

Evidencias de metamorfismo retrógrado en el Complejo Metamórfico El Oro

Evidence of retrograde metamorphism in the El Oro Metamorphic Complex

Paucar-Ayala, Stalyn David; Ortiz-Muñoz, Deymi Jhoel; Solano-Yépez, Stalin Paúl; Viteri-Santamaría, Francisco Rigoberto

 **Stalyn David Paucar Ayala**

sdpaucara1@uce.edu.ec
Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito, Ecuador.

 **Deymi Jhoel Ortiz Muñoz**

djortizm@uce.edu.ec
Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito, Ecuador.

 **Stalin Paul Solano Yépez**

spsolano@uce.edu.ec
Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito, Ecuador.

 **Francisco Rigoberto Viteri Santamaría**

frviteri@uce.edu.ec
Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador
ISSN: 1390-7042
ISSN-e: 2602-8484
Periodicidad: Semestral
vol. 15, núm. 1, 2023
revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 08 noviembre 2022

Aprobación: 20 enero 2023

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4227>

Autor de correspondencia: spsolano@uce.edu.ec



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Cómo citar: Paucar-Ayala, S. D., Ortiz-Muñoz, D. J., Solano-Yépez, S. P. & Viteri-Santamaría, F. R. (2023). Evidencias de metamorfismo retrógrado en el Complejo Metamórfico El Oro. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 15(1), 45-55. <https://doi.org/10.29166/revfig.v15i1.4227>

Resumen: El Complejo Metamórfico El Oro, ubicado al suroccidente del Ecuador, está formado por distintas rocas metamórficas de grado bajo y alto. Se estudia la evidencia de retrometamorfismo mediante la revisión bibliográfica, en especial, de los resultados obtenidos en el Complejo Metamórfico El Oro (1990-1993) como parte del Proyecto Cordillera Real (1986-1993) y de otras publicaciones recientes. Se ha mencionado evidencia de retrometamorfismo en la Unidad Quebrada Plata de la facies anfibolita a esquistos verdes y en el complejo ofiolítico Raspas de eclogita a esquistos azules. Además, se ha obtenido datos de petrografía de retrometamorfismo en un bloque de eclogita de La Unidad La Chilca. Se describe al metamorfismo retrógrado respecto a la evolución del complejo metamórfico (Unidad Quebrada Plata), los procesos de exhumación, estructuras geológicas asociadas y reacciones minerales.

Palabras clave: El Oro; eclogita-esquistos azules; retrometamorfismo; exhumación; zona de cizalla.

Abstract: The El Oro Metamorphic Complex, located in southwestern Ecuador, consists of different low- and high-grade metamorphic rocks. The evidence of retrograde metamorphism is studied through the bibliographic review, especially, of the results obtained in the El Oro Metamorphic Complex (1990-1993) as part of the Cordillera Real Project (1986-1993) and other recent papers. Evidence of retrograde metamorphism has been mentioned in the Quebrada Plata Unit from amphibolite to green schists facies and in the Raspas ophiolitic complex from eclogite to blue schists. In addition, petrographic evidence of retrograde metamorphism has been obtained in an eclogite block from La Chilca Unit. Also, retrograde metamorphism is described regarding the evolution of the metamorphic complex (Quebrada Plata Unit), the exhumation processes, associated geological structures and mineral reactions.

Keywords: El Oro; eclogite-green-schists: retrograde metamorphism; exhumation, shear zone.

INTRODUCCIÓN

El complejo metamórfico El Oro se ubica al suroeste del Ecuador. Se encuentra aflorando principalmente en la provincia de El Oro y se extiende con dirección al sur del río Puyango/ Pindo, hacia el oeste del Perú y al este en la provincia de Loja. Está conformado por una variedad de rocas metamórficas de bajo a alto grado, de afinidad continental y oceánica, cubriendo una zona aproximada de 2400km² (Figura 1). Los rumbos estructurales son E – W, lo que difiere notoriamente con el rumbo NNE – SSW de la cordillera Real. A lo largo de la zona, se presentan afloramientos de esquistos azules y eclogitas, litologías que son raras en los Andes del Norte y desconocidas en otros lugares del Ecuador (Aspden et al., 1995).

El complejo metamórfico El Oro está dividido en dos “sub- provincias” geológicas, al sur y al norte, delimitadas por la falla Zanjón – Naranjo al norte y la falla Guayabal al este (Figura 1). La sub-provincia I, localizada al sur de la zona, contiene elementos de la división semi-pelítica Tahuín, del granitoide Moromoro y del complejo máfico Piedras, mientras que la sub-provincia II, ubicada al norte de la falla Zanjón-Naranjo, abarca la división malenge Palenque, cuyo límite septentrional es la falla con rumbo E-W Jubones (Aspden et al., 1995).

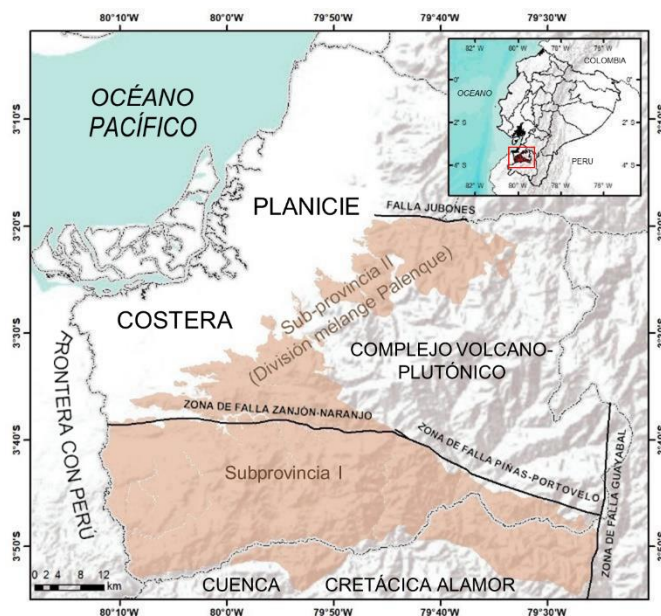


FIGURA 1

Ubicación y Estructura del Complejo metamórfico El Oro.

Modificado de Aspden et al. (1995).

Dentro de la sub – provincia I, la división Tahuín, que está conformada por la unidad El Tigre en el sur y la unidad La Victoria en el norte, consiste en una secuencia semi-pelítica variablemente metamorfozada, afectada por un único evento de metamorfismo regional, generalmente progrado. En el complejo granitoide Moromoro se presentan varios paragneis de alto grado, principalmente en la Unidad La Bocana.

El máximo evento de metamorfismo posiblemente ocurrió en el Triásico tardío y fue contemporáneo con el emplazamiento de los complejos Piedras y Moromoro (Aspden et al., 1995).

De acuerdo con Feininger (1978), la Unidad Quebrada Plata (parte del anterior Grupo Piedras) presenta evidencias de metamorfismo retrógrado, donde la facie de anfíbolita ha sido afectada por el desplazamiento de la falla Zanjón-Naranjo hacia una facie de esquistos verdes.

El metamorfismo retrogrado es un proceso de recristalización mineral, el cual se genera en condiciones termodinámicas distintas a las condiciones iniciales de la roca. Este proceso es frecuente en zonas de cizalla a gran escala y en fallas o empalmes a pequeña escala, reflejando el ascenso de un cuerpo rocoso a superficie y su interacción con fluidos del área circundante y de su estructura (Yardley et al., 2014).

Esta investigación analiza las evidencias de metamorfismo retrógrado en el complejo metamórfico El Oro, particularmente en la Unidad Quebrada Plata, de acuerdo con los datos disponible de investigaciones previas. Además, se pretende compararlo con procesos similares de otras localidades, de manera que aquellos métodos utilizados puedan ser aplicados en esta área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se fundamenta en los resultados obtenidos del estudio realizado entre 1990-1993 del Complejo metamórfico El Oro, publicados en Aspden et al. (1995), como parte del Proyecto cordillera Real (1986-1993) de la colaboración técnica bilateral entre el gobierno del Ecuador y del Reino Unido.

Se interpreta el retrometamorfismo destacando el proceso geológico que lo genera (exhumación), los elementos geológicos asociados (zonas de cizalla, presión de fluido) y las reacciones minerales involucradas en las facies anfíbolita-esquistos verdes. Además de usar casos similares (el mismo cambio de facies), de modo que puedan ser aplicados a los datos disponibles de la Unidad Quebrada Plata.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha interpretado que las rocas del Complejo Metamórfico El Oro son parte de un complejo de prisma de acreción. La historia 'pre-complejo acrecional' indica que, el metamorfismo (durante el Triásico Tardío) de los sedimentos pelíticos Tahuín fue acompañado por el emplazamiento de granitos tipo-S, intrusión de magma máfico (Complejo Piedras), formación de migmatitas y cizallamiento dextral (Aspden et al., 1995).

Gran parte de los resultados obtenidos por Aspden et al. (1995), aún no han sido interpretados para explicar los procesos (exhumación/tasa de exhumación/ profundidad de exhumación, relación con zonas de cizalla y reacciones minerales) asociados al retrometamorfismo de del complejo metamórfico. La exhumación en las zonas de colisión expone a rocas que se encontraban a más de 125 km de profundidad, siendo importante definir la contribución de cada proceso de exhumación (fallamiento normal, adelgazamiento cortical, erosión) (Ring et al., 1999). Su duración puede variar desde años hasta miles de millones de años (Zhong et al., 2018).

Cada proceso tiene un rasgo particular, por ejemplo, una alta exhumación por erosión implicaría grandes volúmenes de depósitos detríticos, el fallamiento normal yuxtapondría un bloque piso con deformación dúctil contra un bloque techo con deformación frágil, en el adelgazamiento cortical es diagnóstico la presencia de la foliación subhorizontal (Ring et al., 1999). Los procesos de retrometamorfismo generalmente están asociados a zonas de cizalla, donde juega un papel importante la combinación de variables litológicas, mecánicas y físicas interconectadas (Stenvall et al., 2020).

Según Fossen y Cavalcante (2017) los cambios de temperatura en una zona de cizalla provocan cambios en los mecanismos de deformación, los cuales pueden afectar al espesor de la zona de corte, donde se observa una marcada reducción en el tamaño de grano desde la zona de alta T hasta la zona de baja T. La reducción del tamaño de grano, sumado a la presión de fluidos y a la posible actividad de la zona de falla provocan el ablandamiento del bloque rocoso, dando lugar a reacciones retrógradas en procesos de exhumación (Stenvall et al., 2020).

Los fluidos tienen un efecto directo sobre la presión efectiva, así como efectos adicionales sobre la litología a través de reacciones metamórficas. Las reacciones retrógradas requieren de una fuente externa de fluidos, las cuales dependen del entorno tectónico circundante. Las principales fuentes externas incluyen agua meteórica, procesos de cristalización o migración magmática y la deshidratación de litologías circundantes por procesos de metamorfismo progrado (Yardley, 2014). Los resultados obtenidos por Aspden et al. (1995) han sido útiles para determinar la edad, protolito, facies, límites de las unidades, sin embargo, no son suficientes para explicar los procesos asociados al retrometamorfismo. Por el momento se presenta un resumen de la evidencia de retrometamorfismo y los observados en la sección delgada del bloque perteneciente a la Unidad La Chilca.

La Unidad Quebrada Plata, está constituida principalmente por anfibolitas y esquistos verdes, los últimos representan el proceso de retrometamorfismo en dicha unidad. A lo largo del río Piedras y el río Zaracay se observan enclaves máficos ricos en hornblenda y bandeamiento ígneo relicto, que conforme se acercan a la zona de falla Zanjón – Naranjo adquieren estructuras milonitizadas, las cuales son reemplazadas progresivamente por esquistos verdes compuestos por actinolita, epidota, cuarzo, albita, esfena y \pm rutilo (Aspden et al., 1995; Riel et al., 2012).

En la Unidad Quebrada Plata la presencia de tectonitas bandeadas y kink bands (Figura 2) sugieren que el movimiento a lo largo de este segmento de falla fue predominantemente de alta temperatura y naturaleza dúctil, donde el tamaño del grano mineral puede verse afectado en las zonas de metamorfismo retrógrado.

La Unidad La Bocana abarca granitoides con granate y cantidades menores de migmatitas y paragneises de alto – grado (Aspden et al., 1995). De acuerdo con Riel et al., 2012, dentro del conjunto mineral característico de la melanosoma en metatexitas de dicha unidad (Figura 1), se evidencian blastos de mica blanca retrógrada, la cual resulta de la saussuritización del feldespato o la reacción tardía de la masa fundida. Así también, en los granitoides característicos de la unidad La Bocana (Figura 2), dentro de los xenolitos metasedimentarios, se presentan porfiroblastos de

moscovita retrógrada, los cuales resultaron de los blastos de sillimanita también presentes en dicha roca (Aspden et al., 1995).



FIGURA 2

Tectonita esquistosa – verde finamente bandeada con kink bands (Z) centimétricos, Unidad Quebrada Plata, complejo Piedras, unión de los Ríos Naranjo y Piedras, zona de falla Zanjón - Naranjo.

Modificado de Aspden et al. (1995).

Las metabasitas del complejo Raspas están constituidas por eclogitas, anfibolitas con granate y esquistos azules, donde se evidencian procesos de metamorfismo retrógrado en la transición de las facies de eclogita a las facies de esquistos azules de alta T, esto es consistente con los análisis petrográficos y geoquímicos realizados en dichos esquistos azules (Gabriele et al., 2003). De acuerdo con Feininger (1982), las rocas prógradas de Raspas incluyen esquistos pelíticos, anfibolitas y eclogitas con cianita, mientras que las rocas retrógradas abarcan principalmente esquistos con glaucofana. En esta investigación, se realizó el análisis petrográfico de una muestra tipo de eclogita recolectada cerca de la quebrada Raspas.

Petrografía de la eclogita de la unidad La Chilca

La muestra fue obtenida de un bloque en el camino cercano hacia la Quebrada Raspas (figura 3) (79°55'38"W-3°35'55" (WGS-84)). Solo una parte del bloque estaba bien conservada, a su alrededor se encontraba un saprolito, éste mantenía la estructura bandeada del bloque. Macroscópicamente se observa cristales de granate y moscovita (hasta 5 mm) englobados por una masa de cristales verdes (onfacita). Al colocar ácido clorhídrico (10%) se nota una ligera efervescencia; no presenta magnetismo.

En la sección delgada (Figura 4) se distingue la siguiente asociación mineral: onfacita (50%), granate (35%), moscovita (10%), \pm cuarzo, \pm calcita, \pm rutilo. Se observa una textura granoporfidoblástica, siendo los cristales de onfacita los de mayor tamaño > 5 mm. En PPL (Luz Polarizada Plana, en sus siglas en inglés) (izquierda) el granate tiene un tono rojizo, generalmente fracturado y con formas ecuanteras, en ciertos casos es perfectamente hexagonal y sin fracturas, se distribuyen en

bandas (separadas cada 2-4 mm) y la mayoría tiene un tamaño cercano al milímetro. La onfacita tiene un tono verdoso y en la mayoría de los casos cristales anhedrales y fracturados, dentro se notan minerales restantes de la blástesis de la onfacita, estos mantienen la misma orientación de las bandas.



FIGURA 3

Bloque de eclogita encontrado en el camino cercano hacia la Quebrada Rascas.

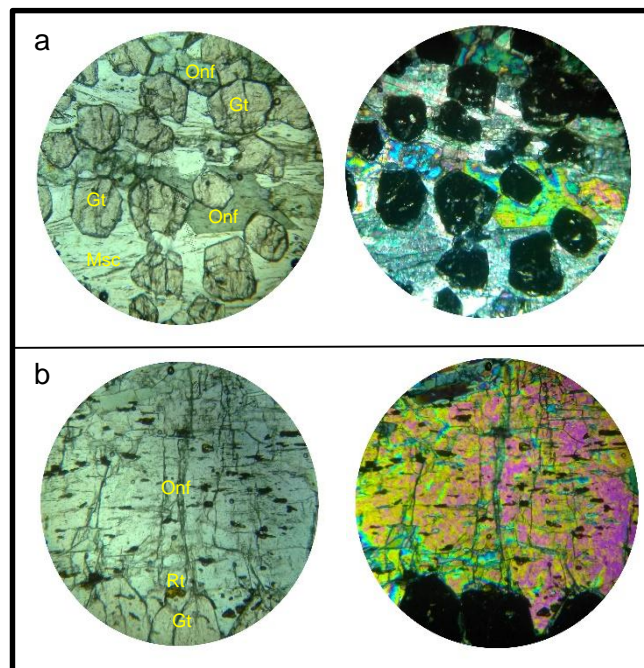


FIGURA 4

Lámina delgada de bloque encontrado perteneciente a la Unidad La Chilca, en PPL izquierda y XPL derecha.

(a) Granates con inicios de pseudomorfismo de moscovita

(b) Onfacita con restos de minerales usados para su blástesis.

Siglas: Gt: Granate, Onf: Onfacita, Msc: Moscovita, Rt: Rutilo. Diámetro del campo visual: 4.5 mm

En XPL (Luz Polarizada Cruzada, en sus siglas en inglés) se da cuenta la presencia de moscovita dentro y en los bordes de los granates, aquello como resultado del retrometamorfismo. No toda la

moscovita sería producto del retrometamorfismo, existen también cristales que no presentan alguna relación de pseudomorfismo o anillos de reacción. Los cristales de onfacita no están maclados y tampoco se nota alguna evidencia de zonación, ésta y la moscovita tienen colores de birrefringencia altos. Aspden et al. (1995) también presentan una microfotografía de la eclogita de la Unidad La Chilca, indican la presencia de porfiroblastos euhedrales de granate, con onfacita y anfíbol azul-pálido (¿crossita?). En los granates se notan inclusiones con múltiples trayectos, lo que indicaría un crecimiento episódico (Figura 5), en la muestra estudiada, podría diferenciarse dos familias de granates, la primera que tiene fracturas y pseudomorfismo y otra intacta.

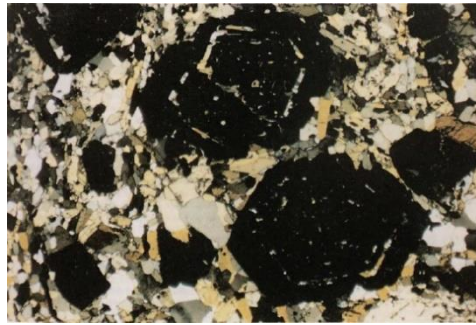


FIGURA 5

Microfotografía en luz polarizada de la eclogita de la Unidad La Chilca Presentada por Aspden et al. (1995), campo de visión ca, 8.3 mm.

No se indica si en aquella microfotografía mostrada en Aspden et al. (1995) los granates también están dispuestos en bandas o si también existen porfiroblastos de onfacita. Tampoco se observó algún mineral azulado, o que tenga clivajes característicos de los anfíboles. En todo caso, de acuerdo con lo descrito se define una facie de eclogita con minerales índice granate y onfacita, de textura granoporfidoblástica, y evidencia de retrometamorfismo que se mantienen en la misma facies de eclogita, no se observa algún rasgo de cizallamiento y las microtexturas dan cuenta un proceso sinmetamórfico.

Para analizar el retrometamorfismo del complejo metamórfico se debe considerar que el ambiente tectónico en el que ocurre la exhumación es el antearco de la zona de subducción. En la mayoría de los casos las zonas de subducción exhuman rocas cuyo grado metamórfico no supera la facies de esquistos-azules, lo que indica una exhumación de profundidades entre 30-40 km (Ring, 1999). Entender el mecanismo de exhumación y determinar la trayectoria P-T-t requiere de estudios petrológicos (principalmente termo-barométricos)-geocronológicos en conjunción con el análisis de microestructuras (Skrzpek, 2011). Estos resultados implicarían un avance para la generación de un modelo geodinámico.

Además, en la trayectoria de retrometamorfismo se podrían distinguir eventos geológicos posteriores al máximo de metamorfismo, por ejemplo, se sugiere la siguiente trayectoria P-T (Figura 6), de acuerdo con los eventos geológicos, para las anfibolitas de la Quebrada Plata. El basalto generado en la zona de supra-subducción alcanza las condiciones máximas de metamorfismo (facies anfibolita) durante el “evento Moromoro”; esto sucede en una zona de cizalla regional activa. Posteriormente, ocurre el evento de derivación tectónica e incorporación al prisma de acreción (ca.

140 Ma en adelante), en tal evento se considera un aumento de presión. En el evento Palenque ca. 74-80 Ma ocurre un incremento de temperatura, que afecta principalmente a la provincia II del complejo metamórfico. Finalmente sucede la exhumación hacia la superficie.

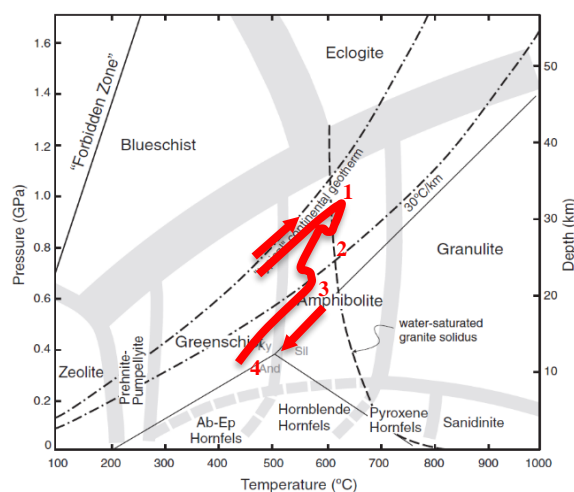


FIGURA 6

Facies metamórficas

Trayectoria P-T para el metamorfismo de la Unidad Quebrada Plata.

- 1) Máximo metamórfico-evento Moromoro,
- 2) Rotación e incorporación al prisma de acreción,
- 3) Evento Palenque,
- 4) Exhumación hacia la superficie.

Winter, 2014

La falta de información limita los objetivos de esta investigación, sin embargo, tomando como referencia el caso de McAleer (2017), se podría tomar como referencia para futuras investigaciones la siguiente evidencia de retrometamorfismo (Tabla 1 y 2, Figura 7). El metamorfismo retrógrado se ve interferida por la deformación posterior producto de los efectos de la zona de cizalla (Figura 7). De acuerdo con Feininger (1978), la Unidad Quebrada Plata fue originalmente metamorfizada a las facies de anfibolita y ha sido afectada por al menos un evento retrógrado evidenciado por esquistos verdes milonitizados hacia la zona de falla Zanjón – Naranjo. Las observaciones en campo aluden a que este evento probablemente estuvo relacionado con movimientos a lo largo de la zona de falla, de los cuales no se tienen datos detallados de su ocurrencia, sin embargo, se presume que estos son posteriores a aquellos del evento “Moromoro” del triásico tardío y se asume que están relacionados con aquellos del evento “Palenque” (Aspden et al., 1995).

Las reacciones retrógradas en la Unidad Quebrada Plata posiblemente fueron inducidas por el periodo de actividad de la falla Zanjón – Naranjo durante el triásico tardío, donde parámetros como el grado de deformación y la presión de fluidos debieron haber cumplido un papel fundamental en dicho proceso. La presencia de estructuras distintivas como milonitas y kink bands, evidenciadas a lo largo del río Piedras y el río Zaracay (La avanzada 620/9597 y 625/9597 respectivamente), denotan el aumento del grado de deformación hacia el núcleo de la zona de cizalla Zanjón – Naranjo, donde progresivamente son reemplazadas por esquistos verdes masivos retrógrados (Aspden et al., 1995).

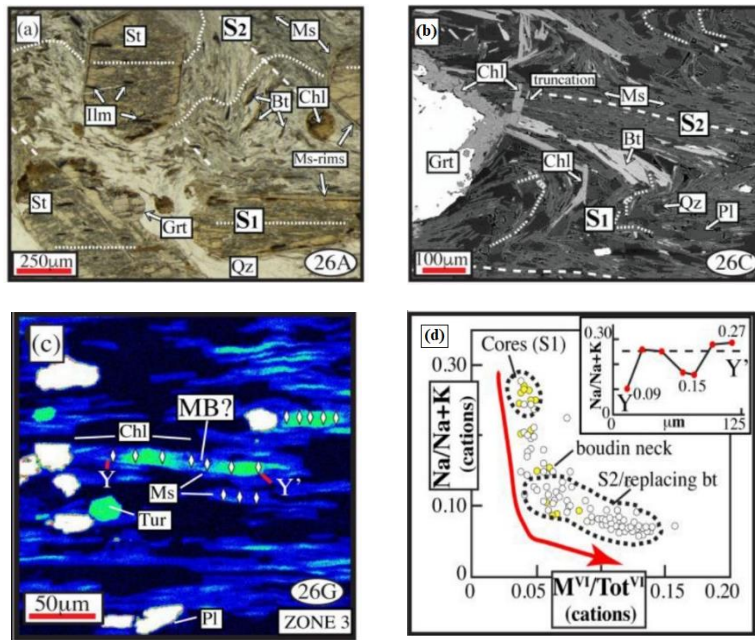


FIGURA 7

Evidencias de metamorfismo retrogrado

- (a) Diferentes etapas de deformación (b) Desarrollo de minerales pseudomórficos, (c), (d) Cambios composicionales. El mineral en el medio es rico en Na, pero está empobrecido en Na en los bordes y en la mitad. ¿La zonación química indicaría un microboudinage (MB)? St: Estauroilita, Ilm: Ilmenita, Grt: Granate, Qz: Cuarzo, Chl: Clorita, Bt: Biotita, Ms: Moscovita, Pl: Plagioclasa, Tur: Turmalina.

Obtenido de McAleer *et al.*, 2016

TABLA 1

Evidencias de metamorfismo retrogrado basado en estudios de metamorfismo retrogrado asociado a zonas de cizalla

Evidencias	Características	Ejemplos
Pseudomorfismo	Los minerales retrógrados adquieren la forma del mineral original, denotando facciones del mineral original y el mineral retrogrado.	Granate con bordes de clorita.
Deformaciones	Las estructuras de cizalla originadas por el desplazamiento de la falla se superponen a las estructuras originales. Se pueden generar estructuras S2 y S3.	Estructuras S2 entrecruzadas con S1
Composición química	Los minerales retrógrados se forman a partir de otros minerales enriqueciéndose de sus componentes, lo que se ve evidenciado en su composición química, enriqueciéndose de un elemento en diferentes partes del cristal.	Cristales de moscovita enriquecidos en Na hacia sus núcleos

Modificado de McAleer *et al.*, 2017 y Vernon, 1976

TABLA 2
Reacciones retrogradadas propuestas en estudios de metamorfismo retrógrado asociado a zonas de cizalla

Reacciones	Interpretación
$\text{Estauroлита} + \text{K} + \text{H} + \text{SiO}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{Moscovita} + \text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	<p>Esta reacción requiere la introducción de K^+, H^+ y $\text{SiO}_2(\text{aq})$ en el sitio de reacción, y la eliminación de Fe^{2+}, Al^{3+} y H_2O del sitio de reacción.</p>
$\text{Almandino} + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{clorita} + \text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+} + \text{SiO}_2(\text{aq})$	-
$\text{Albita} + \text{K}^+ + \text{H} \rightarrow \text{Moscovita} + \text{SiO}_2 + \text{Na}^+$	<p>Esta reacción requiere la adición de H^+ y K^+, y la eliminación de $\text{SiO}_2(\text{aq})$ y Na^+.</p>
$\text{Moscovita} + \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{clorita} + \text{SiO}_2 + \text{K}^+ + \text{H}^+$	<p>La sustitución de la moscovita S1 por moscovita S2 requiere la introducción local de K, Mg^{2+} y Fe^{2+}, $\text{SiO}_2(\text{aq})$ y H_2O y la eliminación de Na^+ y H^+.</p>

Obtenido de McAleer et al., 2016 y Vernon, 1976

Respecto al metamorfismo retrógrado del complejo Raspas, Gabriele (2003) indica que las características petrográficas y químicas de los esquistos azules son consistentes con una etapa de retrometamorfismo de las eclogitas. Desafortunadamente no se tiene acceso a validar información en la tesis de Gabriele et al. (2003). En la eclogita de esta investigación no se encontró algún mineral índice de otra facies, por lo que el retrometamorfismo se encontraría en la misma facies de eclogita, en cualquier caso, la preservación de la paragénesis de alta presión indicaría una alta tasa de exhumación (Gabriele et al., 2003).

Las reacciones retrógradas no llegan a completarse, por lo que los minerales retrógradados adquieren la forma del mineral al cual están reemplazando (pseudomorfismo) (Vernon, 1976), y en el caso de ser el mismo mineral, el reemplazamiento puede ser identificado por medio de su composición química.

CONCLUSIONES

Para la Unidad Quebrada Plata se ha propuesto que el metamorfismo progrado ocurre hasta el evento tectono-metamórfico Moromoro, posterior a ello se considera que los demás eventos son retrogradados. La determinación de estos en una trayectoria P-T requerirá estudios experimentales, p.e. termobarometría.

La exhumación de las rocas de la Unidad Quebrada Plata y de la Unidad La Chilca ocurre, principalmente, por fallamiento y adelgazamiento cortical, esto ha permitido el ingreso de fluidos y las reacciones acuosas que tienen lugar en el retrometamorfismo. La conservación de minerales de alta presión sugeriría una tasa de exhumación alta.

En el complejo metamórfico El Oro se encuentra evidencia de retrometamorfismo para las facies de anfibolita-esquistos verdes y eclogita-esquistos azules.

REFERENCIAS

- Aspden, J. A., Bonilla, W. & Duque, P. (1995) *The El Oro metamorphic complex, Ecuador: Geology and economic mineral deposits*. British Geological Survey.
- Feininger, T. (1978) *Mapa geológico de la parte occidental de la Provincia de El Oro [1: 50, 000]*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Feininger, T. (1982) The metamorphic “basement” of Ecuador. *Geological Society of America Bulletin*, 93(1), 87. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1982\)93<87:TMBOE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1982)93<87:TMBOE>2.0.CO;2)
- Fossen, H. & Cavalcante, G. C. G. (2017) Shear zones – A review. *Earth-Science Reviews*, 171, 434–455. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.05.002>
- Gabriele, P., Ballèvre, M., Jaillard, E. & Hernandez, J. (2003) Garnet-chloritoid-kyanite metapelites from the Raspas Complex (SW Ecuador): A key eclogite-facies assemblage. *European Journal of Mineralogy*, 15(6), 977–989. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2003/0015-0977>
- McAler, R. J., Bish, D. L., Kunk, M. J., Sicard, K. R., Valley, P. M., Walsh, G. J., Wathen, B. A. & Wintsch, R. P. (2017) Reaction softening by dissolution-precipitation creep in a retrograde greenschist facies ductile shear zone, New Hampshire, USA. *Journal of Metamorphic Geology*, 35(1), 95–119. <https://doi.org/10.1111/jmg.12222>
- Riel, N., Guillot, S., Jaillard, E., Martelat, J.-E., Paquette, J.-L., Schwartz, S., Goncalves, P., Duclaux, G., Thebaud, N., Lanari, P., Janots, E. & Yuquilema, J. (2012) Metamorphic and geochronological study of the Triassic El Oro metamorphic complex, Ecuador: Implications for high-temperature metamorphism in a forearc zone. *Lithos*, 156–159, 41–68. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.10.005>
- Ring, U., Brandon, M. T., Willett, S. D. & Lister, G. S. (1999) Exhumation processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 154(1), 1–27.
- Skrzypek, E., Štípská, P., Schulmann, K., Lexa, O. & Lexová, M. (2011) Prograde and retrograde metamorphic fabrics – a key for understanding burial and exhumation in orogens (Bohemian Massif) *Journal of Metamorphic Geology*, 29(4), 451–472. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2010.00924.x>
- Stenvall, C. A., Fagereng, A., Diener, J. F. A., Harris, C. & Janney, P. E. (2020) Sources and Effects of Fluids in Continental Retrograde Shear Zones: Insights from the Kuckaus Mylonite Zone, Namibia. *Geofluids*, 2020, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2020/3023268>
- Vernon, R. H. (1976) Metamorphic Processes. Reactions and Microstructure Development. *Geological Magazine*, 113(4), 394–394. <https://doi.org/10.1017/S0016756800047737>
- Winter, J. D. (2014) *Principles of igneous and metamorphic petrology* (Pearson Education Limited) Pearson New International Edition.
- Yardley, B. W. D., Rhede, D. & Heinrich, W. (2014) Rates of Retrograde Metamorphism and their Implications for the Rheology of the Crust: An Experimental Study. *Journal of Petrology*, 55(3), 623–641. <https://doi.org/10.1093/petrology/egu001>
- Zhong, X., Moulas, E. & Tajcmanova, L. (2018) Tiny timekeepers witnessing high- rate exhumation processes. *Scientific Reports*, 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20291-7>