

CORDILLERA REAL: VARIACIÓN DE METAMORFISMO EN EL TRAYECTO ATILLO-NORMANDIA

CORDILLERA REAL: METAMORPHISM VARIATION ALONG THE ATILLO-NORMANDY ROUTE

Erazo Fierro, Gabriel Alejandro.

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Escuela de Geología
gaerazo@uce.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2118-039X>

Aldás Núñez, Roberth Joel.

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Escuela de Geología
rjaldas@uce.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0017-7549>

RESUMEN

La zona de estudio Atillo – Normandía pertenece a la vía Guamote - Macas, ubicada en la Cordillera Real, presenta una alta susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, debido a la inestabilidad del terreno e intensas precipitaciones de la zona. El basamento de la Cordillera Real corresponde a rocas metamórficas y plutónicas, que han sido afectadas por eventos tectono-metamórficos durante el Mesozoico, provocando variaciones locales en el grado metamórfico de secuencias litológicas de la región. Varios autores han determinado que el mayor grado metamórfico se ubica en el centro de la Cordillera y disminuye hacia los flancos. Al determinar la litología del trayecto Atillo – Normandía, definiendo la paragénesis, el mineral tipomorfo se estableció que, existen tres facies metamórficas: prehnita-pumpellyita, esquistos verde y epidota anfíbol. La última facie está plasmada en una roca verde con granates que, al tener el mayor grado metamórfico, marca el eje central de la variación del metamorfismo. Misma que no ha sido descrita en estudios anteriores de Cordillera Real, por lo tanto, mediante análisis DRX se determinó, que esta roca tiene un protolito basáltico, además sufrió un proceso de uralitización que es un proceso característico de retrometamorfismo.

Palabras clave: cordillera real; roca verde; facies metamórficas; uralitización.

ABSTRACT

The Atillo – Normandy study area belongs to the Guamote - Macas highway, located in the Cordillera Real, it has a high susceptibility to mass removal phenomena due to the instability of the terrain and intense rainfall in this area. The basement of the Cordillera Real corresponds to metamorphic and plutonic rocks, which have been affected by tectono-metamorphic events during the Mesozoic, causing local variations in the metamorphic grade of lithological sequences of the region. Several authors have established the highest metamorphic grade is in the center of the Cordillera and decreases towards the flanks. When determining lithology of the Atillo – Normandy route, defining: paragenesis and the tipomorphic mineral, three metamorphic facies was established: prehnite-pumpellyite, green schist and amphibole epidote. The last one it's reflected in a greenstone with garnets, this rock has the highest metamorphic grade, therefore, marks the central axis of the variation of metamorphism. This rock has not been described in previous studies of Cordillera Real, through DRX analysis it was determined, that this rock has a basaltic protolith, furthermore, suffered a process of uralitization that is a characteristic process of retrometamorphism.

Keywords: cordillera real; greenston; metamorphic facies; uralitization.

INTRODUCCIÓN

La Cordillera Real es una cadena montañosa con rumbo andino que se extiende por 650 Km, con una altura entre 3200-5800 m.s.n.m. Tiene un basamento conformado por rocas metamórficas y plutónicas, afectadas por eventos tectono-metamórficos durante el Mesozoico, los cuales han provocado variaciones en el grado metamórfico (Aspden, et al., 1992).

De acuerdo con el mapa geológico del Ecuador 2017 escala 1:1'000.000, la zona de estudio atraviesa las unidades metamórficas: Unidad Maguazo, conformadas por meta-grauvacas y metalavas; la Unidad Alao-Paute, compuesta por metalavas básicas y esquistos verdes; La unidad Agoyán conformada por esquistos y paragneis; La Unidad Chigüinda formada por filitas y cuarcitas; y la Unidad Upano formada por metagrauvacas y metalavas. (INIGEMM, 2017)

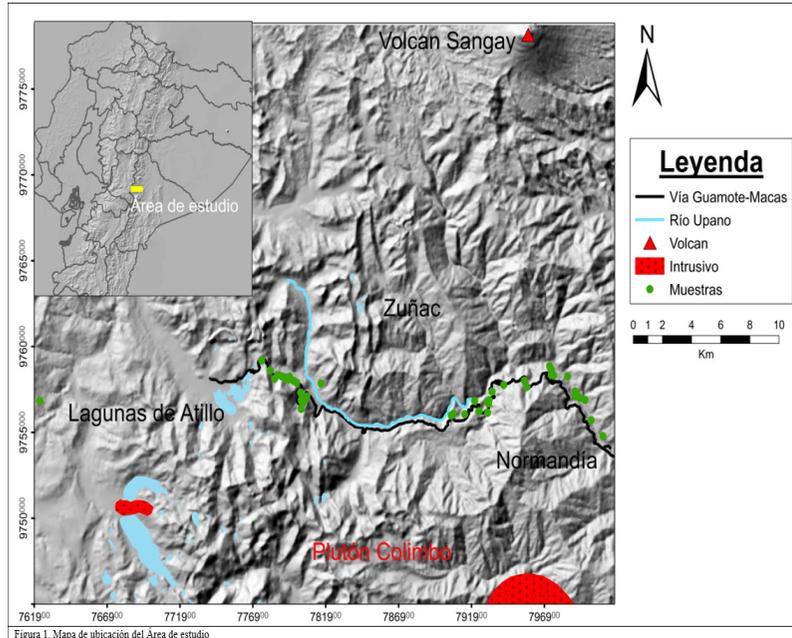


Figura. 1 Trayecto Atillo-Normandía

La Cordillera Real está dividida en cinco unidades litológicas delimitadas por estructuras tectónicas, que de oeste a este son: las Divisiones Guamote, Alao, Loja, Salado y Zamora con sus respectivas suturas, las Fallas: Pelte-tec, Baños, Llanganates y Cosanga-Mendez. (Pratt, et al., 2005). Litherland, et al, (1994) sostiene que el grado metamórfico asciende desde la División Guamote hasta llegar a su grado más alto en la División Loja, continuando hacia el este, hasta la División Zamora, el grado metamórfico desciende.

Según Litherland, et al, (1994) en el trayecto Atillo-Macas la Unidad Alao-Paute forma una franja de aproximadamente 15 Km de ancho que está en contacto con la Unidad Maguazo, esta Unidad en la zona de Atillo se conforma por: filitas negras ferruginosas, ortocuarcitas y cherts. La presencia de hornblenditas y gabros hornblendíticos, en el Río Villacruz, sugiere la existencia de un complejo máfico, ubicado al sur del Río Upano, a lo largo de la vía Atillo Macas; además, en esta zona se encuentran rocas de bajo grado metamórfico de la Unidad Upano.

El trayecto Atillo-Normandía se encuentra ubicado en el flanco Oriental de la Cordillera Real y pertenece a la vía Guamote-Macas. El cual es paralelo al cauce del río Upano y está cerca de intrusiones granodioríticas, el intrusivo de Magtayán hacia el suroeste y el Plutón de Colimbo al sureste. (Litherland, et al., 1994) Figura 1.

Francisco Viteri (2018) en entrevista personal sostiene que en el Río Upano dentro de la zona de estudio se reportaron clastos de una roca verde con granates, sin embargo, no se ha registrado algún afloramiento con este tipo de roca a lo largo de la vía

Atillo-Normandía.

Debido a su difícil acceso y susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, el trayecto no ha sido analizado geológicamente, por ende el objetivo de este estudio es encontrar el afloramiento de rocas verdes con granates, brindar un análisis petrográfico y constatar la tendencia del grado metamórfico de la Cordillera Real, para esto es necesario tomar muestras en campo y realizar un análisis petrográfico.

METODOLOGÍA

En el trayecto Atillo - Normandía se realizó varias campañas de campo, durante los meses de diciembre de 2018 y enero de 2019, donde se recolectó 46 muestras de roca. Los afloramientos están cubiertos por depósitos coluviales lo que limitó la cantidad de muestras recolectadas.

Se realizó el estudio petrográfico de las rocas, sin embargo, algunas muestras, por su dificultad de análisis macroscópico fueron

sometidas a estudios microscópicos y de Difracción de Rayos X (DRX) con el difractor D8 ADVANCE PLUS de la Escuela Politécnica Nacional, para describir la petrografía de la zona.

Con los análisis petrográficos se determinó mineralogía, mineral tipomorfo y se asignó facies metamórficas, con la ayuda de tablas de paragénesis diagnósticas para rocas metamórficas (Best, 2003)(Bucher & Grapes, 2011).

Además con los resultados se comparó la variación del grado metamórfico establecido por (Aspden, et al., 1992) (Litherland, et al., 1994) (Pratt, et al., 2005) para Cordillera Real.

RESULTADOS

El metamorfismo de la Cordillera Real trayecto Atillo- Normandía

Las muestras fueron divididas en cuatro grupos según su protolito, así se puede determinar fácilmente el mineral tipomorfo, estos grupos presentan 3 facies metamórficas que, en orden ascendente respecto al grado metamórfico son: Prehnita-Pumpellyita, Esquisto Verde y Epidota-Anfibol. A pesar de tener una misma facie metamórfica, las paragénesis no son iguales, esto causa una irregularidad en el mineral tipomorfo.

Petrografía

Metapelitas

Chert

Características: Color blanquecino, estructura masiva, micro-granular, cohesiva.

Meta-pelita

Características: Color oscura, estructura masiva, fino granular, poco grafitoso, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es el grafito.

Rocas verdes y metavolcánicas

Esquistos cloríticos

Características: Color verde oscuro, estructura esquistosa, fino granular, presencia de clorita y biotita, con facie Esquistos verdes y su mineral tipomorfo es la biotita.

Esquistos grafitosos

Características: Color negro, estructura esquistosa, fino granular, vetillas de cuarzo y calcita, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es el grafito.

Esquistos cuarzo-sericítico

Características: Color grisáceo, estructura bandeada, fino granular, presencia de carbonato y sulfuros, especialmente pirita, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es sericita.

Meta-volcánicos

Características: Color verde oliva, estructura esquistosa, fino granular, presencia de carbonato y sulfuros, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es clorita.

Metasedimentos y rocas verdes

Cuarcita

Características: Color gris claro, presenta lineamientos, es granular, con facie Prehnita – pumpellyita y su mineral tipomorfo es moscovita.

Rocas verdes con granate

Características: Color verde oscuro, sin estructura ni textura, con porfiroblasto euhedral fracturados de granate color marrón rojizo y reemplazados parcialmente por clorita, además existen trazas de calcita, la facie metamórfica es epidota anfibol y su mineral tipomorfo es granate. Figura 2.

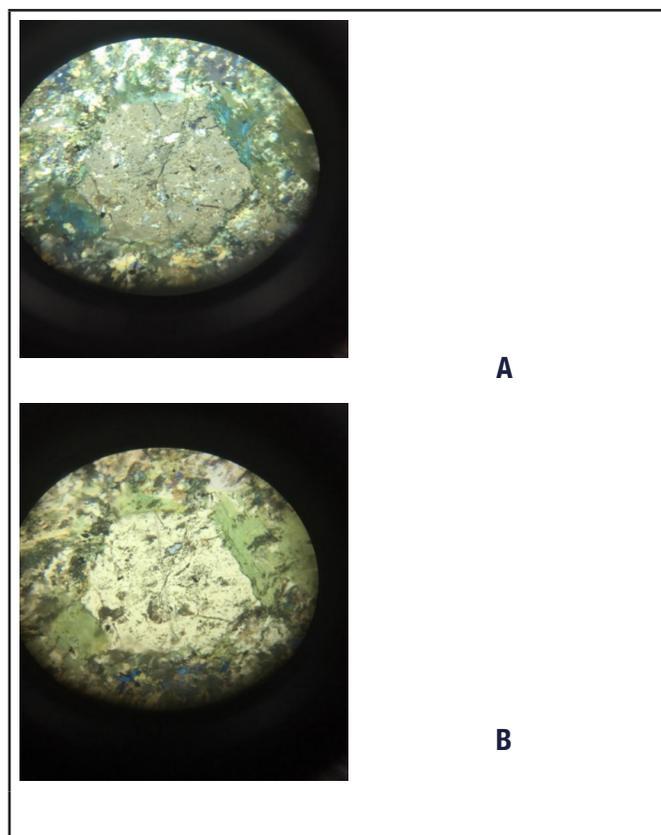


Figura 2. Lámina delgada PM-M4B. A) Fotografía luz polarizada. B) Fotografía en luz natural. Se observa granate fracturado, clorita que está rodeando y reemplazando al granate.

Esquisto sericítico

Características: Color negro, estructura esquistosa, fino granular, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es sericita.

Meta-sedimentos afectadas por intrusión

Cuarzitas

Características: Color amarillento, estructura no bandeada, granular, presencia de hidróxidos y sulfuros, especialmente limolita y pirita respectivamente, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es sericita.

Esquistos sericítico

Características: Color grisáceo, estructura esquistosa y microestructuras S-C. Figura 3, fino granular, presenta trazas de carbonato y sulfuros, auges de cuarzo, con facie Prehnita-Pumpellyita y su mineral tipomorfo es sericita.

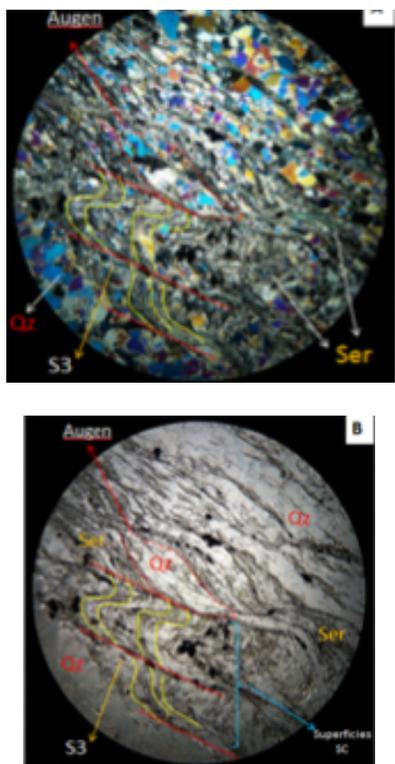


Figura 3. Lámina delgada P15-D2-M1. A) Fotografía luz polarizada. B) Fotografía en luz natural. Se observa estructuras S-C, disminución de tamaño de grano, Augens de cuarzo lo cual es un indicador de tectonismo

Coesita	SiO ₂	5
Chamosita	(Fe ²⁺ , Mg, Fe ³⁺) ₆ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₈	4
Diópsido	CaMgSi ₂ O ₆	3
Granate	(Ca,Fe,Mn) ₃ (Al,Fe,Mn) ₂ (SiO ₄) ₃	3

Fuente: Escuela Politécnica Nacional (2019)

Muestra PM-M4B

La muestra PM-M4B fue sometida a análisis de DRX, debido a la presencia de granates y fue analizada en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, donde se utilizó el difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para la cualificación y semi-cuantificación, los resultados se observan en la Tabla 1, además, la muestra también fue analizada en los laboratorios de Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) y sus resultados se muestran en la Fig. 4.

El análisis realizado en INPC fue ejecutado especialmente sobre las zonas dónde se concentraban los granates, los cuales son:

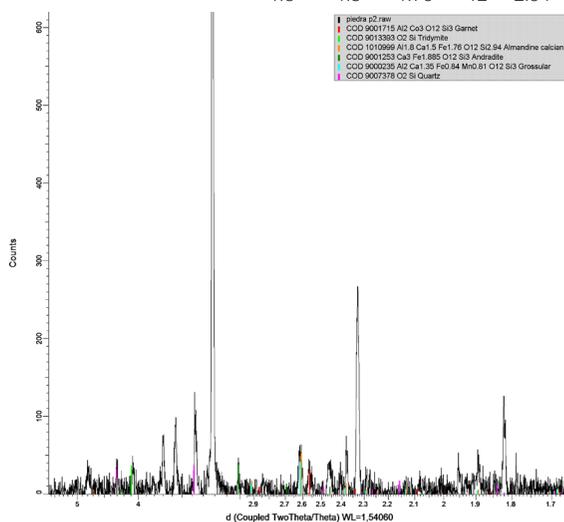


Figura 4. Difractograma de la muestra PM-4B

Grado metamórfico

El grupo de las metapelitas, ubicadas en la parte más Occidental del trayecto tiene la facie prehnita-pumpellyita, siguiendo hacia el este el grupo de las rocas verdes y metavolcánicas son dominadas por dos facies prehnita-pumpellyita y esquisto verde, con la aparición de clorita como mineral tipomorfo. El grupo de metasedimentos y rocas verdes está dominado por la

Tabla 1. Resultados del análisis DRX

Mineral	Fórmula	(%)
Grupo plagioclasas	(Na, Ca) Al (Si, Al) Si ₂ O ₈	44
Magnesiohornblenda	(Ca, Na) _{2,26} (Mg, Fe, Al) _{5,15} (Si, Al) ₈ O ₂₂ (OH) ₂	14
Tremolita	Ca ₂ Mg ₅ (OH, F) ₂ Si ₈ O ₂₂	10
Clinocloro	(Mg, Fe) ₅ (Si, Al)4O ₁₀ (OH) ₈	6
Moscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	6
Cuarzo	SiO ₂	5

Tabla 2. Tabla de datos resumen para las 46 muestras del tramo Atillo-Normandía.

Punto	x	y	S1	S2	Muestra	Litología	*Facies	M. Tipomorfo	Protolito Petrográficas	Unidades
1	762323	9756820	355/30	-	P1M1/M2	Metasedimentaria/ Chert	P-P	Grafito	Básico/ Pelítico	Metapelita
2	777554	9759182	121/80	-	G2D2P3	Metavolcánica	Ev	Clorita	Básico	Rocas verdes y Metavolcánicas
3	778132	9758599	260/35	194/76	G2D2P5	Esquisto clorítico	Ev	clorita	Básico	
4	778448	9758121	262/36	-	G2D2P7	Esquisto clorítico	P-P	clorita	Pelítico	
5	778666	9758338	268/35	-	G2D2P6	Metavolcánica	Ev	clorita	Básico	
6	778919	9758256	283/50	-	G2D2P9	esquisto grafitoso con sericita	P-P	grafito	Pelítico	
7	779150	9758185	298/55	-	G2D2P10	Metavolcánica	Ev	Clorita	Básico	
8	779220	9758100	263/83	186/74	G2D2P11	Esquisto grafitoso	Ev	Grafito	Básico	
9	779380	9758069	290/38	-	G2D2P12	Esquisto clorítico	P-P	Clorita	Básico	
10	779387	9758157	245/58	275/85	G3S2P6M1	Esquisto moscovítico con grafito y cuarzo	P-P	Moscovita	Pelítico	
11	779477	9758234	270/69	310/70	G3S2P7M1	Metavolcánica	P-P	Clorita	Básico	
12	779749	9757988	272/65	-	G3S2P8M1	Esquisto moscovítico con grafito y cuarzo	P-P	Moscovita	Pelítico	
13	779956	9757878	257/72	-	G3S2P9M1	Metavolcánica	P-P	Clorita	Básico	
14	780228	9757303	281/71	-	G3S2P11M1	Esquisto moscovítico con grafito y cuarzo	P-P	Moscovita	Pelítico	
15	780255	9756360	-	-	G3S2P12M1	Esquisto biotítico	P-P	Clorita	Pelítico	
16	780260	9756863	290/55	-	G3S2P13M1	Metavolcánica	P-P	Moscovita	Básico	
17	780357	9756682	283/57	-	G3S2P14M1	Esquisto moscovítico con grafito y cuarzo	P-P	Sericita	Pelítico	
18	780551	9756940	210/50	-	G3S2P17M1	Esquisto moscovítico con clorita y cuarzo	Ev	Clorita	Pelítico	
19	780655	9757089	270/62	060/47	G3S2P18M1	Esquisto grafitoso con cuarzo	P-P	Grafito	Pelítico	
20	781628	9757836	-	-	P12-M1-D3	Cuarcita	P-P	Moscovita	Qz-Fk	
21	790560	9755979	270/42	-	PM - M3	Esquisto biotítico	Ev	Biotita	Pelítico	Metasedimentos y Rocas verdes
22	790702	9756080	294/45	-	PM - M4A-C	Cuarcita/ Roca verde/ esquisto pelítico	E-A	Granate	Básico/Qz-Fk	
23	791484	9756054	220/25	-	PM - M7	Esquisto grafitoso	P-P	Grafito	Pelítico	
24	792176	9756825	330/12	-	PM - M7/M8	Esquisto grafitoso/ Cuarcita	P-P	Grafito	Pelítico	
25	792475	9756225	225/50	-	G7_D1P7M1	Esquisto cuarzo sericítico con biotita	Ev	Moscovita	Pelítico	
26	793040	9756740	223/71	-	G7_D2P4M1	Esquisto clorítico con sericita	Ev	Sericita	Pelítico	
27	793056	9756132	265/50	-	G7-D2P6M1	Cuarcita	Ev	Sericita	Qz-Fk	
28	793122	9756675	060/30	072/22	G7_D1P3M1	Esquisto grafitoso con sericita	Ev	Sericita	Pelítico	
29	793160	9756874	185/20	-	G7_D2P5M1	Esquisto grafitoso con sericita	Ev	Sericita	Pelítico	
30	793364	9757363	250/77	-	G7_D1P2M1	Esquisto clorítico con sericita	Ev	Sericita	Pelítico	
31	794162	9757748	165/28	210/21	G7_D2P15M1	Esquisto grafitoso con sericita	Ev	Sericita	Pelítico	
32	795574	9758000	218/22	-	G7_D2P13M1	Esquisto cuarzo- grafitoso	P-P	Grafito	Pelítico	
33	795757	9757635	183/31	250/20	G7_D2P12M1	Esquisto grafitoso con cuarzo	P-P	Sericita	Pelítico	
34	797305	9758850	31/40	-	P18-D2-M1	Esquisto grafitoso	P-P	Grafito	Pelítico	
35	797435	9758350	145/32	-	P16-D2-M1	Esquisto grafitoso	P-P	Grafito	Pelítico	Metasedimentos afectadas por Intrus
36	797450	9758600	95/07	68/56	P17-D2-M1	Esquisto moscovítico	P-P	Moscovita	Pelítico	
37	797600	9758300	142/22	56/54	P15-D2-M1	Esquisto sericítico	P-P	Sericita	Pelítico	
38	798550	9758250	270/27	-	P19-D2-M1	Esquisto Cuarzo sericítico	P-P	Sericita	Pelítico	
39	799050	9757100	218/12	276/27	P11-D2-M1	Esquisto grafitoso	P-P	Grafito	Pelítico	
40	799050	9757370	195/20	-	P14-D2-M1	Esquisto grafitoso	P-P	Grafito	Pelítico	
41	799250	9757100	191/31	143/20	P10-D2-M1	Esquisto sericítico	P-P	Sericita	Pelítico	

42	799250	9757350	315/59	120/66	P13-D2-M1	Esquisto sericítico con clorita	P-P	Sericita	Pelítico
43	799350	9757000	115/64	-	P9-D2-M1	Esquisto sericítico	P-P	Sericita	Pelítico
44	799750	9756880	150/48	-	P8-D2-M1	Esquisto moscovítico	P-P	Sericita	Pelítico
45	800158	9755700	220/36	-	P7-D2-M1	Esquisto cuarzo sericítico	P-P	Sericita	Pelítico
46	800960	9754775	178/56	-	P5-D2-M1	Esquisto clorítico con sericita	Ev	Clorita	Pelítico

Las 46 muestras fueron analizadas macroscópicamente y 4 microscópicamente

*Nomenclatura para facies metamórficas: Prehnita-Pumpellyita (P-P), Esquisto Verde (Ev), Epidota-Anfíbol (E-A)

sin embargo, en un punto la facie metamórfica es de epidota-anfíbol a causa de la aparición de granates, finalmente el grupo de metasedimentos afectados por intrusión domina una facie metamórfica prehnita-pumpellyita.

Dentro del estudio destaca las muestras analizadas en el Km 63 (al oeste de Zuñac), con la siguiente paragénesis: clorita ± plagioclasa ± cuarzo, ± granate, ± piroxenos ± anfíboles, debido a la aparición de granates se infiere que esta zona fue sometida a mayores condiciones de metamorfismo.

DISCUSIÓN

Metamorfismo de la muestra PM-M4B

La composición química inicial de una roca tiene un profundo efecto en la mineralogía resultante después del proceso metamórfico. Los protolitos comprenden todo el espectro de rocas ígneas y sedimentarias. Se pueden distinguir 5 principales grupos composicionales (Winter, 2001)(Best, 2003), como se indica en la Tabla 2.

Tabla 3 . Categorías composicionales

Categoría composicional	Elementos más importantes	Protolito común
Ultramáfico	Mg, Fe, Ni, Cr	Rocas mantélicas
Máfico	Mg, Fe, Ca	Basaltos, gabros, grauwacas grises
Pelítico	Al, K, Si	Lutitas, limolitas
Carbonatado	Ca, Mg	Calizas y Dolomitas
Cuarzo Feldespático	Si, Na, K, Al, Fe,	Rocas ígneas ácidas, arcosas

Basado en: (Winter, 2001) (Best, 2003) (Gastro, 2015)

Las facies metamórficas de alta presión y temperatura se caracterizan por una paragénesis de minerales anhídridos y de mayor densidad (Valín, et al., 1994). En la muestra PM-M4B hay un porcentaje (4%) de minerales con estas características como diópsido y granate, este último se infiere que es un mineral relicto, porque la clorita está rodeando al granate en forma de corona. Fig. 2.

Best (2003) sostiene que la paragénesis, plagioclasa, diópsido y granate son características de un protolito Máfico (Basalto), el cual llegó a una facie metamórfica de anfibolita.

Según Valín et al. (1994) en su estudio observó la transformación de piroxeno a anfíbol (uralitización), en los resultados obtenidos por DRX. Se observan estas dos fases minerales un piroxeno, diópsido (Ca, Mg) y 2 anfíboles: 1) magnesihornblenda (Ca, Na, Mg, Fe), 2) tremolita (Ca, Mg), por lo cual se asume que esta roca sufrió un proceso de uralitización debido a que el porcentaje anfíboles (24%) es mayor que el diópsido (3%), Tabla 1.

El reemplazo de minerales anhídridos, por minerales hidratados estables en bajas temperaturas, solo ocurre si hay disponibilidad de agua. (Best, 2003) (Bucher & Grapes, 2011) Ec.1



Tr: Tremolita Prp: Piropo Qz: Cuarzo
An: Anortita Di: Diópsido H₂O: Agua

Por su parte, Suárez y González (2018) explican el desequilibrio mineralógico en rocas de cuencas extensionales basándose en el concepto

de metamorfismo de soterramiento asociado a facies metamórficas de bajo a medio grado. Se produce una sedimentación en la cuenca lo cual genera una carga litostática, sobre las rocas más antiguas esto se evidencia en el afloramiento del Km 63 (vía Guamote-Macas) de donde, se obtuvo la muestra PM-M4B que está en contacto y subyaciendo a cuarcitas además de estar rodeado de esquistos pelíticos.



Figura 5. Afloramiento del Km 63, Se muestra el contacto entre cuarcitas (Q) y Rocas verdes con granates (Rxg), a la izquierda de la imagen están los esquistos pelíticos (Xsb)

Según, Best (2003) arcillas sometidas a una temperatura mayor a 320°C se transforman en cloritas (Chamosita), lo cual explica la presencia de chamosita en la muestra.

Los granates presentan fracturas Figura 2. lo cual evidencia actividad tectónica (descompresión), además de que este mineral está rodeado y tiene inclusiones de clorita, características de procesos de retrometamorfismo, lo cual puede ser producto de fallas locales evidenciado en las estructuras S-C (Figura 2) y del Plutón de Colimbo Figura 1 (INIGEMM, 2017).

Según Valín et al. (1994) existe una clara correlación entre las zonas de cizalla y la variación del metamorfismo a nivel local; el autor se basa en la variación mineralogía y textural de la roca, pudiendo pasar de tener una textura definida a perderla completamente, esto explicaría la ausencia de textura en la muestra.

Variación del Metamorfismo

En este trayecto la facie prehnita-pumpellyita es la de menor grado metamórfico, principalmente está en la parte más occidental y oriental de la zona de estudio y hacia el centro, cerca del sector de Zuñac, la facie dominante es esquistos verde, pero resalta la ocurrencia de la facie epidota anfíbol, en consecuencia, este es el sector con mayor grado metamórfico.

Localmente la variación es irregular debido a tectonismo local y los distintitos protolitos de las rocas analizadas. Según Reyes (2009) esto está relacionado con los diferentes eventos geológicos tanto a nivel regional como local, asociado a procesos syn-tectónicos durante el levantamiento de la Cordillera Real

La variación del grado metamórfico a lo largo del tramo de investigación Atillo-Normandía es semejante a la variación general del metamorfismo de la Cordillera Real. Litherland (1994) sostiene que el mayor grado se concentra en el centro de la Cordillera real y disminuye hacia sus extremos.

CONCLUSIONES

Entre las litologías encontradas en la zona existen varios tipos de esquistos como: esquistos grafitoso, esquistos clorítico, esquistos sericítico, esquistos moscovítico, esquistos biotítico, además de cuarcitas, rocas metavolcánicas, rocas verdes con granates y metapelitas, por lo tanto, tiene distintos protolitos.

La asociación mineralógica de la muestra PM-M4B es: clorita ± plagioclasa ± cuarzo, ± granate, ± piroxenos ± anfíboles. Debido a que presenta silicatos de Mg, Fe, Ca son indicadores de un protolito basáltico.

La roca verde fue producto de retrometamorfismo, debido a que hay un menor porcentaje de minerales anhidridos (diópsido) que de minerales hidratados (anfíboles, cloritas), eso se evidencia en los resultados de la DRX, además, del parcial reemplazamiento de clorita por granate.

La variación del grado metamórfico, a lo largo del tramo Atillo-Normandía, aumenta hacia el

centro del trayecto (sector Zuñac) y decrece hacia los costados, lo cual sigue la tendencia general de la Cordillera Real, donde la División Loja ubicada hacia el centro de la Cordillera, tiene el grado metamórfico más alto, además, esta variación es irregular debido al tectonismo local, evidenciado en las fracturas de los granates Figura 2 y las estructuras S-C Figura 3.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC), en especial a la Dra. Martha Romero y a la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Institución en la que se realizaron los estudios de Difractometría de rayos X. Adicionalmente, presentamos nuestro agradecimiento a Ing. Francisco Viteri por incentivar este estudio, a los Ing. Jorge Bustillos e Ing. Gorki Ruiz, docentes de la Carrera de Geología, por sus comentarios y facilidades prestadas al estudio. Finalmente, a Ing. Stalin Solano por la revisión técnica y a nuestros compañeros de la materia de Petrografía Metamórfica 2018-2019.

REFERENCIAS

Aspden, J. y otros, 1992. Regional S-type granites in the Ecuadorian Andes: Possible remnants of the breakup of western Gondwana.. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(3), pp. 123-132.

Aspden, J. & Litherland, M., 1992. The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, pp. 187-204.

Best, M., 2003. *Igneous and Metamorphic Petrology*. Second ed. Melbourne: Blackwell.

Bucher, K. & Grapes, R., 2011. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 8th ed. London: Springer.

Castro, A., 2015. *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas*. Primera ed. Madrid: Paraninfo.

INIGEMM, 2017. Mapa geológico de la República del Ecuador, 2017. Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico. [En línea] Available at: www.geoinvestigacion.gob.ec/

mapas-geologicos-2017/[Último acceso: 20 03 2019].

Litherland, M., Aspden, J. & Jemielita, R., 1994. *The metamorphic belts of Ecuador*. First ed. Keyworth: NERC.

Pratt, W., Duque, P. & Ponce, M., 2005. An autochthonous geological model for the eastern Andes. *Tectonophysics*, Volumen 399, pp. 251-278.

Reyes, P., 2009. Discusión sobre la evolución Jurásico-Cretácico de la Cordillera Real y el Bloque Amotape. *Revista Politécnica*, 30(1), pp. 6-22.

Suárez, R. & Gonzáles, P., 2018. Caracterización geológica del metamorfismo diastaternal Mesozóico en la Cuenca Neuquina y su relación con la anomalía térmica en el sinrift. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 75(3), pp. 457-472.

Valín, M., Perez-Estaun, A., Martin-Izard, A. & Marcos, A., 1994. Variación de la textura y química mineral de rocas metabásicas en una zona de cizalla (Complejo de Cabo Ortegal, NW de España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 7(1-2), pp. 179-189.

Winter, O. D., 2001. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc.