

Análisis petrográfico de las rocas ultramáficas de un sector del macizo Cajálbana, occidente de Cuba

Petrographic analysis of ultramafic rocks in a zone of Cajálbana massif, Western Cuba

Maria Elisabet Garcia-Crespo^{1*}, Esther María Cruz-Gómez¹, Raydel Ramos-Pineda¹

¹Universidad de Pinar del Río, Cuba.

*Autor para la correspondencia: mariaelisabetgarciacrespo@gmail.com

Resumen

Las Rocas Ultramáficas del Macizo Cajálbana (RUMC) forman parte del Cinturón Ofiolítico Septentrional (COS) de Cuba. El macizo aflora en forma de un cuerpo irregular en la parte occidental de la isla, región de Bahía Honda (Pinar del Río). Aquí se presenta el análisis petrográfico y geoquímico de 21 muestras de peridotitas y dunitas del sector SW de este macizo, y su comparación con litologías similares del Cinturón. Los resultados revelaron que durante el proceso magmático y la posterior serpentinización de las RUMC ocurrieron dos etapas fundamentales de formación mineral: una con olivino, piroxenos (enstatita y augita) y Cr-espinela (etapa 1), y otra con lizardita, crisotilo, bastita, Cr-espinela rica en Fe³⁺ y magnetita (etapa 2). Las relaciones de Al₂O₃/SiO₂ (0.02 - 0.06) y el porcentaje en peso (wt%) de Al₂O₃ (1.17 - 2.43), TiO₂ (0.01 - 0.04) y CaO (0.04 - 2.58) varían en estas rocas, y se ubican dentro del rango de las rocas ultramáficas de ambiente abisal (porción de corteza proto-Caribe) y en zonas de solapamiento de la corteza proto-Caribe con el *forearc* (porción de corteza placa Caribe). Comportamiento similar se ha reportado para las rocas ultramáficas de los macizos Villa Clara y Habana- Matanzas.

Palabras claves: ofiolitas, rocas ultramáficas, serpentinización, Cajálbana

Abstract

The Ultramafic Rocks of Cajálbana Massif (URCM) are part of the Northern Ophiolitic Belt (NOB) of Cuba. The massif outcrops as an irregular body in the western part of the island, Bahía Honda region in Pinar del Río province. The study presents the petrographic and geochemical analysis of 21 samples of peridotites and dunite from the SW sector of this massif and their comparison with similar lithology of the Belt. Results showed that during the magmatic process and after serpentinization RUMC, two fundamental stages

of mineral formation occurred: one with olivine, pyroxenes (enstatite and augite) and Cr-spinel (stage 1), and another with lizardite, chrysotile, bastite, Fe³⁺-rich Cr-spinel and magnetite (stage 2). The Al₂O₃/SiO₂ ratios (0.02 - 0.06) and weight percent (wt %) of Al₂O₃ (1.17 - 2.43), TiO₂ (0.01 - 0.04) and CaO (0.04 - 2.58) vary in these rocks, and are located within the range of ultramafic rocks of abyssal environment (portion of proto-Caribbean crust) and in overlapping zones of proto-Caribbean crust with the forearc (portion of Caribbean plate crust). Similar performance has been reported for the ultramafic rocks of the Villa Clara and Havana-Matanzas massifs.

Keywords: ophiolite, ultramafic rocks, serpentinization process, Cajalbana

1. INTRODUCCIÓN

Las ofiolitas son restos de la antigua corteza oceánica y del manto superior que fueron emplazadas tectónicamente en márgenes continentales. Según Dilek y Furnes (2011) pueden formarse en diversos ambientes: margen continental (*CM*), dorsales centro oceánicas (*MOR*), plumas (*P*) y zonas de suprasubducción (*SSZ*). En este estudio se han empleado las siglas en inglés para la denominación de los distintos ambientes.

Al norte de la isla de Cuba existen extensos afloramientos de rocas ofiolíticas, los cuales constituyen el denominado Cinturón Ofiolítico Septentrional (*COS*; Iturralde-Vinent 1990, 1996; Figura 1a). Generalmente, presentan las litologías de una secuencia ideal integrada por los cúmulos de peridotitas serpentinizadas, *MTZ* (*Moho transition zone*; *sills* y diques), gabroides, diques de diabasas y basaltos con sedimentos (Iturralde-Vinent 1996). Vinculados a las ofiolitas se encuentran importantes depósitos de Cr-espinela, asociados a los niveles de tectonitas mantélicas y *MTZ*. La edad de estas secuencias oscila entre los 135 Ma y los 60 Ma (Iturralde-Vinent 1996; Proenza *et al.* 1999 a, b; Marchesi *et al.* 2006; García-Casco *et al.* 2008a, García-Casco *et al.* 2008b).

El *COS* constituye un remanente de litósfera antigua, posiblemente formado en ambientes del tipo *MOR* o *SSZ*. Las rocas de tipo *MOR* no relacionadas con la subducción (corteza de proto-Caribe) y las de tipo *SSZ* relacionadas con la subducción (corteza de la placa Caribe) (Iturralde-Vinent 1996; Proenza *et al.* 1999a; 2006; García-Casco *et al.* 2003; Gervilla *et al.* 2005; Marchesi *et al.* 2006; Llanes-Castro *et al.* 2015; Butjosa *et al.* 2018, 2023).

Los macizos Moa-Baracoa y Mayarí-Cristal representan dos porciones de la litosfera de trasarco. Moa-Baracoa muestra una firma geoquímica similar a la de *MOR*, y Mayarí-Cristal exhibe un rol creciente del H₂O en su petrogénesis

y evidencias de interacción con magmas relacionados con la subducción (arco de isla toleítica- *IAT*, por sus siglas en inglés), lo que atestigua un entorno original ubicado más cerca del arco paleovolcánico que Moa-Baracoa (Marchesi *et al.* 2006).

La composición de las rocas ultramáficas y máficas de Villa Clara, Butjosa *et al.* (2018) la clasifican en dos grupos (A y B), revelando una compleja formación multietapa de la litosfera oceánica en diversos entornos tectónicos: el grupo A corresponde al manto fértil de tipo *MOR* típico de las peridotitas de fallas abisales/transformes; el grupo B muestra características de las peridotitas refractarias de antearco en cuña de manto.

El macizo Cajálbana es el más occidental del territorio cubano (Figura 1a) y uno de los menos estudiados del país. Se acuña hacia el norte, donde yace en contacto tectónico bajo la secuencia alóctona vulcanógeno-sedimentaria del arco volcánico cretácico (representado por la formación Orozco y su cobertura). Por el sur, el conjunto descansa sobre las unidades septentrionales de la cordillera de Guaniguanico (Iturralde-Vinent 1996).

Las Rocas Ultramáficas del Macizo Cajálbana (RUMC) constituyen un bloque alóctono y cizallado dentro de las restantes secciones de las ofiolitas (Figura 1b y c). Fonseca *et al.* (1984) señalan que las RUMC tienen una composición fundamental harzburgítica y en menor medida lherzolítica, dunítica y piroxenítica, con diferentes grados de serpentización. La presencia de cuerpos de cromitita en este macizo es escasa, en forma de placas con una potencia de 5 cm a 25 cm. A partir del análisis químico, las agrupan en el tipo de cromitas metalúrgicas (Kravchenko y Vázquez, 1985).

Cruz-Gámez (1993) ofrece un modelo explicativo del desarrollo del nivel de basaltos en la región de Bahía Honda y su relación con los sulfuros, adjudicando a este complejo un ambiente del tipo BAB (*Back Arc Basins*). Más recientemente, Prieto *et al.* (2017) exponen las características litológicas de estas rocas, en particular las que afloran en el extremo suroeste del macizo Cajálbana: harzburgita y subordinadamente, dunita y ortopiroxenita, indicando que su cristalización ocurrió a partir de una fuente mantélica de composición lherzolítica empobrecida.

En el presente trabajo se realiza un análisis petrográfico y geoquímico a partir de óxidos mayores de las RUMC, con la finalidad de revelar las características petrológicas de estas rocas y compararlas con rocas similares del COS.

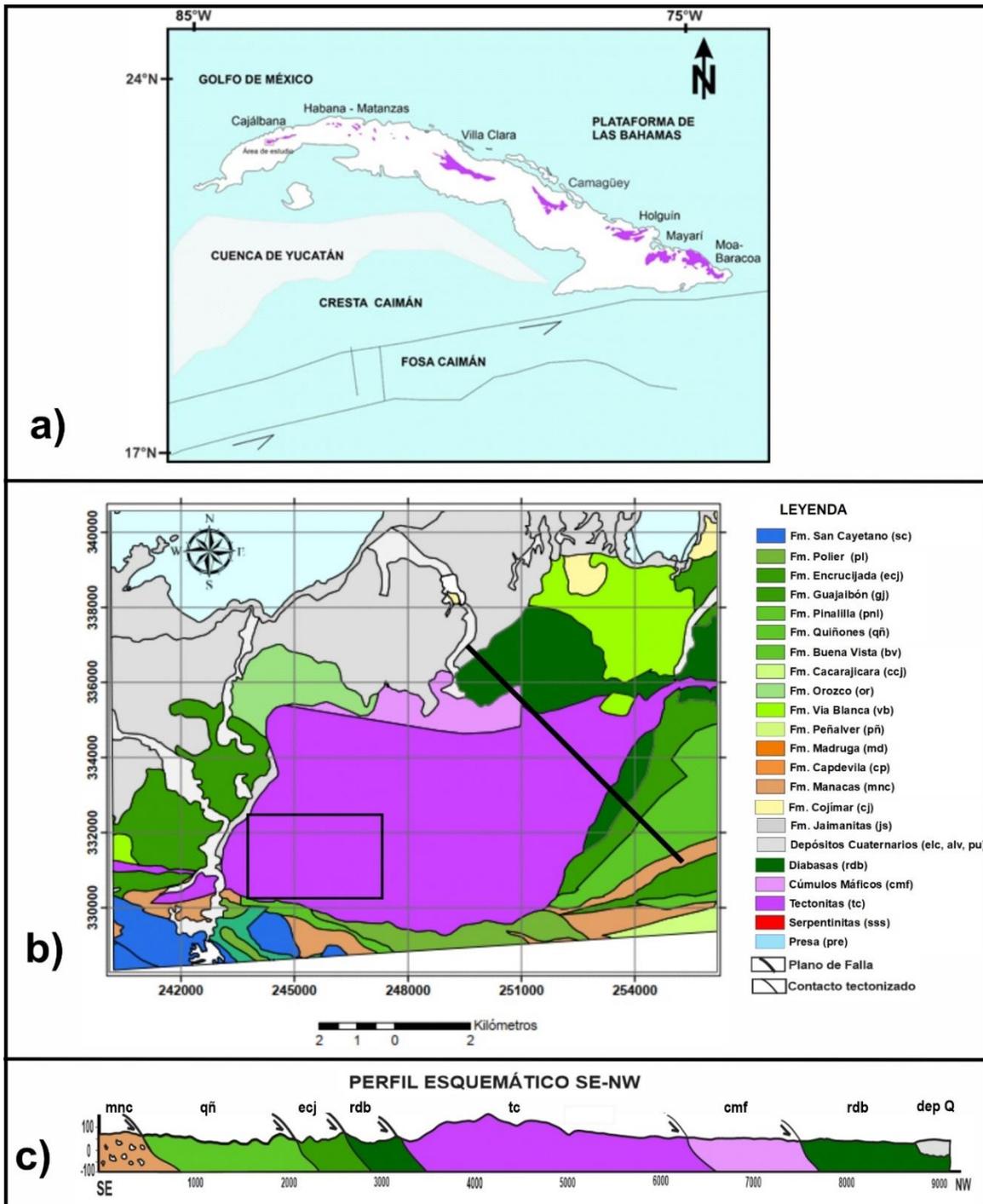


Figura 1. a) Principales afloramientos del COS y marco geológico regional. Modificado de Iturralde-Vinent (1996) y Butjosa (2018). b) Esquema geológico que relaciona las RUMC con demás unidades geológicas de la zona Bahía Honda (tomado del mapa geológico a escala 1: 100000; IGP/SGC, 2010) y ubicación del área de estudio. c) Perfil geológico, donde se observan las relaciones de las RUMC con otras secciones de rocas ofiolíticas, rocas del margen continental, de cobertura y sedimentos recientes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis petrográfico se realizó a un total de 21 muestras de peridotitas serpentinizadas tomadas en la parte suroeste del macizo Cajálbana. Las muestras se estudiaron en el microscopio petrográfico estándar Novel (NP- 107 B), de la Universidad de Pinar del Río. Para el análisis químico se seleccionaron las de menor grado de meteorización (13 muestras). Los elementos mayores fueron analizados en el laboratorio *Bureau Veritas Commodities Ltd.* (Vancouver, Canadá) y se obtuvieron por la metodología LF200. Cada muestra fue fusionada usando borato de litio y la masa fundida producida fue completamente disuelta con agua regia caliente. Los elementos mayores se analizaron en la solución resultante por el método de espectrometría de emisión óptica acoplado a plasma de forma inductiva (límite de detección ICP-OES: elementos mayores $\sim 0.01\%$).

Para contrastar los resultados se compararon con los análisis reportadas por Marchesi *et al.* (2006) de muestras correspondientes a los macizos de Moa-Baracoa (n=16), agrupadas según estos autores en tres grupos: H- harzburgitas (n=7), D- dunitas (n=3) y DI- dunitas impregnadas (n=6) y Mayarí-Cristal (n=10) agrupadas en: HN- harzburgitas norte (n=2), HS- harzburgitas sur (n=4) y DS- dunitas sur (n=4), correspondientes a tipo BAB y *forearc*, respectivamente, según los autores antes referidos. Además, se tomaron las muestras del trabajo de Butjosa *et al.* (2018) en Villa Clara (n=20), clasificadas como: Grupo A- peridotitas serpentinizadas abisales y de zonas de fracturas (n=10), y Grupo B- serpentinitas de tipo *forearc* (n=10). Todos los datos empleados son de base anhidra.

Con la ayuda del software *Statistical for Windows* 11.0 se realizaron los siguientes gráficos: (i) Diagrama de clasificación de rocas ultramáficas (Le Maitre *et al.*, 2002) y (ii) Diagramas $MgO/SiO_2-Al_2O_3/SiO_2$; FeO^T wt%- Al_2O_3 wt%; CaO wt%- Al_2O_3 wt%; TiO_2 wt%- Al_2O_3 wt%; donde se ubican los campos en las RUMC y *forearc* Mariana, propuesto por Butjosa *et al.* (2018). Por su mayor simplicidad se utilizó la abreviación wt%, procedente del inglés, para indicar el porcentaje en peso.

3. RESULTADOS

3.1. Petrografía de las rocas ultramáficas en el sector SW del macizo Cajálbana

Estas rocas están frecuentemente serpentinizadas y meteorizadas, siendo común observar en ellas procesos tectónicos a pequeña escala como pliegues, budinas y fracturas (Figura 2).



Figura 2. Rocas ultramáficas serpentinizadas y meteorizadas. Pequeños pliegues, budinas y fracturas (fotos tomadas por J. A. García Hernández).

Las litologías estudiadas son harzburgitas y en menor medida dunitas, según su composición mineralógica y química (Tablas 1 y 2; Figura 3). Las primeras se caracterizan por una composición modal, dada por olivino (68% - 79%), ortopiroxeno-enstatita (10%-20%), clinopiroxeno-augita (hasta 4%); además opacos, como la Cr-espinela (0.2%-3%) y magnetita (0.5% - 9.5%). Resalta la presencia de minerales del grupo de la serpentina (8% - 18%), algunas muestras alcanzan valores altos (30% y hasta 83%; Tabla 1).

Tabla 1. Composición mineralógica de las rocas ultramáficas en el sector SW del macizo Cajálbana

No.	Roca	Serpentina								Magnetita	Cromita	
		Ol	Opx	Cpx	Op	Chr	Srp	Cb	Chl			
M4-1	Hzg	68	15	-	1	1	15	-	-	Lz en cintas, Vetas de Ctl, Bst en Opx	En vetas con Srp	Alterada y fracturada
M4-2	Hzg	72	14	2	1,5	0,5	10	-	-	Srp en bordes del Ol, Vetas de Ctl	En vetas y granos diseminados bien definidos	Pequeños granos alterados y fracturados
M4-5	Hzg	69	15	2	-	2	12	-	-	Srp alrededor del Ol y en vetas	En vetas y bordes de Ol y Px	Pequeños granos alterados y fracturados
M5-1	Hzg	70	10	2	2	1	15	-	-	Lz en cintas, Vetas de Ctl	Vetas irregulares, Vetas y fracturas en Px	Alterada a Mag o ChrFe Inclusión en Opx
M5-2	Hzg	70	12	2	3	1	12	-	-	Vetas de Srp en Cpx, Lz en cintas	Vetas abundantes	Alterada a Mag o ChrFe y con inclusiones de Ol
M5-4	Hzg serp	15	45	-	9	1	30	-	-	Ctl	Diseminados y en vetas	Granos alterados a Mag o ChrFe
M5-5	Hzg	68	20	2	1	1	8	-	-	Vetas de Srp en toda la roca	Vetas irregulares	Alterada a Mag o ChrFe
M5-6	Hzg	72	10	2	3	3	10	-	-	Vetas de Srp, Lz en cintas	Vetas	Alterada a Mag o ChrFe

M5-7	Hzg	74	12	-	3	1	10	-	-	Vetas de Ctl cortando los Opx	Vetas	Granos muy poco alterados
MC-2	Hzg	78	8	4	4,5	0,5	2	-	3	Lz y Spf	Alrededor del Ol y Px	Granos dispersos
MC-3	Hzg	69	15	2	2	1	10	1	-	Lz, en ocasiones Ctl	Vetas	Fracturada y alterada a Mag o ChrFe
MC-4	Hzg	75	8	2	3	2	10	-	-	Ctl	Vetas	Alterada a Mag o ChrFe
MC-5	Hzg	60	15	4	2,5	0,5	18	-	-	Lz y Vetas de Ctl cortando los Opx	Dispersa, de grano fino, relacionado a la Srp	Granos anhédricos, fracturados, con bordes alterados
MC-6	Dnt serp	-	10	-	8	2	80	-	-	Ctl, Lz y bastita en Opx	Diseminada y en vetas	Alterada en los bordes a Mag o ChrFe
MC-7	Dnt serp	-	7	-	9,5	0,5	83	-	-	Lz, Ctl en vetas y bastita en Opx	Diseminada y en vetas	Alterada a Mag o ChrFe, principalmente en los bordes
MC-9	Hzg	71	14	2	1	1	11			Lz en cintas, Vetas de Ctl	Diseminada y en vetas	Alterada en los bordes a Mag o ChrFe
MC-10	Hzg	79	15	-	2	2	12	-	-	Ctl en vetas Bastita en Opx	Vetas y en los bordes del Ol y Px	Muy fractura y alterada a Mag o ChrFe,
MC-11	Hzg	77	8	2	1	2	10	-	-	Srp en mallas y en vetas	En los bordes del Ol y Px	Granos anhédricos poco alterados
MC-12	Hzg	84	10	1	1,5	0,5	3	-	-	Cintas de Lz. Vetas muy finas de Ctl y bastita en Opx	Vetas	Muy poco alterada
MC-13	Hzg	76	10	2	0,5	1,5	10	1	-	Mallas de Lz en Ol, Ctl	Vetas y granos diseminados	Poco alterada a Mag o ChrFe e inclusiones en Px
MC-14	Dnt	85	5	-	0,5	2	0,5	-	-	Lz en cintas, Ctl en vetas y bastita en Opx	Vetas y granos diseminados	Poco alterada

Nota: Simbología de los minerales según Whitney y Evans (2010): Ol-olivino, Opx-ortopiroxeno, Cpx-clinopiroxeno, Op-minerales opacos, Chr-cromita, Srp-serpentina Cb-carbonatos, Chl-clorita, ChrFe-ferrocromita, Hzg-harzburgita y Dnt-dunita.

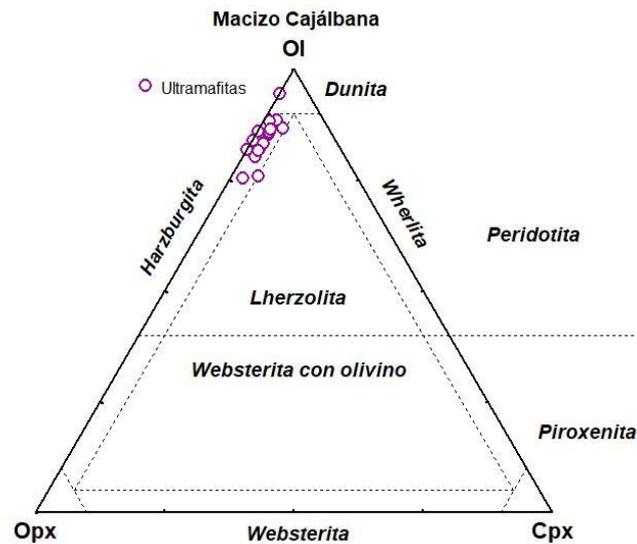


Figura 3. Diagrama de clasificación de las rocas ultramáficas del sector SW del macizo Cajálbana (Le Maitre *et al.*, 2002; Tabla 2).

El olivino posee fracturas rellenas de serpentina. Los piroxenos se presentan como porfiroclastos (Figura 4A) y tienen deformaciones plásticas con texturas *kink band*, extinción ondulante, lamelas de exsolución de clinopiroxeno en ortopiroxeno y muestran procesos de serpentinización.

Las dunitas se presentan de dos formas: (1) las menos alteradas, compuestas por olivino (~ 85%), orto y clinopiroxeno (~ 5%), serpentina y minerales opacos (Tabla 1), y (2) las que poseen un alto grado de serpentinización (hasta 83%), donde ya no se conservan los olivinos (Figura 4B), solo porfiroclastos de ortopiroxeno (7% - 10%) y minerales opacos. Ambas rocas tienen otros minerales subordinados como clorita y carbonatos (en vetas finas), acompañando los minerales serpentiníticos (Figura 4).

3.2. Serpentinización y minerales opacos

La serpentinización es frecuente, debido a la alteración de olivinos y piroxenos (Tabla 1). Se ve representada por la bastita y varios minerales del grupo de la serpentina (lizardita, crisotilo). La lizardita es muy común, tanto en dunita como harzburgita; se presenta por lo general en forma de cintas (textura en malla; Figura 4D). El crisotilo es fibroso, perpendicular a los bordes de las vetas, estas cortan irregularmente la roca (Figura 4E). En el diagrama de Le Maitre *et al.* (2002) no se plotearon las muestras muy serpentinizadas (M5-4, MC-6 y MC-7).

La Cr-espinela observada en todas las litologías aparece en forma de granos de color pardo, con tamaños variables que oscilan desde 0,1mm hasta 2 mm, frecuentemente anhédricos y fracturados; por lo general está alterada a Cr-

espinela rica en Fe^{3+} (color pardo claro; Bach *et al.* 2006; Frost y Beard 2007) o magnetita, tanto en sus bordes como en las fracturas (Figura 4F y G). Los minerales opacos presentes en vetas y en forma de granos diseminados bordeando al olivino y el piroxeno, corresponden a magnetita (a partir de la alteración de estos minerales), la cual es más frecuente en rocas con mayor grado de serpentinización (Figura 4C, D, H e I).

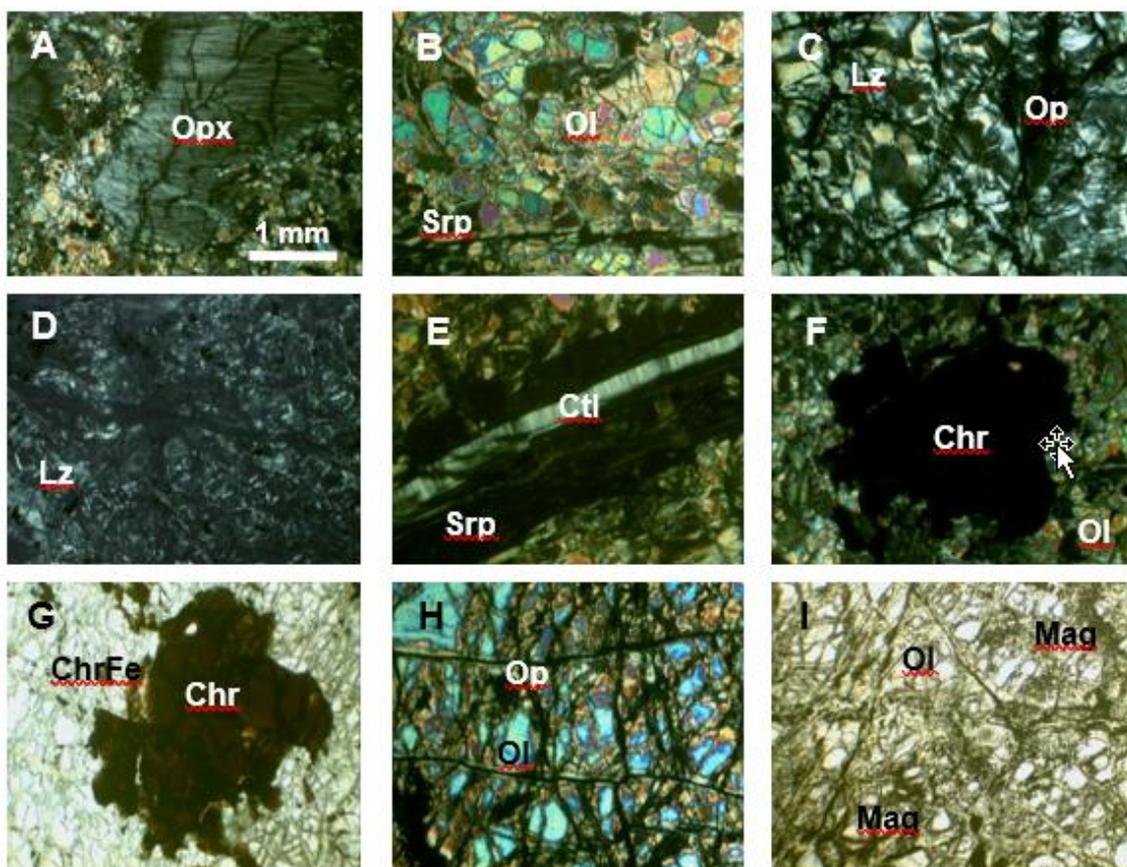


Figura 4. Fotomicrografías de las rocas ultramáficas, A- Porfiroclasto de ortopiroxeno bastitizado y fracturado (M4-1); B- Olivino con bordes de serpentina en dunita (MC-14); C- Proceso de serpentinización y minerales opacos en vetillas (MC-6); D- Lizardita en forma de cinta (MC-7); E- Veta de crisotilo en harzburgita (M5-7); F y G- Cromita anhidrica en harzburgita (MC-11); H- Vetillas de minerales opacos relacionadas con olivino en harzburgita (MC-2); I- Formas de presentarse los minerales opacos: diseminados, en vetas y bordeando los granos de olivino (MC- 2). Objetivo 4X y con nicoles cruzado (NX), excepto la G e I sin nicoles cruzados (SN). La barra de escala es para todas las fotomicrografías.

3.3. Geoquímica

Los valores de pérdida por ignición (PPI) en las dunitas y harzburgitas analizadas (Figura 4, Tabla 2) se encuentran entre 7 wt% y 15 wt%, lo que

indica el nivel de alteración por serpentización en estas rocas (Deschamps *et al.* 2013).

Tabla 2. Composición de elementos mayores de las rocas ultramáficas en el sector SW del Macizo Cajálbana

Muestra	MC-2	MC-3	MC-4	MC-5	MC-6	MC-7	MC-9	MC-10	MC-11	MC-12	MC-13	MC-14	MC-15
X	246170	246102	246049	245979	245880	245929	245376	245411	245545	245547	245408	245273	244931
Y	329686	329709	329722	329732	329752	329604	330176	330243	330241	330367	330439	330492	330715
<i>Elementos mayores (wt %)</i>													
SiO ₂	40,40	40,63	40,55	40,92	38,75	38,38	39,74	38,24	39,65	40,54	39,79	40,01	39,58
TiO ₂	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Al ₂ O ₃	1,77	1,67	2,12	2,17	1,19	1,45	2,09	1,05	1,48	1,44	1,42	1,60	1,45
Fe ₂ O ₃	8,67	8,24	8,45	8,58	7,93	9,06	8,22	8,80	8,85	8,58	8,76	8,57	8,39
MnO	0,12	0,12	0,12	0,12	0,09	0,10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
MgO	38,51	39,55	37,17	34,95	37,42	35,11	37,83	39,87	39,66	39,50	39,65	40,31	38,29
CaO	2,11	1,69	2,33	2,06	0,10	0,04	2,35	0,77	1,49	1,59	1,79	0,77	1,47
Na ₂ O	0,03	0,05	0,05	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
K ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P ₂ O ₅	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Cr ₂ O ₃	0,326	0,353	0,362	0,405	0,427	0,406	0,453	0,256	0,379	0,340	0,337	0,358	0,457
PPI	7,60	7,30	8,40	10,40	13,80	15,00	8,80	10,50	8,00	7,50	7,70	7,90	9,90
TOTAL	99,59	99,66	99,61	99,69	99,75	99,60	99,67	99,66	99,68	99,67	99,63	99,70	99,71

Se obtuvo que las RUMC mantienen relaciones de MgO/SiO₂ y contenidos de FeO^T wt% similares (entre 0.8 - 1.1 y 9 - 11, respectivamente; Figura 5a y b); mientras que las relaciones de Al₂O₃/SiO₂, y los contenidos de Al₂O₃ wt% y TiO₂ wt% (entre 0.02 - 0.06, 1.17 - 2.43, 0.01 - 0.04, respectivamente) son relativamente variables (Figura 5a y d), y los de CaO wt% son los más variables (entre 0.04 - 2.58; Figura 5c).

Por otra parte, las rocas estudiadas tienen cierta afinidad con las DI de Moa-Baracoa, las HN de Mayarí-Cristal y las del GA de Villa Clara. En general, este conjunto de rocas tiene identidad con el campo abisal y con las zonas de solapamiento entre este campo y el *forearc* (Figura 5a-d).

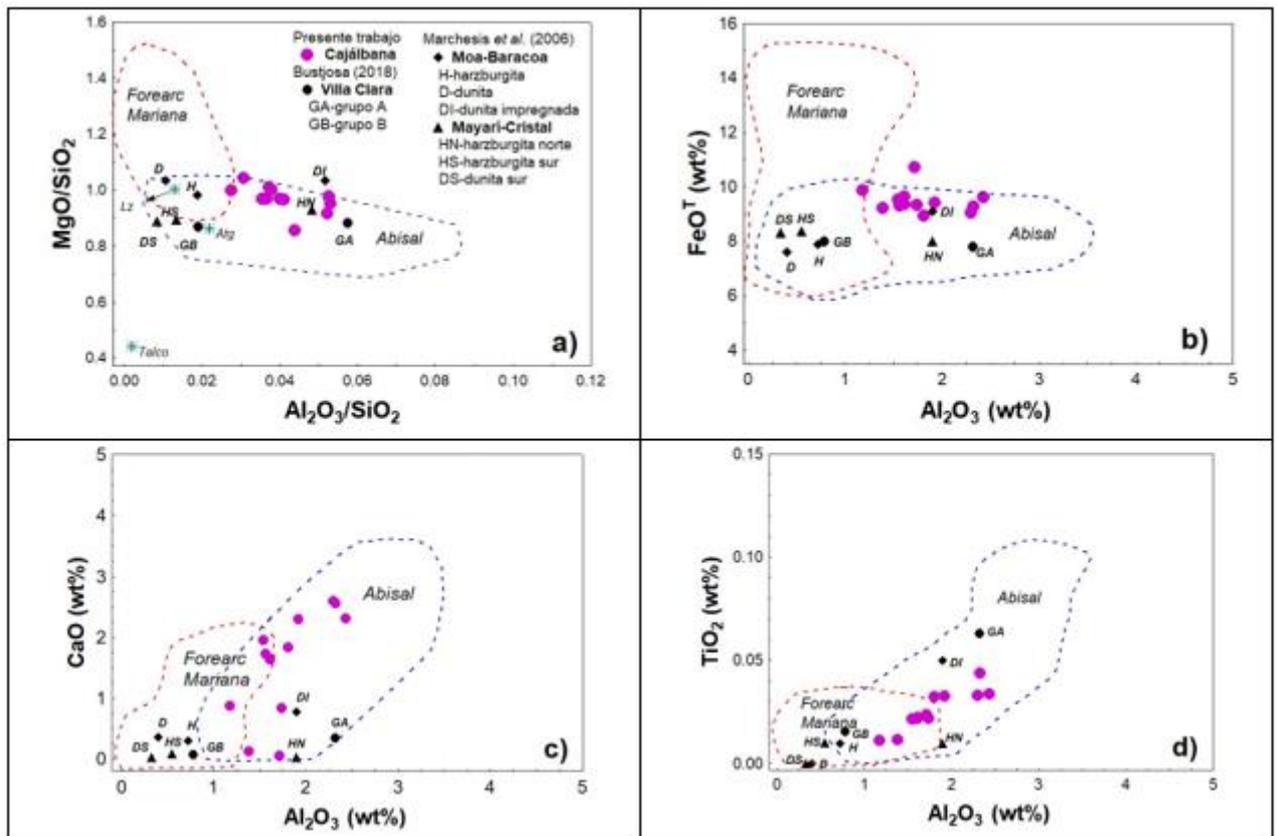


Figura 5. Diagramas de variación composicional de las rocas ultramáficas del macizo Cajalbana (campos de Butjosa *et al.*, 2018). a) MgO/SiO_2 vs. Al_2O_3/SiO_2 ; b) FeO_t wt% vs Al_2O_3 wt%; c) CaO wt% vs Al_2O_3 wt%; d) TiO_2 wt% vs Al_2O_3 wt%. Todos los óxidos están en base anhidra. Se plotean además rocas ultramáficas de varias regiones de Cuba para su comparación.

4. DISCUSIÓN

Las peridotitas representadas por harzburgita y en menor medida dunita son las rocas analizadas en el RUMC, mientras que otros autores han descrito lherzolita y piroxenita en esta estructura (Fonseca *et al.*, 1984). En su composición se distinguen un conjunto de minerales como: olivino, enstatita, augita, minerales serpentínicos, Cr-espínela y magnetita. Según Coleman (1977) los minerales del grupo de la serpentina formados durante la hidratación son: lizardita, crisotilo y antigorita. La lizardita y el crisotilo observadas en las RUMC representan minerales de baja temperatura ($\sim 350^\circ C$; Hekinian 1982). También relacionado a la serpentización se da la precipitación de minerales ricos en hierro (Cr-espínela rica en Fe^{3+} y magnetita); de esta forma, en condiciones con bajo contenido de SiO_2 puede precipitar magnetita (Bach *et al.* 2006; Frost y Beard 2007). La serpentización (alteración hidrotermal) produce en la Cr-espínela primaria una zonación óptica. En general, los núcleos de Cr-espínela

están rodeados por Cr-espínela rica en Fe^{3+} , que normalmente se encuentra en los bordes de los granos y en fracturas (Figura 4G). Ocasionalmente, se desarrollan bordes de magnetita rodeando a los núcleos y/o bordes de Cr-espínela rica en Fe^{3+} .

A partir de estos resultados se proponen dos etapas de mineralización, durante la evolución tectono-magmática de las RUMC (Tabla 1, Figura 4). El esquema mineralógico (Figura 6) muestra que la etapa 1 corresponde al proceso magmático, con la formación de olivino, piroxenos (enstatita y augita) y Cr-espínela. Los minerales de la etapa 2 se generan por penetración de fluidos hidrotermales vinculados a los procesos riftogenético y de obducción: lizardita, crisotilo y bastita; además, Cr-espínela rica en Fe^{3+} y magnetita bordeando la Cr-espínela (Gervilla *et al.* 2012), en granos diseminados y rodeando el olivino y los piroxenos (Figura 4I).

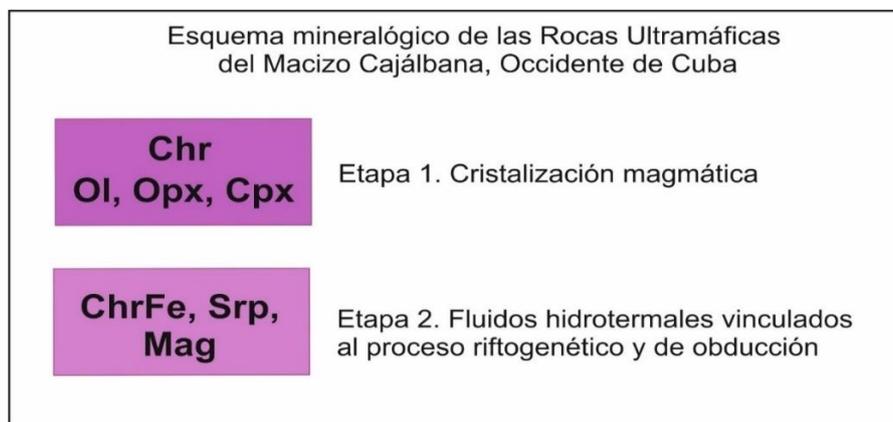


Figura 6. Etapas y minerales de las RUMC, a partir de los resultados de la Tabla 1 (ver abreviaturas).

Como se indicó anteriormente las RUMC tienen afinidad al tipo abisal y con las zonas de solapamiento entre este campo y el *forearc*; se aproximan a los campos ocupados por las DI de Moa-Baracoa, las HN de Mayarí-Cristal y las del GA de Villa Clara (Marchesi *et al.* 2006; Butjosa *et al.* 2018). Esta dualidad de comportamiento fue obtenida también por Proenza *et al.* (2019) a partir del análisis de los REE (*rare earth elements*) en este macizo. De las muestras analizadas por Proenza *et al.* (2019), cuatro corresponden al tipo abisal y dos a peridotitas SSZ.

Otros autores, a partir de estudios geoquímicos en basaltos de la formación Encrucijada (Figura 1b y c), le asignan un ambiente tipo BAB (Cruz-Gómez 1993; Cruz-Gómez y Méndez 1997) y MOR- *Backarc* (Llanes-Castro y Furnes 2021). Ello habla de que la identidad de las RUMC con la antigua corteza de proto-Caribe o la corteza de la placa Caribe no queda totalmente clara. Se ha documentado en el COS del territorio cubano una afinidad

geoquímica, tanto de un ambiente de subducción (*forearc*, BAB) como de suelo oceánico (abisal-MOR), predominando el primero para los macizos orientales (Camagüey, Mayarí y Moa- Baracoa; Proenza *et al.* 1999 a,b; Marchesi *et al.*, 2006; Henares *et al.* 2010) y dualidad de ambientes en distintas secciones de los macizos Villa Clara y Habana- Matanzas (Butjosa *et al.* 2018; Llanes-Castro *et al.* 2015; Iturralde-Vinent *et al.* 2016). De este modo pudiera darse también en las ofiolitas de las RUMC.

5. CONCLUSIONES

- Durante el proceso magmático y posterior serpentización de las harzburgitas y dunitas del RUMC se distinguen dos etapas fundamentales en la formación de los minerales observados: (1) con olivino, enstatita, augita y Cr-espinela y (2) con lizardita, crisotilo, Cr-espinela rica en Fe^{3+} y magnetita. Esta última vinculada a la penetración de fluidos hidrotermales vinculados a los procesos riftogenético y de obducción.
- Las RUMC varían dentro del rango de las rocas ultramáficas de ambiente abisal y zonas de solapamiento de este ambiente con el *forearc*. Ello está determinado por la variación en la relación Al_2O_3/SiO_2 y el porcentaje en peso de Al_2O_3 , TiO_2 y CaO (0.02 - 0.06, 1.17 - 2.43, 0.01 - 0.04 y 0.04 - 2.58, respectivamente). Tal comportamiento también se manifiesta en conjuntos rocosos de otros constituyentes del COS.

6. REFERENCIAS

- Bach, W., Paulick, H., Garrido, C. J., Ildefonse, B., Meurer, W. P. & Humphris, S.E. (2006). Unraveling the sequence of serpentization reactions: petrography, mineral chemistry, and petrophysics of serpentinites from mar 15°N (Odp Leg 209, Site 1274). *Geophysical Research Letters*, 14, 1- 4. <https://doi.org/10.1029/2006gl025681>
- Butjosa Molines, L. (2018). The petrogenesis of the ophiolitic mélange of Central Cuba: Origin and evolution of oceanic lithosphere from abyssal to subduction and suprasubduction zone settings. [Tesis De Doctorado, Universidad De Barcelona]. <http://hdl.handle.net/2445/122449>
- Butjosa, L., Cambeses, A., Proenza, J. A., Agostini, S., Iturralde-Vinent, M., Bernal-Rodríguez, L. & García-Casco, A. (2023). Relict abyssal mantle in a Caribbean Forearc Ophiolite (Villa Clara, Central Cuba): Petrogenetic and geodynamic implications. *International Geology Review*, 65, 196-227. <https://doi.org/10.1080/00206814.2023.2179229>

- Cruz-Gámez, E. M. (1993). Papel del vulcanismo básico en la formación de los yacimientos cupro-píricos de la zona estructuro-facial Bahía Honda, Pinar del Río. [Tesis De Doctorado, Universidad De Pinar Del Río].
- Cruz-Gámez, E. M. & Simón, A. (1997). Principales rasgos del complejo de basaltos en la región de Bahía Honda. *Minería y Geología*, 14(3), 25-31.
- Coleman, R. G. (1971). Petrologic and geophysical nature of serpentinites. *Geological Society of America*, 82(4), 897-917.
- Deschamps, F., Godard M., Guillot, S. & Hattori, K. (2013). Geochemistry of Subduction Zone Serpentinites: A Review. *Lithos*, 178, 96-127.
- Dilek, Y. & Furnes, H. (2011). Ophiolite genesis and global tectonics: geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere. *Bulletin*, 123(3-4), 387- 411. <https://Doi.Org/10.1130/B30446.1>
- Fonseca, E., Zelepuguin, M. & Heredia, M. (1984). Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica en Cuba. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 9, 31-46.
- Frost, B. & Beard, J. S. (2007). On silica activity and serpentinization. *Journal of Petrology*, 48, 1351-1368. <https://Doi.Org/1351-1368.10.1093/Petrology/Egm0211>
- García-Casco, A., Pérez De Arce, C., Millán-Trujillo, G., Iturralde-Vinent, M., Fonseca, E., Torres-Roldán, R. L., Núñez-Cambra, K. & Morata, D. (2003). Metabasites from the northern serpentinite belt (Cuba) and a metamorphic perspective of the plate tectonic models for the caribbean region. Taller Del Proyecto N° 433 Del Picg/Unesco "Tectónica De Placas En El Caribe". Geomin 2003, La Habana, Cuba.
- García-Casco, A., Lázaro-Calisalvo, C., Rojas-Agramonte, Y., Kröner, A., Torres-Roldán, R. L., Núñez-Cambra, K., Neubauer, F., Millán-Trujillo, G. & Blanco-Quintero, I. F. (2008). Partial melting and counterclockwise P-T path of subducted oceanic crust (Sierra del Convento Mélange, Cuba). *Journal of Petrology*, 49(1), 129-161. <https://Doi.Org/10.1093/Petrology/Egm074>
- García-Casco, A., Iturralde-Vinent, M., & Pindell, J. (2008). Latest cretaceous collision/accretion between the Caribbean Plate and Caribéana: Origin of metamorphic terranes in the Greater Antilles. *International Geology Review*, 50, 781-809. <https://Doi.Org/10.2747/0020-6814.50.9.781>
- Gervilla, F., Proenza-Fernández, J. A., Frei, R., González-Jiménez, J. M., Garrido, C. J., Melgarejo, J. C., Meibom, A., Díaz-Martínez, R. & Lavaut-Copa, W. (2005). Distribution of platinum-group elements and Os isotopes in chromite ores from Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150, 589-607.
- Gervilla, F., Padrón Navarta, J. A., Kerestedjian, T., Sergeeva, I., González Jiménez, J. M. & Fanlo, I. (2012). Formation of ferrian chromite in podiform chromitites from the Golyamo Kamenyane serpentinite. Eastern Rhodopes, Se

- Bulgaria: A two-stage process. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 164, 643-657.
- Hekinian, R. (1982). Petrology of the ocean floor. An Edition of petrology of the ocean floor, *Elsevier Oceanography Series* 33.
- Henares, S., González-Jiménez, J. M., Gervilla, F., Proenza, J. A., Chang, A. & González-Pontón, R. B. (2010). Las cromititas del complejo ofiolítico de Camagüey, Cuba: Un ejemplo de cromititas ricas en Al. *Boletín Sociedad Geológica Mexicana*, 62 (1), 173-185.
- Kravchenko, G. & Vázquez Santana, O. (1985). Estructura y perspectivas cromíferas de algunas regiones de los macizos ultrabásicos de Cuba. *Ciencias de La Tierra y del Espacio*, 10, 37-55.
- Iturralde-Vinent, M. (1990). Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. *Ciencias de La Tierra y del Espacio*, 17, 8-26.
- Iturralde-Vinent, M. (1996). Geología de las ofiolitas de Cuba, En: Iturralde-Vinent, M.A. (Ed), *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. International Geological Correlation Program Project 364, 179-189.
- Iturralde-Vinent, M. A., Garcia-Casco, A., Rojas-Agramonte, Y., Proenza, J. A., Murphy, J. B., & Stern, R. J. (2016). The geology of Cuba: A brief overview and synthesis, *Gsa Today*, 26, 4-10. <https://Doi.Org/10.1130/Gsatg296a.1>
- Llanes-Castro, A. I., Proenza J. A., Zaccarini, F., Garuti, G. & Pacheco Sarlabous, M. S. (2015). Al- and Cr-rich chromitites from the eastern Havana-Matanzas ophiolites (Western Cuba). *American Mineralogist*, 94, 1459-1467. <https://Doi.Org/10.18814/Epiugs/2015/V38i4/82429>
- Llanes-Castro, A. I. & Furnes, H. (2021). *Geochemical fingerprinting of ancient oceanic basalts: classification of the cuban ophiolites*. Springer.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorensen, H. & Woolley, A. R. (2002). *Igneous rocks. A classification and glossary of terms*. Ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Marchesi, C., Garrido, C. J., Godard, M., Proenza-Fernández, J. A., Gervilla, F. & Blanco-Moreno, J. A. (2006). Petrogenesis of highly depleted peridotites and gabbroic rocks from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belts (Eastern Cuba). *Contributions To Mineralogy And Petrology*, 151, 717-736. <https://Doi.Org/10.1007/S00410-006-0089-0>
- Prieto, C. M., Llanes Castro, A. I., Mayeta, R., Ramos, R. & García- Hernández, J. A. (2017). Caracterización mineralógico textural del sector sur-oeste del macizo Cajalbana, La Palma, Pinar del Río. *Infomin*, 9(2), 10-24.
- Proenza, J., Gervilla, F. & Melgarejo, J. C. (1999 a). La Moho Transition Zone en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba): Un ejemplo de interacción

magma/peridotita. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(3-4), 309-327.

Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J. C., Bodinier J. L. (1999 b). Al-rich and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94, 547-566.

Proenza, J. A., García-Casco, A., Rojas-Agramonte, Y., Iturralde-Vinent, M. A., Marchesi, C., Lázaro, C., Blanco-Quintero, I. F., Butjosa, L., Cárdenas-Párraga, J., Gervilla, N. F., Farré De Pablo, J., & Llanes-Castro, A. I. (2019). Age and petrogenesis of cuban ophiolites. VIII Convención de Ciencias de la Tierra. La Habana, Cuba.

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

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

MEGC, EMCG: Procesamiento de la información, descripción microscópica, elaboración e interpretación de gráficos, elaboración del manuscrito, revisión y corrección, aceptación de la versión final. **RRP:** trabajos de campo, toma de muestras, aceptación de la versión final.

ORCID

MEGC: <https://orcid.org/0000-0002-0406-2773>

EMCG: <https://orcid.org/0000-0001-8887-7277>

RRP: <https://orcid.org/0009-0001-6475-2848>

Recibido: 04/10/2024

Aceptado: 25/11/2025