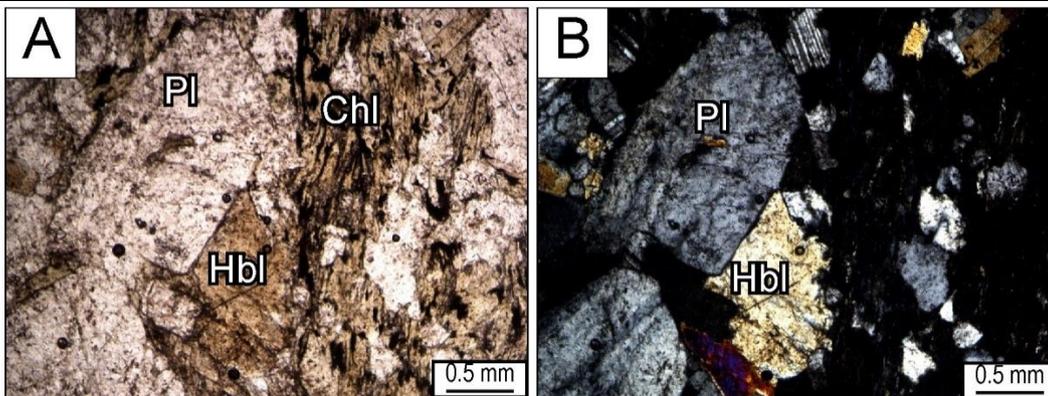
Minerales Accesorios

Biotita (Bt)	1%	NP: marrón rojizo, con pleocroísmo marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve medio. NC: Extinción paralela.
Sericita (Ser)	1%	Producto de alteración de los fenocristales de PI. NP: Incoloro. Se encuentra como pequeños cristales con relieve medio. NC: Se observan como pequeños puntos brillantes (color de interferencia fuerte de 2 ^{do} a 3 ^{er} orden) distribuidos de forma irregular en el cristal de PI a la cual se encuentra alterando.
Opacos (Opq)	2%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica, tiene fenocristales de Hbl y PI. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Hbl incluye pequeños cristales de PI). Además, de estructuras como esquistosidad, foliación de los minerales, venas de PI y plegamiento.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Anfibolita en facies de anfibolita	Meteorización	
-------------------	------------------------------------	---------------	--

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	BA-ORO-4	
--------	----------	--

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
------------------------	-----------------

Roca de color verde grisáceo de textura nematoblástica, con cristales de hasta 1mm y venas de hasta 7mm.
Compuesta principalmente por cristales idióblásticos de hornblenda (47%), plagioclasa (44%), clorita (6%), piroxeno (1%), sericita (1%) y opacos (1%).
Presenta esquistosidad, foliación, venas y deformación (plegamiento).



Nombre de la roca	Anfibolita	Meteorización	
--------------------------	------------	----------------------	--

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	BA-ORO-32	
---------------	-----------	--

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
<p>Roca gris oscura- ligeramente verdosa maciza. Compuesta principalmente por serpentina (53%), olivino (33%), opacos (8%), piroxeno (4%) y actinolita (2%). Presenta fracturamiento.</p>	

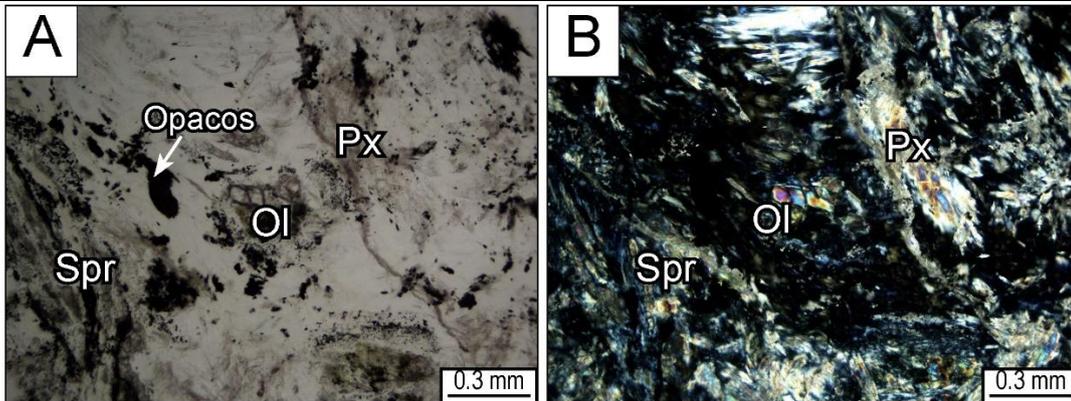
ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Serpentina (Srp)	57%	<p>Producto de la alteración del olivino NP: incoloro, suave con tonos verdes. Cristales idióblásticos – subidióblásticos (agregados masivos con hábito fibroso) (Fig. A-B). Cristales con relieve bajo (Fig. A). NC: Extinción paralela y colores de 1^{er} orden (gris-blanco), raramente superiores (Fig. B).</p>
Olivino (Ol)	30%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Presenta pequeños cristales redondeados con relieve alto (Fig. A). El olivino presente es cortado y rodeado por los cristales de serpentina (Fig. A). NC: Extinción paralela y colores de interferencia finales de 2do orden e inicio de 3er orden, en colores (naranja, rojo, azul, verde, magenta, etc.) (Fig. B).</p>
Tremolita (Tr)	2%	<p>NP: Por lo general es incoloro, pleocroísmo débil. Cristales idióblásticos – subidióblásticos (prismas alargados casi fibrosos). Cristales con relieve medio – alto. NC: Colores de interferencia de finales 1^{er} orden hasta la mitad de 2do orden (naranja, rojo, azul, verde, magenta, etc.)</p>
Clinopiroxeno (Cpx)	1%	<p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idióblásticos – subidióblásticos (prismas cortos, formas octogonales o cuadradas). Cristales con relieve medio – alto. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de inicios de 2^{do} orden (colores intensos, amarillos, azul, verde, rojos, etc.)</p>
Minerales Accesorios		
Opacos (Opq)	10%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta cumulatos xenoblásticos de cristales ferromagnesianos. Presenta también, microplegamiento que afecta principalmente a los cristales de serpentina y en ciertas a ocasiones a los cristales de olivino, que siguen la dirección de la deformación.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca

Peridotita Serpentinizada

Meteorización

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código

BA-ORO-33

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Roca gris oscura- ligeramente verdosa maciza. Compuesta principalmente por serpentina (49%), olivino (25%), tremolita (12%), clinopiroxeno (7%), opacos (6%) y ortopiroxeno (1%). Presenta fracturamiento.

Muestra de mano



ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral

%

Propiedades

Minerales principales

Serpentina (Spr)

49%

Producto de la alteración del olivino
NP: incoloro, suave con tonos verdes. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (agregados masivos con hábito fibroso) (Fig. A-B). Cristales con relieve bajo (Fig. A).
NC: Extinción paralela y colores de 1^{er} orden (gris-blanco), raramente superiores (Fig. B).

Olivino (Ol)

25%

NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Presenta pequeños cristales redondeados con relieve alto. El olivino presente es cortado y rodeado por los cristales de serpentina.
NC: Extinción paralela y colores de interferencia finales de 2do orden e inicio de 3er orden, en colores (naranja, rojo, azul, verde, magenta, etc.)

Tremolita (Tr)

12%

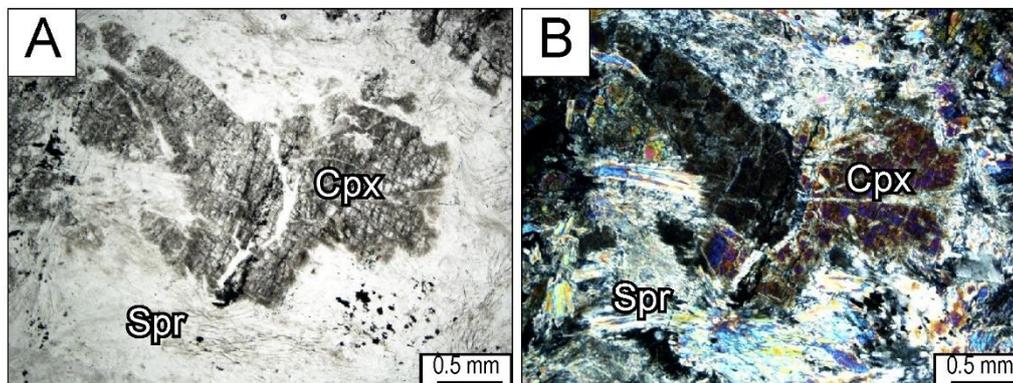
NP: Por lo general es incoloro, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados casi fibrosos). Cristales con relieve medio – alto.
NC: Colores de interferencia de finales 1^{er} orden hasta la mitad de 2do orden (naranja, rojo, azul, verde, magenta, etc.)

Clinopiroxeno (Cpx)	7%	NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas). Cristales con relieve medio – alto. (Figura A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de inicios de 2 ^{do} orden (colores intensos, amarillos, azul, verde, rojos, etc.) (Figura B).
Ortopiroxeno (Opx)	1%	NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) con tamaños de hasta 1 mm. Cristales con relieve medio – alto. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden (colores café, gris, etc.), en este caso café.
Minerales Accesorios		
Opacos (Opq)	6%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta cumulatos xenoblásticos de cristales ferromagnesianos.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca

Peridotita Serpentinizada

Meteorización

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código

BA-ORO-34

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Roca de color verde claro de textura esquistosa, con cristales de hasta 1mm. Compuesta principalmente por actinolita (40%), cuarzo secundario (24%), epidota (36%). Presenta foliación, venas de cuarzo y deformación (plegamiento).

Muestra de mano



ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral

%

Propiedades

Minerales principales

Actinolita (Act)	38%	NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 0.65mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden e inicios de 2 ^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas a celeste (Fig. B).
Cuarzo secundario (Qz)	24%	Rellenando fracturas en la roca. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 0.6 mm y relieve bajo (Fig. A) NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1 ^{er} orden (entre grises y blancos) (Fig. B).
Zoisita (Zo)	19%	Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Cristales subidioblásticos (cristales alargados) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 0.8mm. Cristales con relieve alto (Fig. A). Existe recristalización de la zoisita entre los cristales de Act, Qz y Ep. NC: Extinción paralela y colores de interferencia bajos de 1er orden, en este caso el azul anómalo (Fig. B).
Epidota (Ep)	16%	Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos (Fig. A-B) con tamaños de hasta 0.6mm. Cristales con relieve alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos (Fig. B).

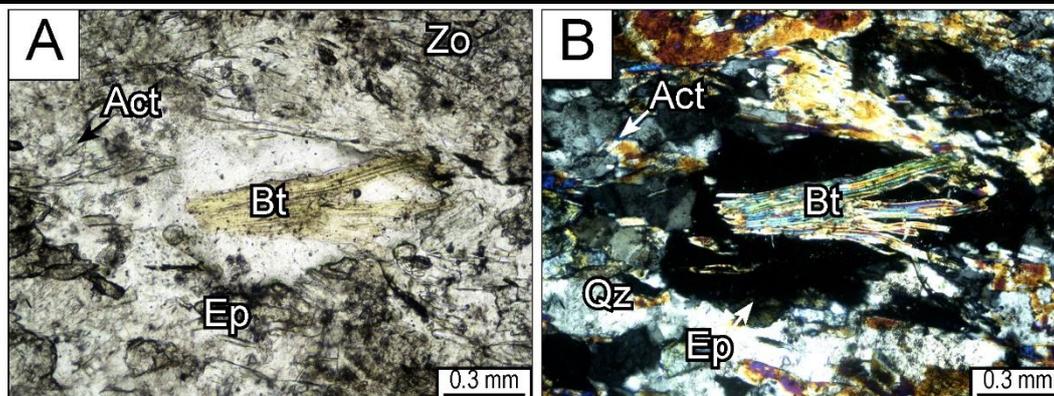
Minerales Accesorios

Biotita (Bt)	1%	NP: marron rojizo, con pleocroísmo marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve medio. (Fig. A-B) NC: Extinción paralela.
Circón (Zm)	1%	NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores ligeramente marrones, pleocroísmo ausente. Cristales subidioblásticos (con terminaciones piramidales) Cristales con alto relieve.
Rutilo (Rt)	1%	NP: amarillo marrón-rojizo, con pleocroísmo suave entre amarillo-marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve alto. NC: Extinción paralela.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta textura nematoblástica, tiene microcristales de actinolita, epidota y zoisita. Además, de estructuras como foliación de los minerales, venas y vetas de Qz y deformación.

Análisis microscópico con luz transmitida

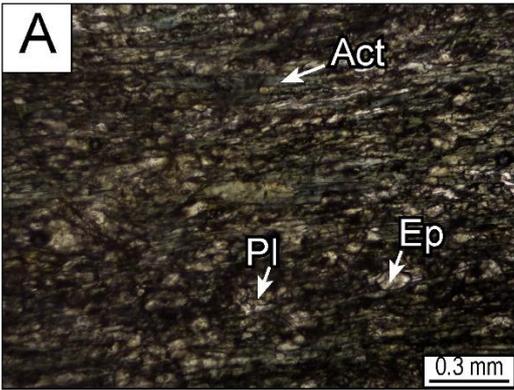
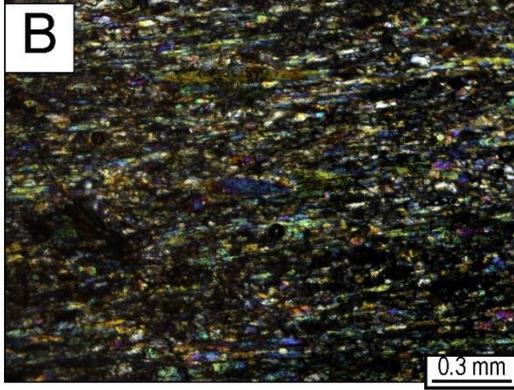


Nombre de la roca	Esquisto verde	Meteorización	media
-------------------	----------------	---------------	-------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	BA-ORO-35		
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de color gris verdoso claro de textura esquistosa, con cristales de hasta 0.5mm. Compuesta principalmente por actinolita (35%), cuarzo secundario (30%), epidota (35%). Presenta foliación, venas de cuarzo de hasta 1cm y deformación (plegamiento).</p>			
<p>Características de la roca / Observaciones: La roca presenta textura nematoblástica, con microcristales. Además, de estructuras como foliación de los minerales, venas y vetas de Qz secundario y deformación.</p>			
Nombre de la roca	Esquisto verde	Meteorización	Fuerte

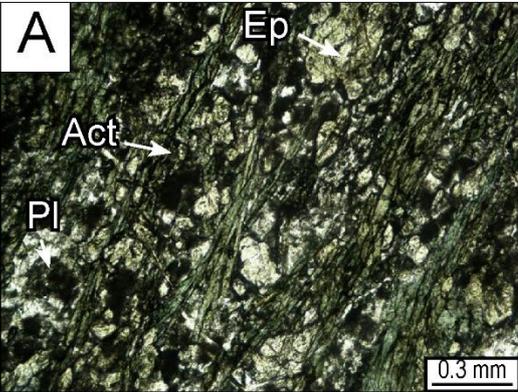
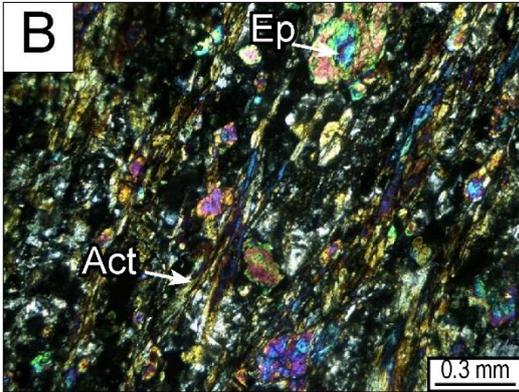
ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	BA-ORO-8		
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de color gris verdoso claro de textura nematoblástica, con microcristales. Compuesta principalmente microcristales de actinolita (66%), plagioclasa (20%), epidota (10%), clorita (3%) y cuarzo (1%), Presenta foliación y deformación (plegamiento).</p>			
<p>Características de la roca / Observaciones: La roca presenta textura nematoblástica, con microcristales. Además, de estructuras como foliación de los minerales, venas y vetas de Qz/Pl y deformación.</p>			
Nombre de la roca	Esquisto verde	Meteorización	Baja

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA		
Código	BA-ORO-9	
ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Composición de la roca		Muestra de mano
<p>Roca de color gris verdoso claro de textura nematoblástica, con microcristales. Compuesta principalmente microcristales de actinolita (66%), plagioclasa (20%), epidota (10%), clorita (3%) y cuarzo (1%), Presenta foliación y deformación (plegamiento).</p>		
ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Actinolita (Act)	66%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 0.2mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas (Fig. B).</p>
Plagioclasa (Pl)	20%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta pequeños cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 0.15mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>
Epidota (Ep)	10%	<p>Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos, con tamaños de hasta 0.15mm. Cristales con relieve alto. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos.</p>
Clorita (Chl)	2%	<p>Producto de alteración de los Amp. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas idioblásticas – subidioblásticos. Presenta cristales con tamaños de hasta 0.2mm y con un relieve medio – alto. NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso, marrón a púrpura.</p>
Minerales Accesorios		
Cuarzo (Qz)	1%	<p>Rellenando fracturas en la roca y formando venas. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 0.3mm mm y relieve bajo. NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1^{er} orden (entre grises y blancos).</p>
Rutilo (Rt)	1%	<p>NP: amarillo marrón-rojizo, con pleocroísmo suave entre amarillo-marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve alto. NC: Extinción paralela.</p>
<p>Características de la roca / Observaciones: La roca presenta foliación con textura nematoblástica, tiene microcristales de actinolita, plagioclasa, epidota, clorita y venas de cuarzo con tamaños que van hasta 1.4mm. En ciertas zonas la muestra en sección delgada presenta microplegamiento.</p>		
Análisis microscópico con luz transmitida		

A		B	
Nombre de la roca	Esquisto verde	Meteorización	media

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	BA-ORO-10		
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de color gris verdoso claro de textura nematoblástica, con microcristales. Compuesta principalmente microcristales de actinolita (68%), plagioclasa (17%), epidota (9%), clorita (4%) y cuarzo (2%). Presenta foliación y deformación (plegamiento).</p>			
Características de la roca / Observaciones:			
La roca presenta textura nematoblástica, con microcristales. Además, de estructuras como foliación de los minerales, venas y vetas de Qz/Pl y deformación.			
Nombre de la roca	Esquisto verde	Meteorización	Baja

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	BA-ORO-11		
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de color verdoso- naranja por procesos de meteorización de textura nematoblástica. Compuesta principalmente microcristales de actinolita (48%), plagioclasa (10%), epidota (29%), clorita (10%) y cuarzo (3%). Altamente fracturado, con venas y vetas.</p>			

ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Actinolita (Act)	48%	NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 0.8mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden e inicios de 2 ^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas (Fig. B).	
Epidota (Ep)	29%	Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos, con tamaños de hasta 0.2mm. Cristales con relieve alto. (Fig. A-B) NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos.	
Plagioclasa (Pl)	10%	NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta pequeños cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 0.2mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1 ^{er} orden, en tonos grises y blancos.	
Clorita (Chl)	10%	Producto de alteración de los Amp. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas idioblásticas – subidioblásticos. Presenta cristales con tamaños de hasta 0.2mm y con un relieve medio – alto. NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso.	
Minerales Accesorios			
Cuarzo (Qz)	3%	Rellenando fracturas en la roca y formando venas. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedralos con tamaños menores a 0.3mm mm y relieve bajo. NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1 ^{er} orden (entre grises y blancos).	
Características de la roca / Observaciones:			
La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Además, de estructuras como foliación de los minerales, venas y vetas de Qz.			
Análisis microscópico con luz transmitida			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>			
Nombre de la roca	Esquistos verde	Meteorización	Baja - media

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código **BAT-23**

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Roca de color gris verdoso oscuro de textura nematoblástica. Compuesta principalmente microcristales de actinolita (45%), plagioclasa (40%) y epidota (15%).
Roca foliada con venas de plagioclasa de aproximadamente 0.5mm.

Muestra de mano



ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral

%

Propiedades

Minerales principales

Actinolita
(Act)

45%

NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2.8mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).
NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas (Fig. B).

Plagioclasa
(Pl)

40%

NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta pequeños cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 0.2mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica.
NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.

Epidota
(Ep)

10%

Producto de alteración de los Amp.
NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos, con tamaños de hasta 0.2mm. Cristales con relieve alto.
NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos.

Minerales Accesorios

Rutilo
(Rt)

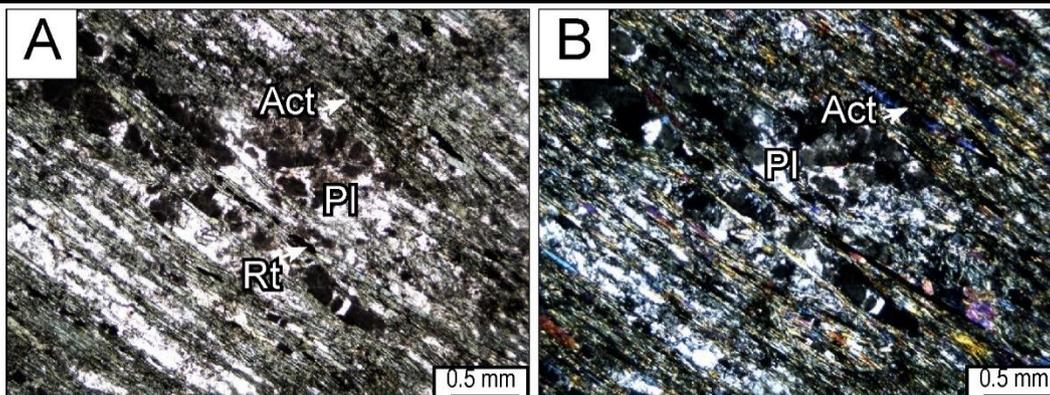
5%

NP: amarillo marrón-rojizo, con pleocroísmo suave entre amarillo-marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve alto. (Fig. A).
NC: Extinción paralela.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Las plagioclasas más frescas en sus bordes presentan procesos de saussuritización. En ciertas zonas la muestra presenta microplegamiento, en donde los cristales siguen la orientación de la deformación. Además, de estructuras como foliación de los minerales.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Esquisto verde	Meteorización	Baja - media
-------------------	----------------	---------------	--------------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	BAT-ORO-12
--------	------------

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
<p>Roca masiva de color verde claro y bandeada. Compuesta principalmente microcristales de epidota (90%), actinolita (9%) y opacos (1%).</p>	

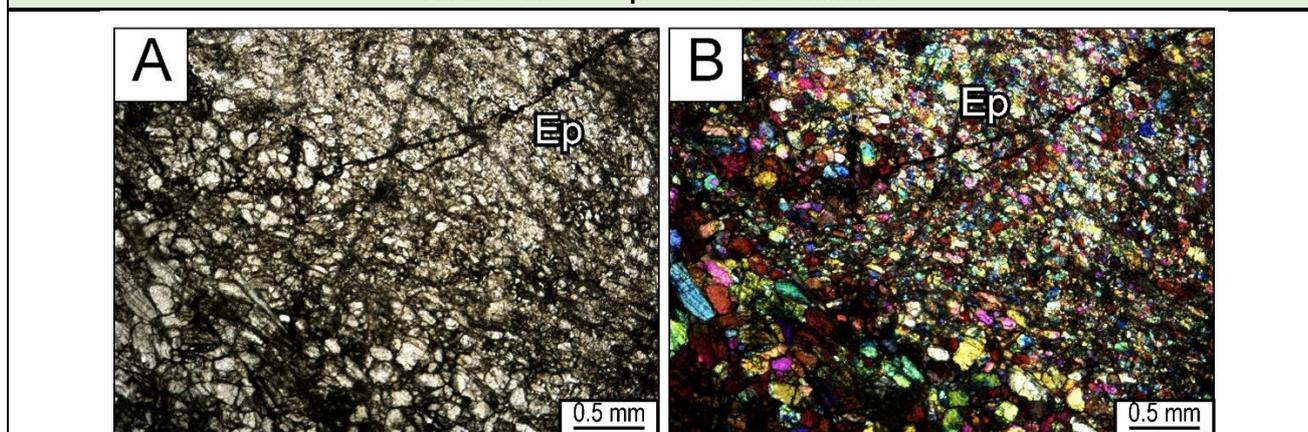
ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Epidota (Ep)	80%	<p>NP: Incoloro, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos, con tamaños de hasta 1.5mm. Cristales con relieve alto. (Figura A-B).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos en este caso magentas, turquesa, verdes, etc.</p>
Actinolita (Act)	5%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) con tamaños de hasta 0.05mm. Cristales con relieve medio – alto.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas.</p>
Minerales Accesorios		
Opacos (Opq)	1%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.
Rutilo (Rt)	1%	<p>NP: amarillo marrón-rojizo, con pleocroísmo suave entre amarillo-marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve alto.</p> <p>NC: Extinción paralela.</p>

Características de la roca / Observaciones:

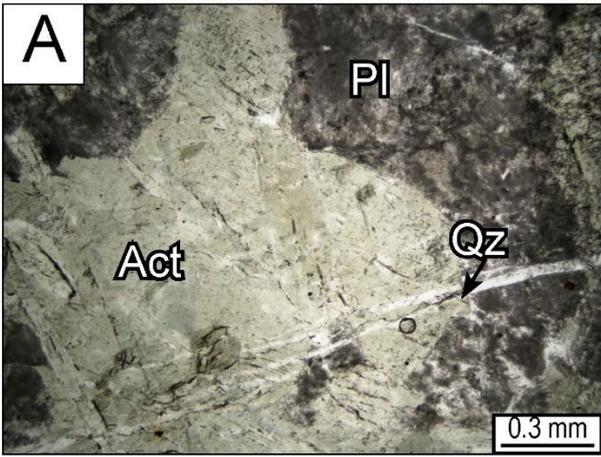
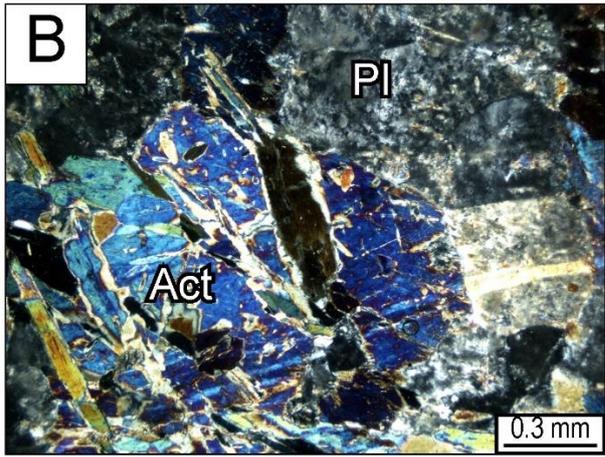
La roca presenta tamaños de cristales de epidota varían desde 0.02mm hasta 1.5mm.
La muestra presenta en su totalidad el mineral secundario que en este caso es la epidota.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Esquisto verde	Meteorización	
-------------------	----------------	---------------	--

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA		
Código	BAT-ORO-14	
ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Composición de la roca		Muestra de mano
<p>Roca de color gris claro de textura nematoblástica, con cristales de hasta 1cm.</p> <p>Compuesta principalmente de actinolita (57%), plagioclasa (30%), epidota (8%), clorita (3%) y cuarzo (2%).</p> <p>Esquistosa, foliada y con venas de hasta 1mm.</p>		
ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Actinolita (Act)	51%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2.6mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso turquesa (Fig. B).</p>
Plagioclasa (Pl)	40%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 1.2 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>
Epidota (Ep)	5%	<p>Producto de alteración de los Amp.</p> <p>NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos, con tamaños de hasta 0.2mm. Cristales con relieve alto.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos.</p>
Minerales Accesorios		
Opacos (Opq)	<1%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.
Rutilo (Rt)	<1%	<p>NP: amarillo marrón-rojizo, con pleocroísmo suave entre amarillo-marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve alto.</p> <p>NC: Extinción paralela.</p>
Titanita (Ttn)	<1%	<p>NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto.</p> <p>NC: Extinción oblicua.</p>
Cuarzo (Qz)	<1%	<p>Rellenando fracturas en la roca y formando venas.</p> <p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Granos anhedrales con tamaños menores a 0.3mm mm y relieve bajo.</p> <p>NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1^{er} orden (entre grises y blancos).</p>
Características de la roca / Observaciones:		
<p>La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Las plagioclasas más frescas en sus bordes presentan procesos de saussuritización, el cual consiste en la alteración de plagioclasa a epidota. Además, presentan estructuras como foliación y esquistosidad de los minerales.</p>		
Análisis microscópico con luz transmitida		

A	B		
			
Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquisto verde	Meteorización	

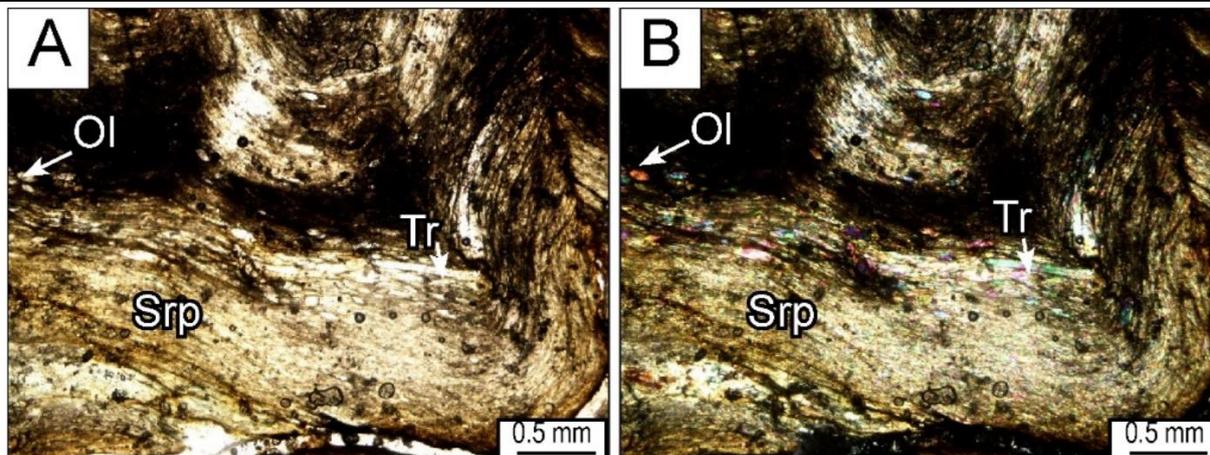
ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA		
Código	BAT-25	
ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Composición de la roca	Muestra de mano	
<p>Roca de color verde maciza, foliada y plegada. Compuesta principalmente por microcristales de serpentina (77%), actinolita (13%), olivino (9%) y piroxeno (1%).</p>		
ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Serpentina (Srp)	77%	NP: Producto de la alteración del olivino NP: incoloro. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (agregados masivos con hábito fibroso) (Fig. A-B). Cristales con relieve bajo (Fig. A). NC: Extinción paralela y colores de 1 ^{er} orden (gris-blanco), raramente superiores (Fig. B).
Tremolita (Tr)	13%	NP: Por lo general es incoloro, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados casi fibrosos). Cristales con relieve medio – alto. Con tamaños de hasta 1mm. (Fig. A). NC: Colores de interferencia de finales 1 ^{er} orden hasta la mitad de 2do orden (naranja, rojo, azul, verde, magenta, etc.) (Fig. B).
Olivino (Ol)	8%	NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo. Presenta pequeños cristales redondeados con relieve alto (Fig. A). El olivino presente es cortado y rodeado por los cristales de serpentina. Con tamaños de hasta 0.09 mm. NC: Extinción paralela y colores de interferencia finales de 2do orden e inicio de 3er orden, en colores (naranja, rojo, azul, verde, magenta, etc.) (Fig. B).
Titanita (Ttn)	<1%	NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua.

Ortopiroxeno (Opx)	<1%	<p>NP: Por lo general es incoloro, pero puede presentar colores como verde pálido o parduzco y marrón pálido, pleocroísmo débil. Cristales idioblásticos – subidioblástico (prismas cortos, formas octagonales o cuadradas) con tamaños de hasta 0.1mm. Cristales con relieve medio – alto.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden (colores café, gris, etc.), en este caso café.</p>
--------------------	-----	--

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta cumulos xenoblásticos de cristales ferromagnesianos, con microplegamiento que afecta principalmente a los cristales de serpentina y en ciertas a ocasiones a los cristales de tremolita, olivino y ortopiroxeno que siguen la dirección de la deformación.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Harzburgita Serpentinizada	Meteorización	baja
-------------------	----------------------------	---------------	------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código BA-ORO-6

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Roca de color gris verdoso claro de textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 2mm. Compuesta principalmente cristales de hornblenda (40%), plagioclasa (40%), epidota (13%), actinolita (6%) y opacos (1%), Presenta foliación, esquistosidad y deformación (plegamiento).

Muestra de mano



Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta textura nematoblástica. Además, de estructuras como foliación de los minerales y vetas de Pl y deformación.

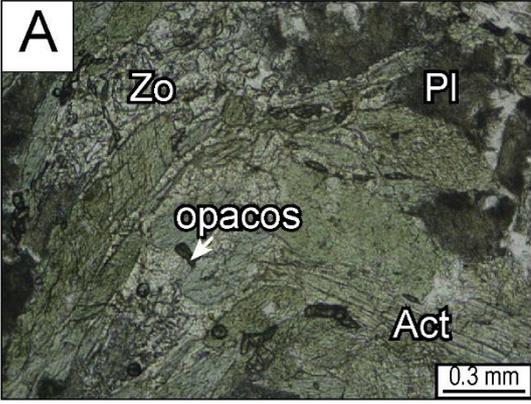
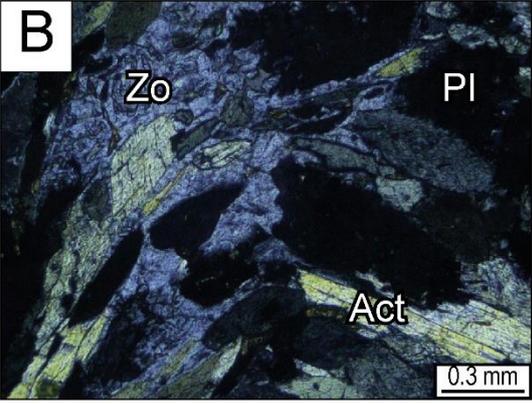
Nombre de la roca	Anfibolita en facies de anfibolita	Meteorización	Baja
-------------------	------------------------------------	---------------	------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código BA-ORO-7

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca		Muestra de mano
<p>Roca maciza de color gris oscuro con tonalidades verdes de textura nematoblástica, con cristales de hasta 5mm. Compuesta principalmente cristales de hornblenda (40%), plagioclasa (40%), epidota (10%), actinolita (9%) y opacos (1%), Presenta foliación, esquistosidad y deformación (plegamiento).</p>		
ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Hornblenda (Hbl)	40%	<p>NP: Color marrón, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1.6mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas a celeste (Fig. B).</p>
Plagioclasa (Pl)	40%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto "sucio" por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 1.4 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>
Actinolita (Act)	8%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1.6mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas a celeste (Fig. B).</p>
Epidota (Ep)	7%	<p>Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos. Cristales con relieve alto. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos.</p>
Zoisita (Zo)	2%	<p>Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Cristales subidioblásticos (cristales alargados) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 0.8mm. Cristales con relieve alto (Fig. A). Existe recristalización de la zoisita entre los cristales de Act, Pl y Ep. NC: Extinción paralela y colores de interferencia bajos de 1^{er} orden, en este caso el azul anómalo (Fig. B).</p>
Minerales Accesorios		
Titanita (Ttn)	<2%	<p>NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua.</p>
Opacos (Opq)	<1%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.
<p>Características de la roca / Observaciones: La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Las plagioclasas más frescas en sus bordes presentan procesos de saussuritización, el cual consiste en la alteración de plagioclasa a epidota. Además, presentan estructuras como foliación y esquistosidad de los minerales.</p>		
Análisis microscópico con luz transmitida		

A		B	
Nombre de la roca	Anfibolita en facies de anfibolita	Meteorización	baja

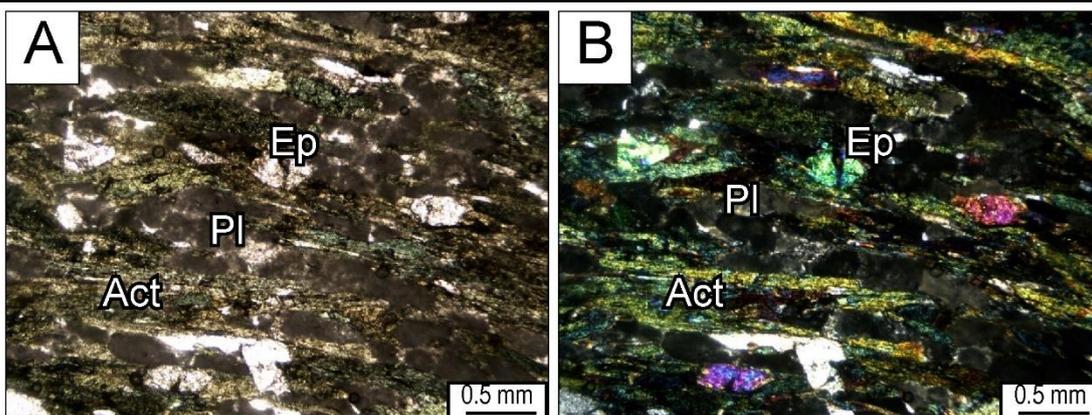
ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA		
Código	BAT-07	
ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Composición de la roca	Muestra de mano	
<p>Roca maciza de color gris oscuro con tonalidades verdes de textura nematoblástica, con cristales de hasta 1mm. Compuesta principalmente cristales de plagioclasa (40%), actinolita (39%), hornblenda (10%), epidota (10%), y opacos (1%). Presenta foliación, esquistosidad y venas.</p>		
ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Plagioclasa (Pl)	40%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 1 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos. En las plagioclasas más frescas se evidencia un maclado polisintético y debido a esto se le atribuye a una composición Andesina.</p>
Actinolita (Act)	39%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso naranjas a celeste (Fig. B).</p>
Hornblenda (Hbl)	10%	<p>NP: Color marrón, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) con tamaños de hasta 2mm. Cristales con relieve medio – alto.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso marrón, naranjas a celeste.</p>

Epidota (Ep)	10%	Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos. Cristales con relieve alto. Con tamaños de hasta 0.4mm (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos (Fig. A-B).
Minerales Accesorios		
Opacos (Opq)	<1%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Las plagioclasas más frescas en sus bordes presentan procesos de saussuritización, el cual consiste en la alteración de plagioclasa a epidota. Además, presentan estructuras como foliación y esquistosidad de los minerales.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquistos verde	Meteorización	
--------------------------	---	----------------------	--

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	T3.1	
---------------	------	--

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
<p>Roca de color verdoso claro a naranja de textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 2.5mm. Compuesta principalmente cristales de Actinolita/tremolita (50%), plagioclasa (40%) y epidota (10%). Presenta foliación, esquistosidad y deformación (plegamiento).</p>	

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta textura nematoblástica. Además, de estructuras como foliación de los minerales aciculares.

Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquistos verde	Meteorización	media
--------------------------	---	----------------------	-------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	T3.2		
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de gris oscuro a verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 2mm. Compuesta principalmente cristales de Actinolita/tremolita (50%), plagioclasa (44%) y epidota (6%). Presenta foliación.</p>			
<p>Características de la roca / Observaciones: La roca presenta textura nematoblástica. Además, de estructuras como foliación de los minerales aciculares.</p>			
Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquisto verde	Meteorización	baja

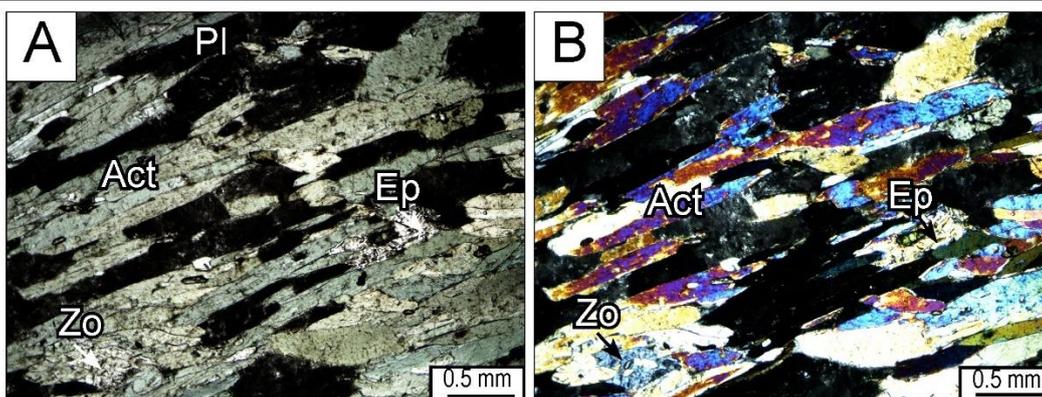
ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA			
Código	T3.3		
ANÁLISIS MACROSCÓPICO			
Composición de la roca		Muestra de mano	
<p>Roca de gris oscuro a verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 3mm. Compuesta principalmente cristales de Actinolita (50%), plagioclasa (44%) y epidota (6%). Presenta foliación y esquistosidad.</p>			
ANÁLISIS MICROSCÓPICO			
Mineral	%	Propiedades	
Minerales principales			
Actinolita (Act)	47%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso naranjas a turquesa (Fig. B).</p>	
Plagioclasa (Pl)	44%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 1.5 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>	
Epidota (Ep)	4%	<p>Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos. Cristales con relieve alto. Con tamaños de hasta 0.4mm (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos (Fig. A-B).</p>	

Zoisita (Zo)	3%	Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Cristales subidioblásticos (cristales alargados) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 0.5mm. Cristales con relieve alto (Fig. A). NC: Extinción paralela y colores de interferencia bajos de 1er orden, en este caso el azul anómalo (Fig. B). La zoisita ha recrystalizado entre los cristales de Act y Pl.
Minerales Accesorios		
Titanita (Ttn)	<2%	NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Además, presentan estructuras como foliación y esquistosidad de los minerales.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquistos verde	Meteorización	baja
--------------------------	---	----------------------	------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	T1.1
---------------	------

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
<p>Roca de gris oscuro a verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 3mm. Compuesta principalmente cristales de Actinolita (45%), plagioclasa (43%) y epidota (12%). Presenta foliación y esquistosidad.</p>	

ANÁLISIS MICROSCÓPICO

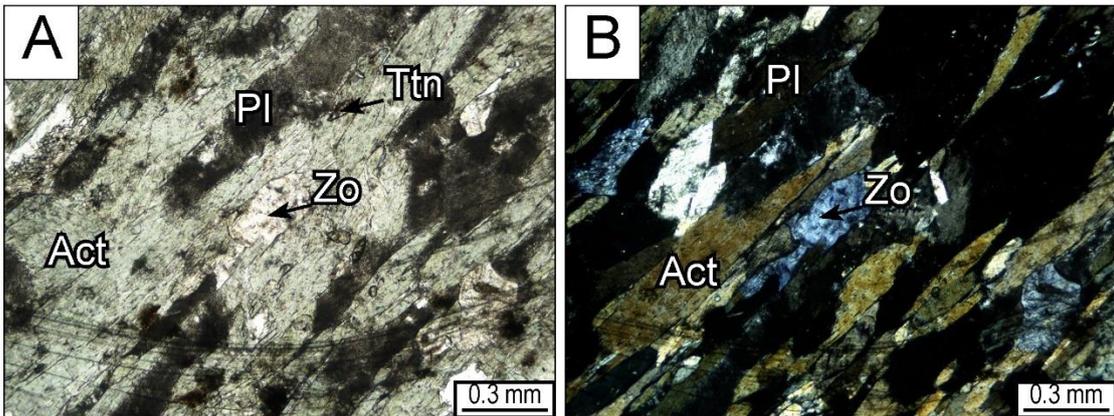
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Actinolita (Act)	45%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos – subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2.6mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1er orden e inicios de 2do orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso naranjas (Fig. B).</p>
Plagioclasa (Pl)	43%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 2 mm (Fig. A). Las</p>

		plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1 ^{er} orden, en tonos grises y blancos.
Zoisita (Zo)	10%	Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Cristales subidioblásticos (cristales alargados) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 0.2mm. Cristales con relieve alto (Fig. A). NC: Extinción paralela y colores de interferencia bajos de 1er orden, en este caso el azul anómalo (Fig. B). La zoisita ha recrystalizado entre los cristales de Act.
Minerales Accesorios		
Titanita (Ttn)	<2%	NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua. Presentan tamaños de hasta 0.3mm (Fig. A).

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Además, presentan estructuras como foliación y esquistosidad de los minerales.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquistos verde	Meteorización	baja
--------------------------	---	----------------------	------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código T2.2.1

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Roca de gris oscuro a verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 2.5mm. Compuesta principalmente cristales de Actinolita/tremolita (48%), plagioclasa (40%) y epidota (12%). Presenta foliación y esquistosidad.

Muestra de mano

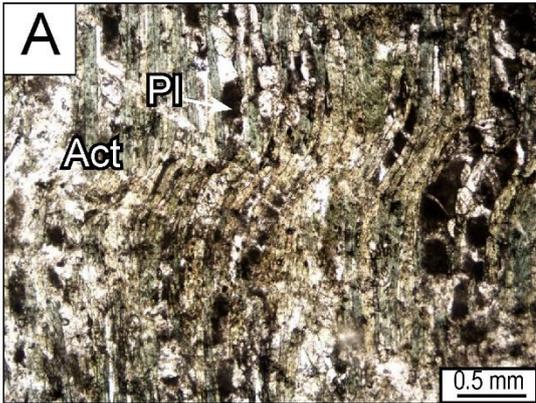
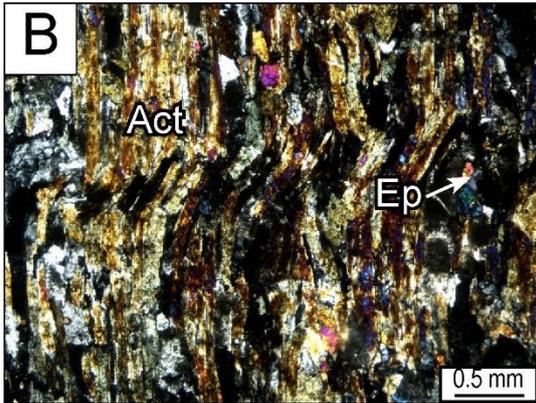


Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta textura nematoblástica. Además, de estructuras como foliación de los minerales aciculares y esquistosidad.

Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquistos verde	Meteorización	baja
--------------------------	---	----------------------	------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA		
Código	BAT-27	
ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Composición de la roca		Muestra de mano
<p>Roca de gris oscuro a verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 1.5mm. Compuesta principalmente cristales de Actinolita (47%), plagioclasa (37%), epidota (15%) y opacos (1%). Presenta foliación y esquistosidad.</p>		
ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Actinolita (Act)	42%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1.8mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso naranjas-marrones (Fig. B).</p>
Plagioclasa (Pl)	39%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 1.1 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>
Epidota (Ep)	15%	<p>Producto de alteración de los Amp, ha recrystalizado entre y en los cristales de Amp y Pl. NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos. Cristales con relieve alto. Con tamaños de hasta 1mm. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos (Fig. B).</p>
Minerales Accesorios		
Titanita (Ttn)	<2%	<p>NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua. Presentan tamaños de hasta 0.3mm.</p>
Zoisita (Zo)	<1%	<p>Producto de alteración de los Amp. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Cristales subidioblásticos (cristales alargados) con tamaños de hasta 1.1mm. Cristales con relieve alto. NC: Extinción paralela y colores de interferencia bajos de 1^{er} orden, en este caso el azul anómalo. La zoisita ha recrystalizado entre los cristales de Act.</p>
Opacos (Opq)	<1%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.
<p>Características de la roca / Observaciones: La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Además, presentan estructuras como foliación, esquistosidad de los minerales y en ciertas zonas existe microplegamiento (Fig. A-B).</p>		
Análisis microscópico con luz transmitida		

A		B	
Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquistos verde	Meteorización	baja

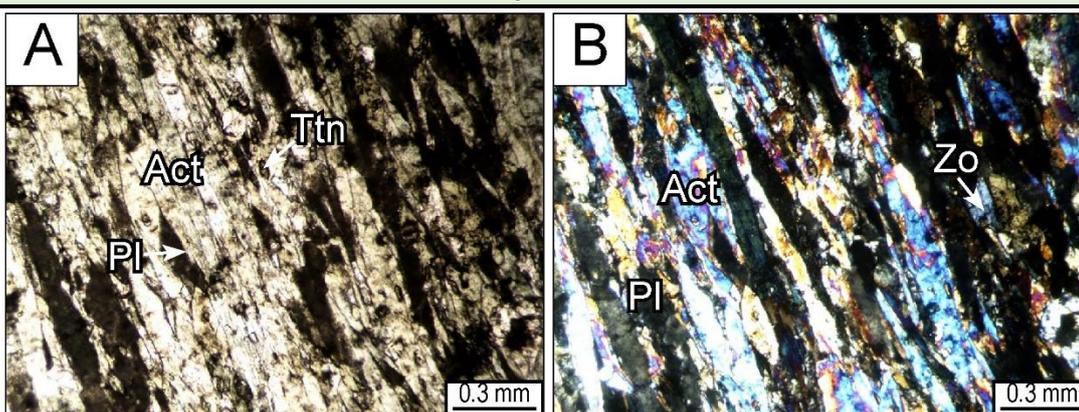
ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA		
Código	BAT-30	
ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Composición de la roca	Muestra de mano	
<p>Roca de gris oscuro a verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 1.3mm.</p> <p>Compuesta principalmente cristales de Actinolita (44%), plagioclasa (40%), epidota (15%) y opacos (1%).</p> <p>Presenta foliación, esquistosidad y venas de plagioclasa de hasta 1mm.</p>		
ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Actinolita (Act)	42%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales subidioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 1.8mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A).</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso naranjas-marrones (Fig. B).</p>
Plagioclasa (Pl)	40%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 1.4 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>
Epidota (Ep)	13%	<p>Producto de alteración de los Amp, ha recrystalizado entre y en los cristales de Amp y Pl.</p> <p>NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos. Cristales con relieve alto. Con tamaños de hasta 0.1mm.</p> <p>NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos (Fig. B).</p>
Minerales Accesorios		
Zoisita (Zo)	<2%	<p>Producto de alteración de los Amp, ha recrystalizado entre y en los bordes de los cristales de Act y Pl.</p> <p>NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Cristales subidioblásticos (cristales alargados) con tamaños de hasta 0.2mm. Cristales con relieve alto.</p>

		NC: Extinción paralela y colores de interferencia bajos de 1er orden, en este caso el azul anómalo. La zoisita ha recrystalizado entre los cristales de Act.
Titanita (Ttn)	<1%	NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua.
Rutilo (Rt)	<1%	NP: amarillo marrón-rojizo, con pleocroísmo suave entre amarillo-marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve alto. NC: Extinción paralela.
Opacos (Opq)	<1%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Además, presentan estructuras como foliación, esquistosidad de los minerales.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquistos verde	Meteorización	
--------------------------	---	----------------------	--

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	BA-ORO-17
---------------	-----------

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
<p>Roca de color naranja por producto de procesos de meteorización con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 3mm. Compuesta principalmente cristales de Actinolita (50%), plagioclasa (33%), epidota (10%), clorita (6%) y cuarzo (1%). Presenta foliación y fracturas.</p>	

Características de la roca / Observaciones:

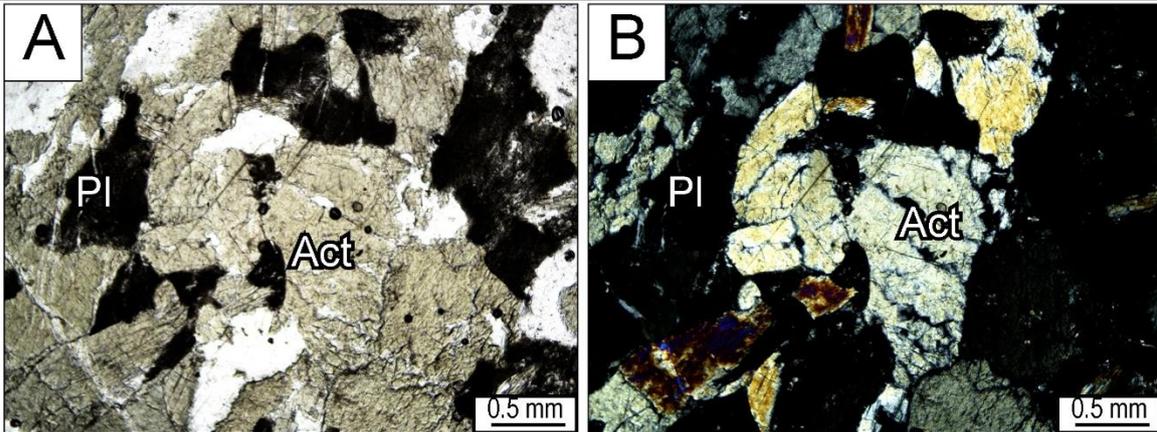
La roca presenta textura nematoblástica. Además, de estructuras como foliación de los minerales aciculares.

Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquistos verde	Meteorización	Alta
--------------------------	---	----------------------	------

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA		
Código	BA-ORO-19	
ANÁLISIS MACROSCÓPICO		
Composición de la roca		Muestra de mano
<p>Roca de gris oscuro a verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 3mm. Compuesta principalmente cristales de Actinolita (47%), plagioclasa (38%), epidota (8%), clorita (5%) y opacos (2%). Presenta foliación y esquistosidad.</p>		
ANÁLISIS MICROSCÓPICO		
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Actinolita (Act)	49%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2.3mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso naranjas-marrones (Fig. B).</p>
Plagioclasa (Pl)	40%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 2.4 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos.</p>
Epidota (Ep)	5%	<p>Producto de alteración de los Amp, ha recrystalizado entre y en los bordes de los cristales de Amp y Pl. NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos. Cristales con relieve alto. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos.</p>
Clorita (Chl)	5%	<p>Producto de alteración de los Amp. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas subidioblásticos. Presenta un relieve medio – alto. NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso.</p>
Zoisita (Zo)	3%	<p>Producto de alteración de los Amp, ha recrystalizado entre y en los bordes de los cristales de Act y Pl. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. Cristales subidioblásticos (cristales alargados) con tamaños de hasta 0.2mm. Cristales con relieve alto. NC: Extinción paralela y colores de interferencia bajos de 1^{er} orden, en este caso el azul anómalo. La zoisita ha recrystalizado entre los cristales de Act.</p>
Minerales Accesorios		
Titanita (Ttn)	<1%	<p>NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua.</p>
Rutilo (Rt)	<1%	<p>NP: amarillo marrón-rojizo, con pleocroísmo suave entre amarillo-marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve alto. NC: Extinción paralela.</p>
Cuarzo (Qz)	1%	<p>Rellenando fracturas en la roca y formando venas. De hasta 0.2mm. NP: Incoloro, no presenta pleocroísmo. NC: Extinción ondulante y colores de interferencia de mitad de 1^{er} orden (entre grises y blancos).</p>
Características de la roca / Observaciones:		
<p>La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica y preferentemente decusada. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños</p>		

cristales de Pl). Además, presentan estructuras como foliación, esquistosidad de los minerales. La muestra presenta un tamaño de grano centimétrico.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca

Anfibolita en facies de esquistos verde

Meteorización

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código

BA-ORO-20

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Roca gris verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 2mm.
Compuesta principalmente cristales de Actinolita (47%), plagioclasa (38%), epidota (8%), clorita (5%) y cuarzo (2%).
Presenta foliación, fracturas y venas de hasta 0.5mm.

Muestra de mano



Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta textura nematoblástica. Además, de estructuras como foliación de los minerales aciculares.

Nombre de la roca

Anfibolita en facies de esquistos verde

Meteorización

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código

BA-ORO-21

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca

Muestra de mano

Roca gris verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 4mm.
 Compuesta principalmente cristales de Actinolita (45%), plagioclasa (45%), epidota (6%), clorita (3%) y cuarzo (1%).
 Presenta foliación, fracturas y esquistosidad.



Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta textura nematoblástica. Además, de estructuras como foliación de los minerales aciculares.

Nombre de la roca	Anfibolita en facies de esquisto verde	Meteorización	
--------------------------	--	----------------------	--

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA ROCA CAJA

Código	BA-ORO-36
---------------	-----------

ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Composición de la roca	Muestra de mano
<p>Roca maciza de color gris oscuro a verdosa con textura nematoblástica, con tamaños de cristales de hasta 4mm. Compuesta principalmente cristales de Actinolita (50%), plagioclasa (41%), clorita (5%), epidota (2%), y opacos (2%). Presenta foliación y esquistosidad.</p>	

ANÁLISIS MICROSCÓPICO

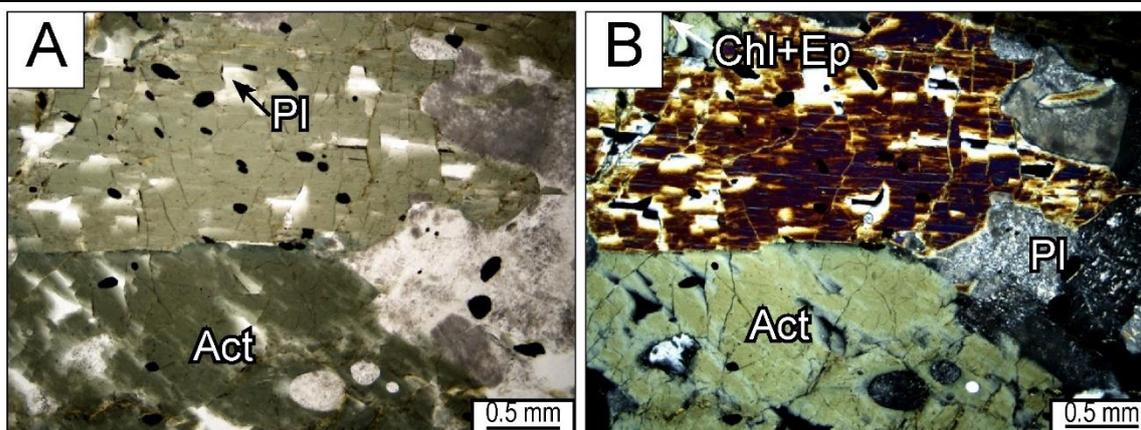
Mineral	%	Propiedades
Minerales principales		
Actinolita (Act)	50%	<p>NP: Color verde, pleocroísmo moderado. Cristales idioblásticos (prismas alargados, formas hexagonales o romboidales, tabulares) (Fig. A-B) con tamaños de hasta 2.9mm. Cristales con relieve medio – alto (Fig. A). NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de finales 1^{er} orden e inicios de 2^{do} orden (naranja, rojo, azul, verde, varios tonos de rosa, etc.), en este caso naranjas-marrones (Fig. B).</p>
Plagioclasa (Pl)	41%	<p>NP: Incoloro y no presenta pleocroísmo, varias zonas del cristal tienen un color castaño a gris, con aspecto “sucio” por producto de procesos de meteorización y/o alteración. Presenta cristales tabulares con relieve bajo y tamaños de hasta 2.5 mm (Fig. A). Las plagioclasas se encuentran dentro de los anfíboles siguiendo una textura poiquiloblástica. NC: Extinción oblicua y colores de interferencia de 1^{er} orden, en tonos grises y blancos. En las plagioclasas frescas se evidencia el maclado polisintético exhibiendo una composición Labradorítico.</p>
Clorita (Chl)	3%	<p>Producto de alteración de los Amp, ha recristalizado entre y en ciertos bordes de los granos de Act. NP: Color verde claro, pleocroísmo de incoloro a varios tonos de verde. Presenta formas subidioblásticos. Presenta un relieve medio – alto (Fig. B). NC: Extinción casi paralela y colores de interferencia anómalos azul intenso.</p>
Epidota (Ep)	2%	<p>Producto de alteración de los Amp, ha recristalizado entre y en los bordes de los cristales de Amp y Pl (Fig. B). NP: Incoloro, amarillento o amarillento-verdoso, pleocroísmo poco marcado. Cristales en granos subidioblásticos. Cristales con relieve alto.</p>

		NC: Extinción oblicua y colores de interferencia muy altos.
Minerales Accesorios		
Opacos (Opq)	<2%	Óxidos de Fe- Ti, distribuidos a lo largo, entre y dentro los minerales principales.
Titanita (Ttn)	<1%	NP: Incoloro-gris, con pleocroísmo marrón claro. Granos subidioblásticos y relieve alto. NC: Extinción oblicua.
Rutilo (Rt)	<1%	NP: amarillo marrón-rojizo, con pleocroísmo suave entre amarillo-marrón. Cristales tabulares subidiomorfos y relieve alto. NC: Extinción paralela.

Características de la roca / Observaciones:

La roca presenta varias texturas, la que más se aprecia a simple vista es la textura nematoblástica y preferentemente decusada. Presenta también, una textura poiquiloblástica, esta textura no afecta a toda la roca, pero indica que un cristal de gran tamaño incluye a pequeños cristales de minerales (en esta muestra se observa que la Act incluye pequeños cristales de Pl). Además, presentan estructuras como foliación, esquistosidad de los minerales. La muestra presenta un tamaño de grano centimétrico.

Análisis microscópico con luz transmitida



Nombre de la roca	Anfibolita en facies de anfibolita	Meteorización	
--------------------------	------------------------------------	----------------------	--