

Caracterización petrográfica de una secuencia de rocas metamorfizadas de Calentura Arriba (Moa)

Petrographic characterization of a metamorphosed rocks sequence from Calentura Arriba (Moa)

Angel Eduardo Espinosa-Borges^{1*}, Alain Carballo-Peña², Keilín Matos-Pérez²,
Yurisley Valdés-Mariño², José Antonio González-Romero²

¹Universidad de Las Tunas, Cuba.

²Universidad de Moa, Cuba.

*Autor para la correspondencia: angeleduardoespinosaborges@gmail.com

Resumen

La caracterización petrográfica de la secuencia de rocas ofiolíticas y metamorfizadas de un sector de Calentura Arriba en el municipio de Moa, constituye una contribución para la actualización del mapa geológico de la parte suroeste de la hoja cartográfica 5277-IV "Moa". Secciones delgadas de las secuencias de rocas metamorfizadas de Calentura Arriba se analizaron bajo microscopio de luz polarizada. En la secuencia de metagabros se identificó la paragénesis mineral compuesta por enstatitas+ augita + labradorita+ olivino+ clorita+ garnierita + actinolita + tremolita + ilmenita + magnetita + sericita+ saussurita. En la secuencia de serpentinitas se identificó la paragénesis mineral compuesta por olivino+ ortopiroxenos+ bastita + lizardita + crisotilo + actinolita + tremolita + antigorita + serpofita + cromita + magnetita. Este sector estuvo sometido a fuertes procesos de transformación reflejado en las intensas alteraciones que denotan la ocurrencia de un metamorfismo de grado bajo a alto grado, coincidiendo con la serie de las facies barrowiense. Las transformaciones metamórficas están en estrecha relación con la actividad de la Falla Moa y denotan un carácter regional, extendiéndose en ambos extremos de esta fractura.

Palabras clave: petrografía; rocas metamorfizadas; ofiolitas; Calentura Arriba; Moa.

Abstract

The petrographic characterization of ophiolitic sequence and metamorphosed rocks of Calentura Arriba sector in Moa municipality, constitutes a contribution to the updating of the geological map of the southwestern part of cartographic sheet 5277-IV "Moa". Thin sections of those rocks were analyzed using a polarized light microscope. The ore paragenesis composed of enstatites + augite + labradorite + olivine + chlorite + garnierite + actinolite + tremolite + ilmenite + magnetite + sericite + saussurite in the metagabbro sequence was identified as well as the mineral paragenesis composed of olivine + orthopyroxenes + bastite + lizardite + chrysotile + actinolite + tremolite + antigorite + serpophite + chromite + magnetite in the serpentinite sequence. This sector was subjected to strong transformation processes reflected in the intense alterations that denote the occurrence of low-grade to high-grade metamorphism, matching with the Barrowian facies series. The metamorphic transformations are closely related to the activity of the Moa Fault and denote a regional character, extending at both ends of this fracture.

Keywords: petrography; metamorphosed rocks; ophiolites; Moa.

1. INTRODUCCIÓN

La isla de Cuba se compone de una serie de terrenos acrecionados, de origen continental y oceánico, del Jurásico y más jóvenes (Iturralde-Vinent 1994, 1998; Iturralde-Vinent 1997; Stanek *et al.* 2000; Iturralde-Vinent *et al.* 2016). El evento de subducción/acreción del Cretácico Superior, provocó la interrupción y atenuación de la actividad del arco volcánico cretácico y el emplazamiento tectónico de las ofiolitas y complejos de canal de subducción en el largo borde de la Placa Caribeña (García-Casco *et al.* 2008; Pindell *et al.* 2012).

Los cuerpos geológicos que pueden clasificarse como ofiolitas están presentes a lo largo de la parte norte de Cuba en un cinturón casi discontinuo de rocas ultramáficas, máficas y volcanógeno - sedimentarias (Proenza *et al.* 1998; Blanco-Quintero 2003; Blanco-Quintero, García-Casco y Proenza Fernández 2010; Marchesi *et al.* 2004; García-Casco y Proenza Fernández 2010). Las ofiolitas del cinturón septentrional están representadas por cinco bloques separados por grandes fallas, de oeste a este: Cajalbana, Habana-Matanzas, Villa Clara, Camagüey y Holguín; mientras que las ofiolitas de Cuba oriental incluyen las unidades Mayarí-Cristal y Moa-Baracoa (Fonseca *et al.* 1990; Iturralde-Vinent 1997; Kerr *et al.* 1999; Iturralde-Vinent 1999; Batista Rodríguez *et al.* 2002; Batista-Rodríguez 2003, 2006, 2009). Los diferentes tipos de ofiolitas en Cuba representan reliquias de la litosfera oceánica (cuenca oceánica protocaribeña) que se desarrolló entre América

del Norte y América del Sur después de la ruptura de Pangea (Cobiella-Reguera 2005).

El macizo Moa-Baracoa está compuesto por un manto - tectonita harzburgita de 2,2 km de espesor con dunita subordinada y una Zona de Transición Moho (MTZ) muy bien conservada (Domínguez-Carretero *et al.* 2022; Marchesi *et al.* 2004) y rocas volcánicas discordantes en la parte suprayacentes (Cobiella-Reguera 2005). Estas harzburgitas contienen clinopiroxeno intersticial generalizado, BMSe y un tejido de olivino tipo E (Rui *et al.* 2021). La secuencia del manto cubren tectónicamente los gabros estratificados e isotrópicos y los basaltos almohadillados con una afinidad geoquímica de arco trasero (Proenza *et al.* 1999, 2006; Pereira-Ginga, Blanco-Moreno Y Proenza- Fernandez 2006; Marchesi *et al.* 2004, 2006). Estas ofiolitas se originaron en un entorno de antearco a principios del Cretácico, luego del inicio de la subducción de la placa protocaribeña, que ocurrió antes de 137 Ma (Rui *et al.* 2022).

En los últimos años se han identificado en la región de Moa rocas que constituyen fragmentos de una antigua litósfera oceánica sometida a metamorfismo de grado medio-bajo correspondiente, en su mayoría, a la parte inferior de la facies anfibolita (Valdés-Mariño 2015). Los bloques de anfibolitas de alta presión y alta temperatura de las ofiolitas del este de Cuba se formaron en una nueva zona de subducción caliente del Aptiano (inmersión en el SO) que evolucionó a una subducción madura durante el Cretácico Superior y se detuvo durante el Campaniano tardío cuando el segmento Purial del cinturón de arco volcánico Cretácico incide en la zona de subducción (García-Casco *et al.* 2006).

Se ha corroborado la existencia de procesos metamórficos de bajo grado: serpentización, cloritización, talcización, antigoritización, anfibolitización y carbonatización los que han modificado las rocas de la asociación ofiolítica. La existencia de antigorita sugiere un metamorfismo de altas presión y temperatura, asociado a zonas de fallas (Valdés-Mariño *et al.* 2019).

Las rocas anfibolitizadas del sector Este de la presa Nuevo Mundo constituyen rocas metamórficas de grado medio-bajo, clasificadas de acuerdo con su estructura y mineralogía dominante en anfibolitas gnéisicas y granofels anfibolíticos, caracterizadas por presentar una granulometría de fina a media, elevada densidad y muy bajo grado de recristalización (Cobas-Torres 2013).

La composición de picro-basalto y basaltos encontrada en las muestras de la región evidencian la existencia de rocas vulcanógenas ultramáficas metamorizadas asociadas a rocas del complejo ofiolítico (Valdés-Mariño *et al.* 2019). Aparece desarrollado un metamorfismo de fondo oceánico, con

la presencia de las rocas ultrabásicas serpentinizadas y rocas volcánicas espilitizadas.

En los aluviones del río Moa con frecuencia aparecen clastos de anfibolitas y esquistos anfibolíticos, cuya naturaleza aún no está totalmente esclarecida (Sánchez-Sánchez y Cirión-Monté 2005). Se conoce la existencia de serpentinitas antigoríticas conjuntamente con esquistos talcosos y rocas fuertemente cloritizadas, con presencia de actinolita-tremolita (Pérez Vázquez 1977). Las filitas calcáreas de la zona de Calentura presentan un grado de metamorfismo sumamente bajo (Sánchez-Sánchez y Cirión Monté 2005).

En investigaciones recientes se han recolectado rocas con marcadas alteraciones metamórficas en el sector de Calentura Arriba (González-Romero *et al.* 2022), por lo que se hace necesaria su caracterización petrográfica para establecer las implicaciones de la presencia de estas rocas en este sector de Moa.

El presente estudio fue soportado en el financiamiento del proyecto titulado: Cartografía geológica de la hoja 5277-IV (Moa) a escala 1: 50 000. Código 1933, desarrollado por la Universidad de Moa, Cuba.

2. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación geográfica del sector de estudio

El sector Calentura Arriba se encuentra ubicado en la parte suroeste de la Hoja cartográfica 5277-IV-c Calentura del Medio del mapa de la República de Cuba a escala 1:25 000 (Figura 1).

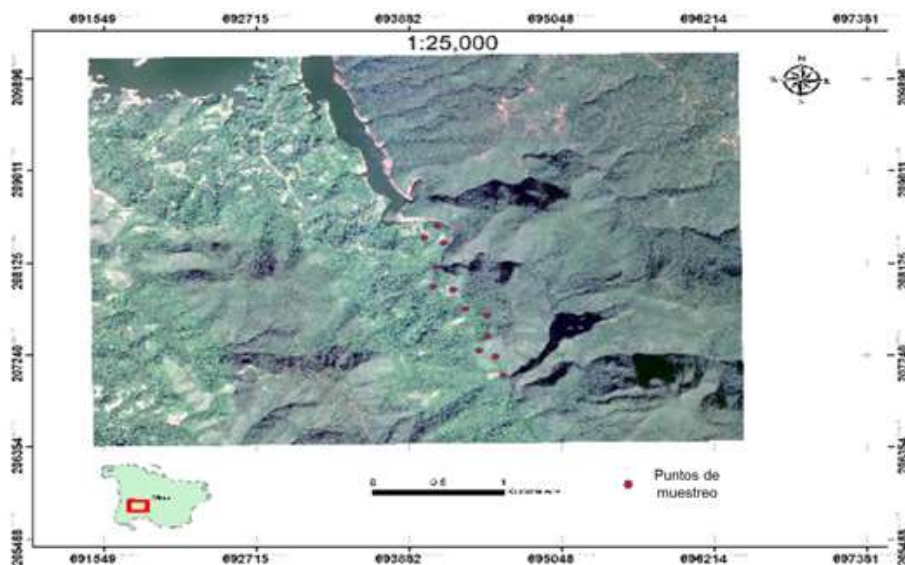


Figura 1. Ubicación geográfica del sector Calentura Arriba.

2.2. Etapas de trabajo

Se realizó el estudio en tres etapas: I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica; II. Trabajos de laboratorio y III. Interpretación de los resultados.

I. Etapa preliminar

Durante esta etapa se hizo una búsqueda de información bibliográfica revisando artículos científicos, trabajos de diploma, revistas y otros documentos relacionados con la temática. Se utilizaron las bases de datos del Centro de información de la Universidad de Moa, así como información suministrada por el Fondo Geológico y sitios web de la Internet especializados en el tema. Se conformó la biblioteca de la investigación, de acuerdo a la norma APA (sexta edición). Se analizó toda la bibliografía disponible, lo que permitió la conformación del marco teórico conceptual de la investigación.

II. Trabajos de laboratorio

Para los análisis petrográficos se confeccionaron secciones delgadas a partir de muestras tomadas en las zonas más significativas del área de estudio; se elaboraron en el laboratorio de preparación de muestras de rocas y minerales de la Universidad de Moa.

Las secciones delgadas fueron analizadas bajo el microscopio petrográfico de luz polarizada, modelo NP-400B, marca NOVEL. Se utilizaron los objetivos 2,5x y 10x y el video cámara digital ocular MDCE-5A con cable USB 2,0 insertada al microscopio para tomar las fotomicrografías (Figura 2).



Figura 2. A-Microscopio petrográfico de luz polarizada modelo NP-400B, marca NOVEL. B-microscopio petrográfico de luz polarizada JENALAB POL de la CARLZEISS JENA con la videocámara digital ocular MDCE-5A con cable USB 2.0 insertado.

La videocámara digital ocular se inserta al microscopio y al puerto USB de la computadora dando una imagen en el monitor del campo visual seleccionado. Esta videocámara permitió convertir el microscopio tradicional en un sistema digital de imagen microscópica. Las fotografías de las muestras macroscópicas se tomaron con la cámara fotográfica marca Nikon, modelo Colpix (Figura 3).



Figura 3. Computadora con el microscopio petrográfico de luz polarizada Jenalab Pol y la videocámara digital ocular MDCE-5A insertada.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización macroscópica

Macroscópicamente las rocas del sector de Calentura Arriba generalmente son ultramáficas por su tonalidad oscura; presentan colores variables desde verde, verde negruzco hasta grises. Se observan minerales como: olivino, piroxenos, minerales del grupo de la serpentinita y plagioclasa. De acuerdo con las características observadas en las muestras, los resultados del análisis petrográfico, las fases minerales identificadas y los rasgos texturales descritos, las rocas resultaron ser metagabros, serpentinitas y rocas metasomáticas.

3.2. Caracterización petrográfica

Muestra: MP-1: Metagabro olivínico

En la muestra MP-1 se identificaron minerales con coloración oscura relacionada con el predominio de minerales máficos y ultramáficos que constituyen la roca y aislados minerales félsicos, siendo menos representativos estos últimos. Los cristales presentan tamaño de grano grueso, lo que denota condiciones de enfriamiento controladas en un ambiente intrusivo. Aparecen además, pequeños cristales diseminados con coloración oscura llegando al negro, relacionados con menas metálicas, probablemente magnetita.

En esta roca el mineral principal es el piroxeno y se presenta en forma de cristales subhedrales con bordes irregulares y evidencias de alteración a

clorita. Dentro de los piroxenos predominan los clinopiroxenos con una extinción a 36° . Los cristales se presentan incoloros sin analizador. La forma de los cristales es de hábito prismático corto y con relieve elevado. Por las características identificadas los clinopiroxenos están representados por la augita.

Subordinadamente, aparecen cristales de ortopiroxenos con una extinción paralela y exfoliación en dos direcciones. Se presentan incoloros en secciones delgadas y birrefringencia débil; el máximo color de interferencia es amarillo de primer orden. El relieve es alto y no presentan pleocroísmo. Estos piroxenos están representados por enstatitas.

Las plagioclasas se muestran incoloras en secciones delgadas, con birrefringencia débil y colores de interferencia del gris al blanco de primer orden. Los cristales tienen formas anhedrales y relieve medianamente bajo. Presentan maclas bien definidas según la ley de la albita. Estas plagioclasas pudieran ser de tipo labradorita y exhiben evidencias de alteración a sericita y saussurita, lo que denota una alteración metamórfica de bajo grado, probablemente por procesos hidrotermales.

Aparecen cristales de olivino incoloros en secciones delgadas y colores de interferencia altos superiores al segundo orden. Este mineral se presenta en forma de cristales anhédricos de contornos poligonales y con relieve moderadamente alto. Tienen exfoliación imperfecta y abundantes fracturas irregulares. Estas fracturas han acelerado los procesos de alteración a minerales serpentiniticos. La roca presenta una textura gabroica y, en menor medida, alotriomórfica granular y una estructura masiva, con granos minerales compactos (Figura 4).

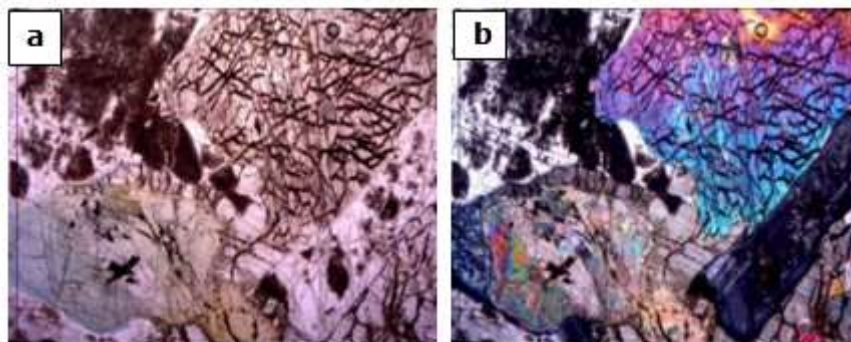


Figura 4. Fotomicrografías de metagabro olivínico con procesos de alteración, (aumento 4x, a. Nícoles cruzados; b. Nícoles paralelos).

Muestra: MP-17B: Metagabro

La muestra MP-17B presenta una coloración predominantemente oscura relacionada con el predominio de minerales máficos; subordinadamente

aparecen cristales de minerales félsicos de coloración gris claro llegando a presentar tonalidades más blancuzcas. Esta roca se presenta en forma compacta con una estructura masiva.

La textura es predominante pseudoporfídica, con una distribución irregular del tamaño de los granos minerales denotando que no todos los minerales tuvieron el mismo tiempo de cristalización. Además, aparecen numerosos cristales con forma alargada distribuidos como fibras dentro de la muestra, lo que es característico de las texturas fibrosas.

Los minerales félsicos están asociados a la presencia de plagioclasas, estas se presentan incoloras en sección delgada y bajos colores de interferencia de blanco a gris de primer orden. Tienen un relieve bajo y se distingue la presencia de maclas. Las plagioclasas se muestran muy peltizadas y saussuritizadas lo que dificulta su clasificación e indica una transformación metamórfica de bajo grado, probablemente por procesos hidrotermales. En las zonas más alteradas se han desarrollado abundantes minerales arcillosos que dotan a la roca tonalidades cremas.

Bajo el microscopio se identificó la presencia de piroxenos que por su extinción se clasificaron como clinopiroxenos. Estos presentan una fuerte anfibolitización; a partir de ellos también se han generado cristales de actinolita y tremolita que aparecen con hábito fibroso en granos de hasta 2,5 mm. También se observan procesos de serpentización y cloritización sobre los piroxenos. La muestra presenta algunos cristales de mena metálica con coloración oscura, representada por ilmenita, que se disponen con hábito acicular de modo disperso por toda la roca.

Se observan granos contorsionados en parte de la roca lo que revela la incidencia de procesos tectónicos en el área. Por la mineralogía primaria identificada, el protolito de esta roca debió de ser un gabro que fue sometido a intensos procesos de alteración metasomáticos y tectónicos. Los procesos de alteración identificados revelan el desarrollo de un fuerte metasomatismo. La marcada anfibolitización de esta roca indica condiciones medias de presión y temperatura de metamorfismo relacionadas con el inicio de la transformación de la roca a la facies de las anfibolitas (Figura 5).

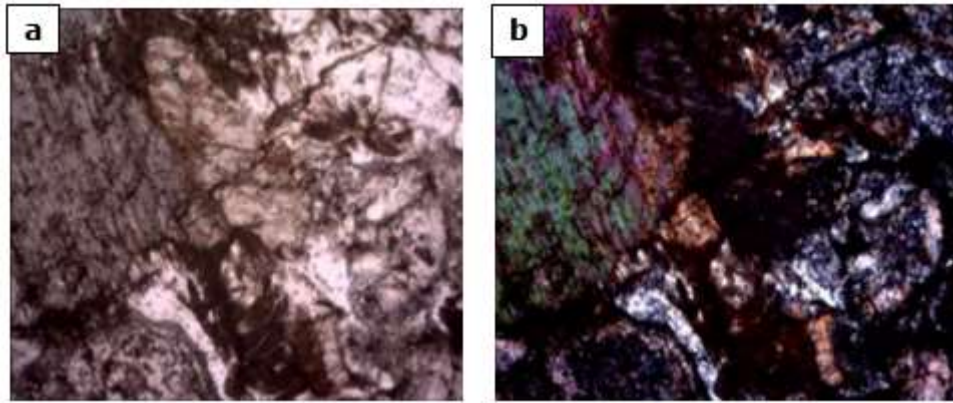


Figura 5. Fotomicrografías de metagabro olivínico con procesos de alteración (aumento 4x, a. Nícoles cruzados y b. Nícoles paralelos).

Muestra: P- 3: Metagabro anfibolitizado

La muestra presenta varias tonalidades de gris, desde gris verdoso a gris claro, predominando tonalidades claras relacionadas con minerales félsicos. Presenta un empaquetado de minerales bien cristalizados con alternancias de minerales claros y oscuros lo que le denota una textura bandeada. Subordinadamente, la textura es alotriomórfica granular.

Aparecen numerosos cristales de plagioclasas con colores muy claros y relieve bajo; sobre estas se ha desarrollado fuertes procesos de pelitización, saussuritización y epidotización lo que impide su clasificación. Seguidamente predominan los piroxenos representados principalmente por clinopiroxenos y escasos cristales de ortopiroxenos. Estos minerales presentan avanzados procesos de cloritización, anfibolitización y serpentización. Producto de la fuerte alteración desarrollada sobre los piroxenos se encontraron cristales de actinolita y tremolita con aspecto fibroso radial.

Se identificaron cristales de olivino con una serpentización muy avanzada relacionada con el desarrollo de un metamorfismo de bajo grado. En menor medida aparecen menas metálicas como minerales accesorios en parte de la roca. Originalmente la roca era un gabro bandeado que, sometido a fuertes procesos de alteración y por procesos metasomáticos, se ha metamorfizado y presenta evidencias de deformación por la acción tectónica en el área. La presencia de epidota, clorita y actinolita es evidencia de la transformación de la roca original a una roca de la facies esquistos verdes, en un ambiente de presiones y temperaturas medias que continuaron en aumento permitiendo una transición a la facies de las anfibolitas (Figura 6).

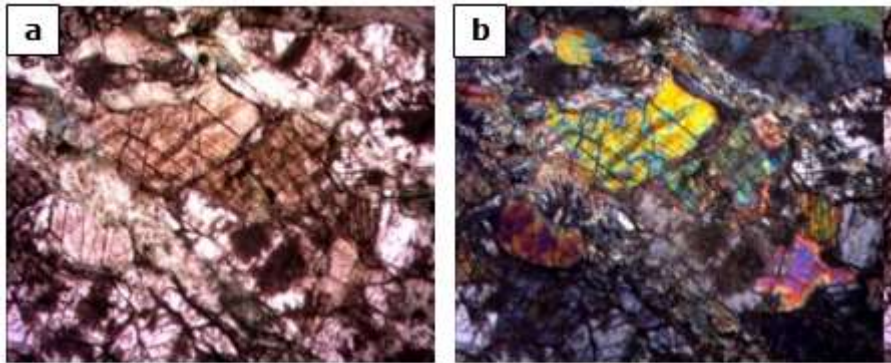


Figura 6. Fotomicrografías de metagabro anfibolitizado alterado (aumento 4x, a. Nicoles cruzados y b. Nicoles paralelos).

Muestra: MP-11: Harzburgita serpentinizada

La muestra MP-11 presenta una coloración gris, con tonalidades parduzcas en partes de la roca. Mineralógicamente está compuesta por olivino en un 40%, granos con tamaños desde 0,01 mm a 0,05 mm, parcial y totalmente serpentinizados. Los minerales serpentiniticos dispuestos por las líneas de fracturas del olivino forman una textura reticular, alrededor de estos retículos se dispone la magnetita en granos muy finos. El ortopiroxeno, representado por un 20%, se encuentra parcialmente bastitizado. También en la roca se observan minerales arcillosos con tonalidades pardas, posible garnierita, que le dan a la roca tonalidades parduzcas y es evidencia de las transformaciones supergénicas de las rocas ultramáficas por la meteorización. Los minerales accesorios están representados por espinela cromífera en un 7% y magnetita en un 3%.

Esta roca se desarrolló a partir de un protolito de composición ultramáfica, probablemente harzburgita, sometido a fuertes procesos de alteración en condiciones de metamorfismo de bajo grado (Figura 7).

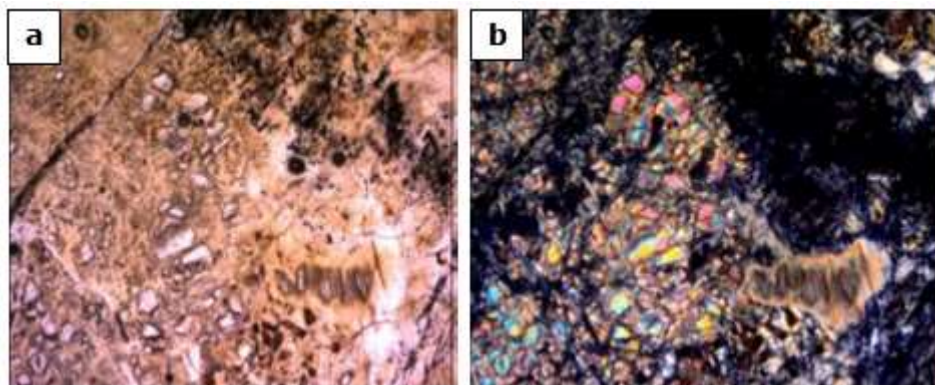


Figura 7. Fotomicrografía de harzburgita serpentinizada (aumento 4x, a. Nicoles cruzados y b. Nicoles paralelos).

Muestra: MP-10: Serpentinita Iherzólítica

Muestra muy serpentinizada, compuesta por un agregado de minerales serpentiniticos con textura reticular producto de la alteración del olivino; el clinopiroxeno serpentinado formando una textura de enrejado y ortopiroxenos muy bastitizados, ambos muy deformados que al parecer fueron sometido a procesos tectónicos fuertes. Atraviesan la roca numerosas vetillas de minerales serpentiniticos. El mineral metálico representado por magnetita, con procesos de oxidación, otorga a la roca tonalidades pardas. En parte de la muestra se observan minerales arcillosos. La textura predominante es la blastoporfírica por los relictos de piroxeno y olivino, y en menor medida fibrosa-reticular por los minerales del grupo de la serpentina.

Esta roca se desarrolló a partir de un protolito de composición ultramáfica, probablemente una harzburgita, que fue sometida a fuertes procesos de alteración en condiciones de metamorfismo de bajo grado (Figura 8).

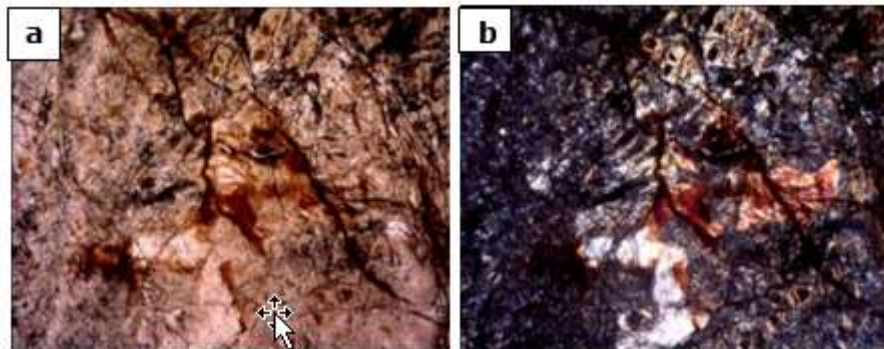


Figura 8. Fotomicrografía de serpentinita Iherzólítica (aumento 4x, a. Nicoles cruzados y b. Nicoles paralelos).

Muestra: MP-5: Serpentinita harzburgítica

Roca intensamente serpentinizada; los minerales del grupo de la serpentinita están representados por lizardita y el crisotilo como los minerales serpentiniticos más representativos, aunque en proporción subordinada se observa la antigorita. De forma relíctica aparecen algunos cristales de olivino alterados y ortopiroxenos bastitizados dándole una textura reticular a la muestra. Los cordoncillos de crisotilo atraviesan toda la roca, por las fibras de este mineral se acentúa la magnetita en granos muy finos. También se observan en la muestra minerales arcillosos manchados por óxido de hierro producto de la alteración de los piroxenos.

Esta roca se desarrolló también a partir de un protolito de composición ultramáfica, probablemente una harzburgita, sometida a fuertes procesos de alteración en condiciones de metamorfismo de bajo grado (Figura 9).

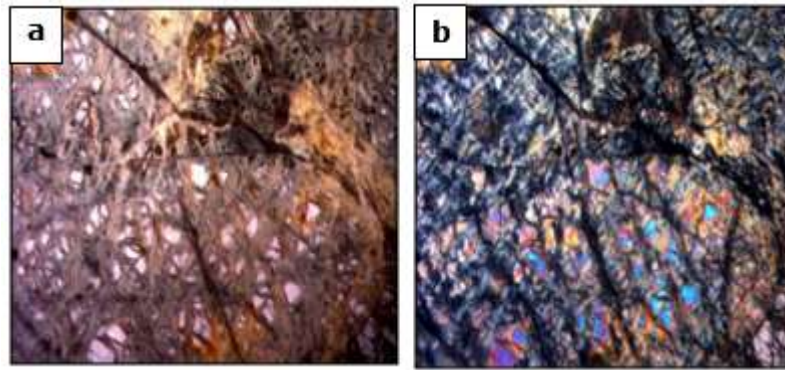


Figura 9. Fotomicrografía de serpentinita harzburgítica, (aumento 4x, a. Nicoles cruzados y b. Nicoles paralelos).

Muestra: MP-14: Serpentinita meteorizada

La muestra está compuesta por un 95 % de minerales serpentiniticos en finas fibras que la atraviesan en varias direcciones; también se observa textura reticular. La roca está sometida a procesos de meteorización, observándose minerales arcillosos mezclados con óxido de hierro, que le dan a la roca tonalidades parduzcas. El mineral metálico predominante es la magnetita en granos muy finos dispersos por toda la muestra y con procesos de oxidación. En la muestra hay presencia de numerosas fracturas y grietas. Se desarrolló a partir de un protolito de composición ultramáfica, sometido a fuertes procesos de alteración en condiciones de metamorfismo de bajo grado (Figura 10).

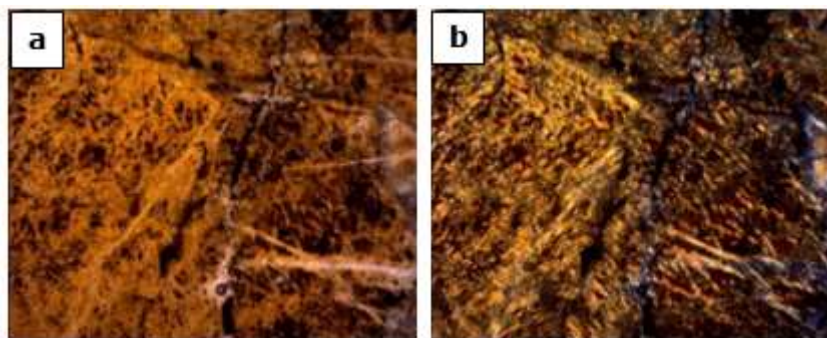


Figura 10. Fotomicrografía de serpentinita alterada (aumento 4x, a. Nicoles cruzados y b. Nicoles paralelos).

Muestra: P-13 B: Serpentinita

Es una roca intensamente serpentinizada, predominando la lizardita y la antigorita; el crisotilo más escaso en finas vetillas que atraviesan la muestra en varias direcciones. Las fibras de lizardita forman una textura reticular y en el centro de estas se observa la antigorita y escasa serpofita. Se observa, aproximadamente, un 5% de relictos de olivino y ortopiroxenos. El mineral metálico es abundante representado por magnetita en un 10%, en granos

finos dispersos por toda la muestra y por las fibras de los minerales serpentínícos. Parte de la roca con intensos procesos de oxidación que le dan tonalidades parduzcas a la muestra. Se desarrolló a partir de un protolito de composición ultramáfica, sometido a fuertes procesos de alteración en condiciones de metamorfismo de bajo grado (Figura 11).

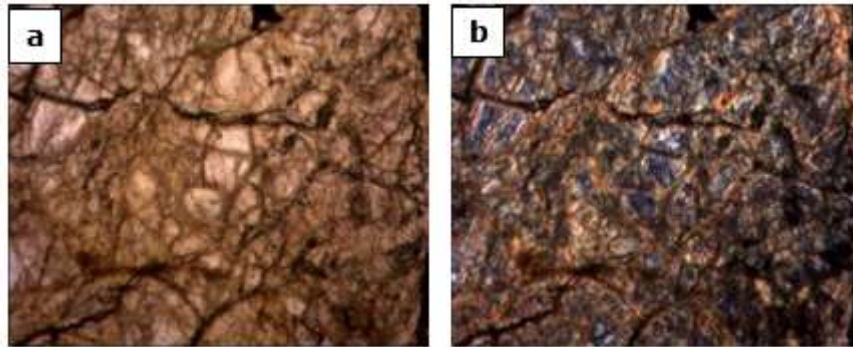


Figura 11. Fotomicrografía de serpentinita con procesos de alteración (aumento 4x, a. Nicoles cruzados y b. Nicoles paralelos).

Muestra: MP-17: Serpentinita

En esta muestra de serpentinita se observan fibras de lizardita en forma de listones gruesos, dispuestos de forma casi paralela. En parte de la roca se observa una textura reticular. Por las fibras del mineral serpentínícos se dispone, en granos muy finos, la magnetita y minerales arcillosos aunque más escasos. No se observan relictos texturales ni mineralógicos del protolito original. Como mineral metálico la magnetita y minerales arcillosos como secundarios. Esta roca metamórfica se desarrolló a partir de un protolito de composición ultramáfica, sometido a fuertes procesos de alteración en condiciones de metamorfismo de bajo grado (Figura 12).

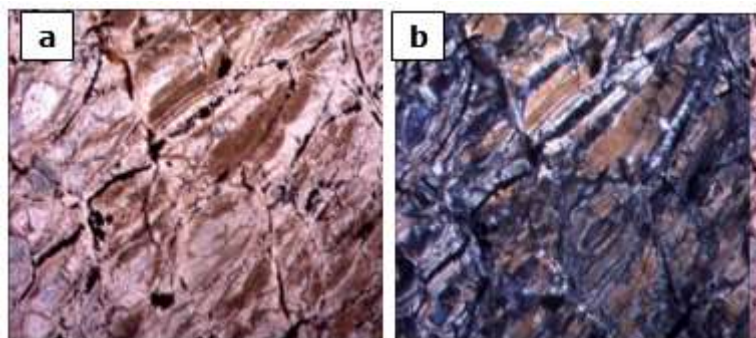


Figura 12. Fotomicrografía de serpentinita (aumento 4x, a. Nicoles cruzados y b. Nicoles paralelos).

Muestra: P-23: Serpentinita

La muestra corresponde a una serpentinita alterada a talco, con una birrefringencia alta a minerales arcillosos, clorita, y minerales serpentínícos,

con partes de la roca manchada por óxido de hierro. Presenta textura bandeada, con bandas de minerales arcillosos, minerales serpentíníticos y talco, también aparecen como especie de brechas de minerales serpentíníticos. Este plegamiento refleja intensos procesos tectónicos. El mineral metálico está representado por magnetita. La roca se desarrolló a partir de un protolito de composición ultramáfica, sometido a fuertes procesos de alteración en condiciones de metamorfismo de bajo grado (Figura 13).

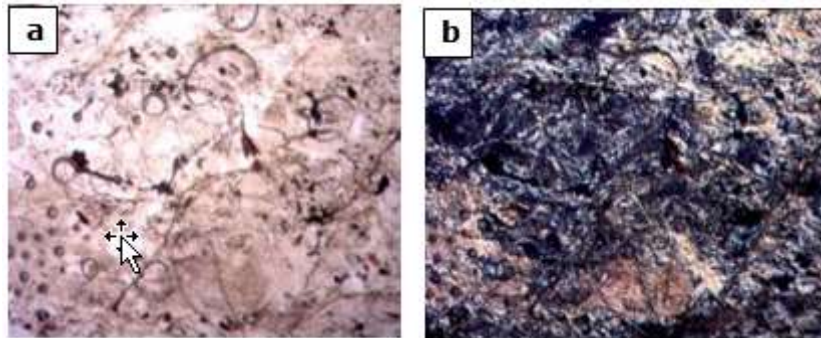


Figura 13. Fotomicrografía de serpentinita plegada (aumento 4x, a. Nicoles cruzados y b. Nicoles paralelos).

Muestra: MP-11B: Roca metasomática

Presenta una coloración clara con predominio de tonalidades blancuzcas, gris claro mezclados con minerales oxidados. La muestra está muy alterada con avanzados procesos de pelitización, anfibolitización, epidotización, con abundantes minerales arcillosos opacos y talco, textura orientada, fibrosa, deformada. Producto de la abundancia de minerales arcillosos, en la muestra bajo el microscopio es muy difícil de determinar la presencia de otros minerales. Se constatan fenómenos de transformación metasomática dentro de la roca (Figura 14).

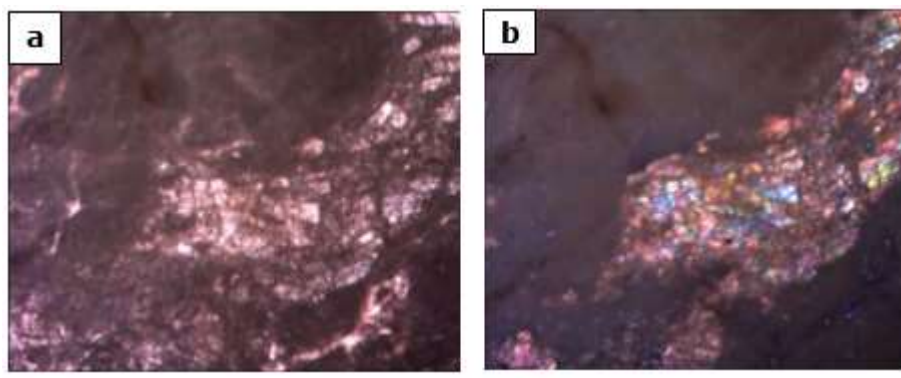


Figura 14. Fotomicrografía de roca metasomática (aumento 4x, a. Nicoles cruzados y b. Nicoles paralelos).

Muestra: P-25: Roca metasomática a partir de gabro

La muestra macroscópica muestra una textura masiva con cierto bandeamiento, con una combinación de colores gris claro a casi blanco, producto de los minerales arcillosos por el metasomatismo de la roca. Bajo el microscopio se observan bandas compuestas por minerales del grupo de la serpentinita, epidota, clorita, actinolita tremolita y minerales arcillosos opacos, producto de los fuertes procesos metasomáticos que han actuado sobre la roca. Por la textura relíctica, al parecer la roca original era un gabro. Mineral metálico: magnetita e ilmenita mezcladas en parte de la roca con los minerales arcillosos producto de la alteración metasomática (Figura 15).

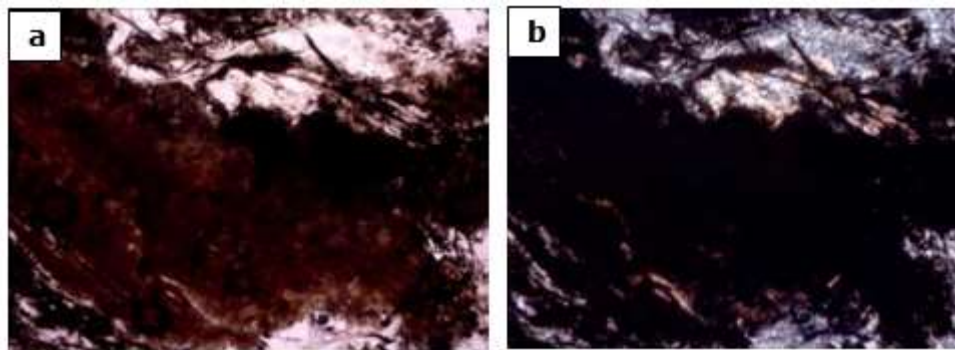


Figura 15. Fotomicrografía de roca metasomática a partir de gabro (aumento 4x, a. Nícoles cruzados y b. Nícoles paralelos).

4. DISCUSIÓN

4.1. Implicaciones geológicas

La litología primaria de este sector está dominada por secuencias de rocas de composición máfica y ultramáfica representadas principalmente por gabros y, en menor medida, gabros bandeados. También están representados protolitos de composición peridotítica con tendencia harzburgítica lo que denota desarrollo de rocas ultramáficas. Estas rocas son típicas de la litósfera oceánica, por lo que se puede decir que las rocas primarias del sector son fragmentos de la asociación ofiolítica (Dilek y Furnes 2011, 2014).

Es evidente el elevado número de alteraciones presentes en el sector de Calentura Arriba lo que indica una gran variedad de fenómenos metamórficos. Los fenómenos de alteración están relacionados a condiciones de metamorfismo de grado bajo a grado medio. Las transformaciones documentadas coinciden con la serie de las facies barrowiense con presiones y temperaturas medias. Corresponde con un gradiente geotérmico aparente de 20 °C/km - 40 °C/km.

La Falla Moa es la estructura de mayor extensión dentro del territorio y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en

la zona de Calentura (Rodríguez-Infante y Batista-Rodríguez 2014). Se evidenciaron procesos tectónicos dentro de las texturas de las rocas estudiadas y la existencia de antigorita sugiere un metamorfismo de altas presión y temperatura, asociado a zonas de fallas.

El desarrollo de estas secuencias de rocas metamorizadas están estrechamente ligadas con la falla Moa y poseen un carácter regional (Coleman 1977)lo que se ve reflejado en la incidencia de rocas metamorizadas de la secuencia ofiolítica presentes en el extremo NE de la falla dentro del yacimiento Camarioca Sur (Valdés-Mariño 2020) y cercano al sector de la Presa Nuevo Mundo (Cobas-Torres 2013), con reflejo en el extremo SW en el sector Calentura Arriba.

5. CONCLUSIONES

- Las rocas que predominan en el sector Calentura Arriba son las serpentinitas (58,3 %), seguidas por los gabros y metagabros (25 %) y, en menor medida, las rocas metasomáticas (16,7 %).
- El sector estuvo sometido a fuertes procesos de transformación reflejado en las intensas alteraciones que denotan la ocurrencia de metamorfismo de grado bajo hasta alto grado, coincidiendo con la serie de las facies barrowiense, principalmente la facie de los esquistos verdes y anfibolitas.
- Las transformaciones metamórficas están en estrecha relación con la actividad de la falla Moa y denotan un carácter regional, extendiéndose en ambos extremos de esta fractura.

6. REFERENCIAS

- Batista-Rodríguez, J. A. 2003: Nuevas características geológicas del extremo nororiental de Cuba según el tratamiento estadístico e interpretación de datos aerogeofísicos. En: 10^{mo} Congreso Geológico Chileno.
- Batista-Rodríguez, J. A. 2006: Nuevas regularidades geológicas de la región Mayarí-Sagua-Moa a partir de la reinterpretación del levantamiento aerogeofísico 1: 50 000. *Minería y Geología*, 22(1): 28.
- Batista-Rodríguez, J. A. 2009: Comportamiento de la susceptibilidad magnética en el ambiente ofiolítico del nordeste de Cuba oriental. *Minería y Geología*, 25(4).
- Batista-Rodríguez, J. A.; Rodríguez-Infante, A.; Proenza, J. A. y Blanco-Moreno, J. 2002: Estructura del macizo ofiolítico de Moa (NE de Cuba) según la interpretación del levantamiento aeromagnético 1 : 50 000. *Acta Geologica Hispanica*, 37(4): 369-387.

- Blanco-Quintero, I. F. 2003: *Nuevos datos petroquímicos y petrográficos de las magmatitas y metamorfitas de algunos sectores del bloque oriental cubano (sectores Moa-Baracoa y Sierra Convento)*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Consultado: 25/09/2022. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1393>.
- Blanco-Quintero, I. F.; García-Casco, A. y Proenza Fernández, J. A. 2010: Metamorphic and magmatic consequences of subduction of young oceanic lithosphere and exhumation in a serpentinite subduction channel. Eastern Cuba. University of Granada.
- Cobas-Torres, R. Y. 2013: Petrología de las anfibolitas del sector este de la presa Nuevo Mundo. *Ciencia & Futuro*, 3(2): 30-46.
- Cobiella-Reguera, J. L. 2005: Emplacement of the northern ophiolites of Cuba and the campanian-eocene geological history of the northwestern caribbean-se gulf of Mexico region. *Geologica Acta*, 3: 273-294. doi 10.1144/sp328.13.
- Coleman, R. 1977: Emplacement and metamorphism of ophiolites. *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Paleontologia*, 33(1): 161-190. Consultado: 25/09/2022. Disponible en: http://rruff.info/rdsmi/v33/rdsmi33_161.pdf.
- Dilek, Y. y Furnes, H. 2011: Ophiolite genesis and global tectonics: geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere. *Bulletin of The Geological Society of America*, 123(3-4): 387-411. ISSN 00167606. doi 10.1130/b30446.1.
- Dilek, Y. y Furnes, H. 2014: Ophiolites and their origins. *Elements*, 10(2): 93-100. ISSN 18115217. doi 10.2113/gselements.10.2.93.
- Domínguez-Carretero, D.; Proenza, J. A.; Pujol-Solà, N.; Colás, V.; González-Jiménez, J. M.; Gervilla, F. y García-Casco, A. 2022: Trace elements in chromite ores from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (eastern Cuba).
- Fonseca, E.; Castillo, F.; Uhanov, A.; Navarrete, M. y Correa, G.; 1990: Geoquímica de la asociación ophiolítica de Cuba. En: O. K. Larue y G. Draper (eds.), 12th Caribbean Geological Conference. Miami, p. 51-67.
- García-Casco, A.; Lázaro, C.; Rojas-Agramonte, Y.; Kröner, A.; Torres-Roldán, R. L.; Núñez, K.; Neubauer, F.; Millán, G. y Blanco-Quintero, I. 2008: Partial melting and counterclockwise p-t path of subducted oceanic crust (sierra del convento mélange, Cuba). *Journal of Petrology*, 49(1): 129-161. ISSN 00223530. doi 10.1093/petrology/egm074.
- García-Casco, A.; Torres-Roldán, R. L.; Iturralde-Vinent, M. A.; Millán, G.; Núñez-Cambra, K.; Lázaro, C. y Rodríguez-Vega, A. 2006: High pressure metamorphism of ophiolites in Cuba. *Geologica Acta*, 4(1-2): 63-88.

- Iturralde-Vinent, M. A. 1994: Cuban Geology: A New Plate-Tectonic synthesis. *Journal Of Petroleum Geology*, 17(1): 39-70. ISSN 00094021.
- Iturralde-Vinent, M. A. 1997: Ophiolites and volcanic arcs in eastern cub. *meetings reports*, pp. 250-251.
- Iturralde-Vinent, M. A. 1999: Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. *Ciencias De La Tierra Y Del Espacio*.
- Iturralde-Vinent, M. A.; García-Casco, A.; Rojas-Agramonte, Y.; Proenza, J. A.; Murphy, J. B. y Stern, R. J. 2016: The geology of Cuba: a brief overview and synthesis. *Gsa Today*, 26(10): 4-10. ISSN 10525173. doi 10.1130/gsatg296a.1.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1998. Sinopsis de la constitucion geologica de Cuba. *Acta Geologica Hispanica*, 33(1-4): 9-56.
- Kerr, A. C.; Iturralde-Vinent, M. A.; Saunders, A. D.; Babbs, T. L. y Tarney, J. 1999: A New plate tectonic model of the caribbean: implications from a geochemical reconnaissance of cuban mesozoic volcanic rocks. *Bulletin Of The Geological Society Of America*, 111(11): 1581-1599. ISSN 00167606. doi 10.1130/0016-7606(1999)111<1581:anptmo>2.3.co;2.
- Marchesi, C.; Garrido, C. J.; Godard, M.; Proenza, J. A.; Gervilla, F. y Blanco-Moreno, J. 2006: Petrogenesis of highly depleted peridotites and gabbroic rocks from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (eastern Cuba). *Contributions To Mineralogy And Petrology*, 151(6): 717-736. ISSN 00107999. doi 10.1007/s00410-006-0089-0.
- Marchesi, C.; Garrido, J.; Proenza, J.; Godard, M.; Gervilla, F. y Rodríguez, A. 2004: Highly depleted peridotites from supra-subduction setting: the case study of Mayarí and Moa-Baracoa ophiolitic massifs (eastern Cuba). Vol. 6.
- Pereira-Ginga, S.; Blanco-Moreno, J. y Proenza-Fernandez, J. 2006: *Petrología y geoquímica de los niveles de gabros en el macizo ofiolítico moa-baracoa : zonas de quemado del negro , cayo grande , mercedita y miraflores*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez.
- Pérez-Vázquez, R. G. 1977: *Geología de Farallones*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Inedito.
- Pindell, J.; Maresch, W. V.; Martens, U. y Stanek, K. 2012: The greater antillean arc: early cretaceous origin and proposed relationship to central american subduction mélanges: implications for models of caribbean evolution. *International Geology Review*, 54(2): 131-143. ISSN 00206814. doi 10.1080/00206814.2010.510008.

- Proenza, J. A.; Melgarejo, J. C.; Gervilla, F. y Lavaut, W. 1998: Cromititas podiformes en la faja ofiolítica ma. *Acta Geologica Hispanica*, 33: 153-177. ISSN 05677505.
- Rodríguez-Infante, A. y Batista-Rodríguez, J. A. 2014: Falla moa: caracterización geodinámica y riesgos tectónicos asociados. *Minería y Geología*, 23(2).
- Rui, H. C.; Yang, J. S.; Llanes-Castro, A. I.; Zheng, J. P.; Liu, F.; Valdes Mariño, Y.; Wu, W. W. y Qiu, T. 2021: Highly refractory harzburgites from the moa-baracoa ophiolitic massif, eastern cuba: insights into forearc mantle melt-rock interactions. *Lithos*, 404-405(February). ISSN 18726143. doi 10.1016/j.lithos.2021.106427.
- Rui, H. C.; Yang, J. S.; Zheng, J. P.; Llanes-Castro, A. I.; Liu, F.; Wu, Y.; Wu, W. W.; Valdes-Mariño, Y. y Masoud, A. E. 2022: Early cretaceous subduction initiation of the proto-caribbean plate: geochronological and geochemical evidence from gabbros of the moa-baracoa ophiolitic massif, eastern Cuba. *Lithos*, 418-419(april). ISSN 18726143. doi 10.1016/j.Lithos.2022.106674.
- Sánchez-Sánchez, Y. y Cirión-Monté, R. 2005: Constitución geológica del área de Farallones sobre la base de la cartografía geológica a escala 1:25 000. En: VI Congreso de Geología (Geología '2005) geología regional y tectónica. s.l.: s.n., p. 6.
- Stanek, K. P.; Cobiella, J.; Maresch, W. V.; Millan, G.; Grafe, F. y Grevel, C. 2000: Geological development of cuba. *Geoscientific cooperation with latin america*, 1(February): 59-266. Consultado: 25/09/2022. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/258438974_geological_development_of_cuba.
- Valdés-Mariño, Y. 2015: *Caracterización petrológica y geoquímica de las rocas metamórficas, sector Camarioca Sur*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa Dr. Antonio Nuñez Jimenez. Consultado: 25/09/2022. Disponible en:
<https://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1202/tesismaestriayurisley.pdf>.
- Valdés-Mariño, Y. 2020: *Caracterización petrológica y geoquímica de las rocas del basamento en el sector Camarioca Sur, Moa*. Tesis doctoral. Universidad de Moa.
- Valdés-Mariño, Y.; Muñoz-Gómez, J. N.; Orozco-Melgar, G.; Blanco-Quintero, I.; Menguel, K. y Urra-Abraira, J. 2019: Rocas vulcanógenas ultramáficas metamorizadas asociadas al complejo ofiolítico Moa-Baracoa en el sector Camarioca Sur. *Minería y Geología*, 35(3): 252-269.

Valdés-Mariño, Y.; Nicolás Muñoz-Gómez, J.; Orozco-Melgar, G. A.; Blanco-Quintero, F.; Alberto Pérez-García, L.; Urra-Abraira, J.; Pedro, S. A.; Alba, S. y Autor, C. 2019: Caracterización petrológica-geoquímica de la asociación ultramáfica del complejo ofiolítico moa-baracoa en el sector Camarioca Sur. *Minería y Geología*, 35(4): 384-399.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de autores

AEEB: idea de la investigación, trabajo de campo, análisis e interpretación de resultados, redacción y revisión del original, aprobación de la versión final. ACP: trabajo de campo, análisis de datos, revisión de la versión original y aprobación de la versión final. KMP: trabajo de campo, interpretación de resultados, revisión de la versión original y aprobación de la versión final. YVM: trabajo de laboratorio, revisión del original, aprobación de la versión final. JAGR: trabajo de campo, aprobación de la versión final.

ORCID

AEEB, <https://orcid.org/0000-0003-4882-8731>

ACP, <https://orcid.org/0000-0002-6841-8986>

KMP, <https://orcid.org/0000-0001-5973-8825>

YVM, <https://orcid.org/0000-0002-4631-3972>

JAGR, <https://orcid.org/0009-0003-7247-765X>

Recibido: 01/04/2023

Aceptado: 25/04/2023