CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICO TEXTURAL DEL SECTOR SUR-OESTE DEL MACIZO CAJÁLBANA, LA PALMA PINAR, DEL RÍO

TEXTURAL MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SOUTH-WEST SECTOR OF THE CAJÁLBANA MASSIF, LA PALMA PINAR DEL RÍO

Carla Maria Prieto Cabeza [(1)], Angélica Isabel Llanes [(1)], Reinier Mayeta Cutiño [(1)], Raydel Ramos Pineda [(2)], Julio Julio A. García Hernández [(2)]

El macizo Cajálbana constituye el afloramiento de rocas ultramáficas más extenso del occidente cubano y probablemente el menos estudiado. Este trabajo tuvo como objetivo definir las características mineralógicas y texturales de las rocas que afloran en su extremo suroeste, basado en la interpretación del análisis petrográfico. Se realizó un muestreo de las rocas representativas a lo largo de 4 perfiles, el primero siguiendo el rumbo NE-SW del lecho del río Tortuga y el resto en tres caminos transversales al mismo, donde se tomaron 32 muestras. Macroscópicamente es posible observar la orientación preferencial de los piroxenos marcando sus planos de exfoliación dado por la formación de las rocas en condiciones de flujo mantélico, lo que le otorga una fábrica metamórfica de tectonita. A partir del análisis microscópico se determinó su composición modal, cuya mineralogía es característica de las peridotitas de tipo harzburgita y subordinadamente aparecen dunita y piroxenita. La textura más frecuente es de tipo porfidoclástica con una matriz holocristalina alotriomórfica granular, con huellas de deformaciones intracristalinas en los piroxenos como son: límites subgranulares (*kink band boundaries*), extinción ondulante, y lámelas de exsolución a favor de sus planos de exfoliación.

Palabras clave: características mineralógicas y texturales, rocas representativas, macizo Cajálbana

The Cajálbana massif constitutes the most extensive ultramafic rocks outcrop and probably the least studied in western Cuba. The objective of this work was to define the mineralogical and textural characteristics based on the interpretation of the petrographic analysis, of the rocks that emerge at the extreme southwest. A sampling of the representative rocks was carried out along 4 profiles, the first one following the NE-SW course of the Tortuga river bed and the rest in three transversal roads, where 32 samples were taken. Macroscopically it is possible to observe the preferential orientation of the pyroxenes by marking their planes of exfoliation given by the formation of the rocks under conditions of mantle flow, which gives it a metamorphic factory of tectonite. From the microscopic analysis, its modal composition whose mineralogy is typical of the harzburgite-type peridotites was determined and, subordinately, dunite and pyroxenite appear. The most frequent texture is porphyroclastic type with a granular alotriomorphic holocrystalline matrix, with traces of intracrystalline deformations in the pyroxenes such as: kink band boundaries, undulating extinction, and exsolution lamellas in favor of their exfoliation planes.

Key words: mineralogical and textural characteristics, representative rocks, Cajálbana massif

Recibido: 1 de febrero del 2017
Aprobado en su forma original: 18 de mayo del 2017

(1) Instituto de Geología y Paleontología (IGP)/ Servicio Geológico de Cuba, MINEM, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba, carla@igp.minem.cu
(2) Universidad de Pinar del Río, MES. Martí Final, Pinar del Río, Cuba,

INTRODUCCIÓN

Las ofiolitas de Cajálbana forman parte del cinturón de rocas máficas-ultramáficas del norte de Cuba, usualmente reconocido como "Ofiolitas septentrionales", las que ocurren como cuerpos alargados y deformados, usualmente desmembrados e imbricados con mantos y escamas tectónicas de las rocas del arco cretácico y de margen continental.

Las rocas de estos complejos máfico-ultrámaficos han sido estudiadas heterogéneamente, donde las ofiolitas de Cajálbana se distinguen entre las de menor grado de estudio. El macizo Cajálbana tiene un área aproximada de solamente 50 $km^{2,}$ está constituido fundamentalmente por rocas ultramáficas, aunque gabros y plagiogranitos han sido revelados. Las investigaciones realizadas en el área se remontan a la primera mitad del siglo XX en manos de la compañía norteamericana Cuban Iron Company, que realizaron estudios de prospección en el área. Posterior al triunfo de la revolución cubana, un colectivo de investigadores soviéticos y cubanos del Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba, iniciaron estudios sobre particularidades geológicas de la mineralización de cromo y sus encajantes, siendo la primera vez en detectar y describir las manifestaciones de cromo en esta zona. El estudio petrológico más completo fue realizado por Fonseca (1989) en el que destaca cuatro variedades fundamentales de rocas, tales como; peridotitas, dunitas, piroxenitas y serpentinitas afectadas intensamente por la tectónica, con un marcado carácter de tipo lherzolita agotada. Sin embargo, aún quedan por esclarecer algunas de las interrogantes sobre los procesos de evolución magmática que formaron las rocas ultramáficas que hoy se encuentran en este contexto geológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La primera etapa de la investigación fue la revisión bibliográfica, que se realizó con el fin de acumular información referente a los estudios desarrollados con anterioridad sobre las ofiolitas en Cuba y su petrología. Esta información se recopiló a partir de investigaciones, proyectos e informes geológicos de los complejos ultramáficos pertenecientes al Cinturón Ofiolítico Septentrional. El trabajo de campo se desarrolló en el Sector Sur-Oeste del macizo, donde se realizó un perfil siguiendo el rumbo del río Tortuga y tres perfiles transversales a este. Se tomaron puntos de muestreo a una distancia promedio de 250 m, pero esta fue variable debido a las características del terreno y al grado de interés que pudiera presentar algún afloramiento intermedio. El método utilizado para medir la distancia fue el doble paso, además de mediciones con GPS, con un error inferior a 4m; utilizando la plancheta cartográfica San Juan de Sagua a escala 1:25 000. Se recopilaron un total de 32 muestras a partir de las cuales fueron confeccionadas 32 secciones delgadas que se analizaron en un microscopio petrográfico Novel.

Conociendo las propiedades ópticas de cada uno de los minerales se identificó la composición mineralógica y los rasgos texturales, así como los minerales principales, secundarios y accesorios que forman estas rocas. Se determinó la composición modal, donde se estableció el porcentaje de cada uno de los minerales que componen la muestra. Las secciones delgadas se dividieron en cuadrículas y se midieron los porcentajes en cada uno de los puntos con el objetivo de eliminar el margen de error que puede surgir al determinar la composición modal de la muestra de manera general. Se realizaron alrededor de 45 mediciones por muestra que fueron posteriormente promediadas. Con el apoyo del diagrama de Streckeisen para rocas ultramáficas se pudieron determinar los tipos de rocas existentes en el Área. 15 muestras correspondientes al perfil del Río Tortuga (Perfil Longitudinal) fueron analizadas por microscopía electrónica de barrido (SEM) en las que se determinó la composición mineralógica fundamental de la roca y se hizo una estimación cuantitativa de los elementos mayoritarios en roca total. Estos datos fueron procesados para confeccionar diagramas de variación, y en correspondencia con los

análisis modales y el cálculo de la norma CIPW, permitieron esclarecer algunas particularidades de la petrogénesis del macizo partir del modelo empírico propuesto por Green & Ringwood (1967).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mapa de datos reales (Figura 1) visualiza la ubicación en el sector de estudio de los puntos que fueron muestreados en el campo para realizar los análisis petrográficos, que posteriormente fueron analizados e interpretados para la confección de este trabajo.

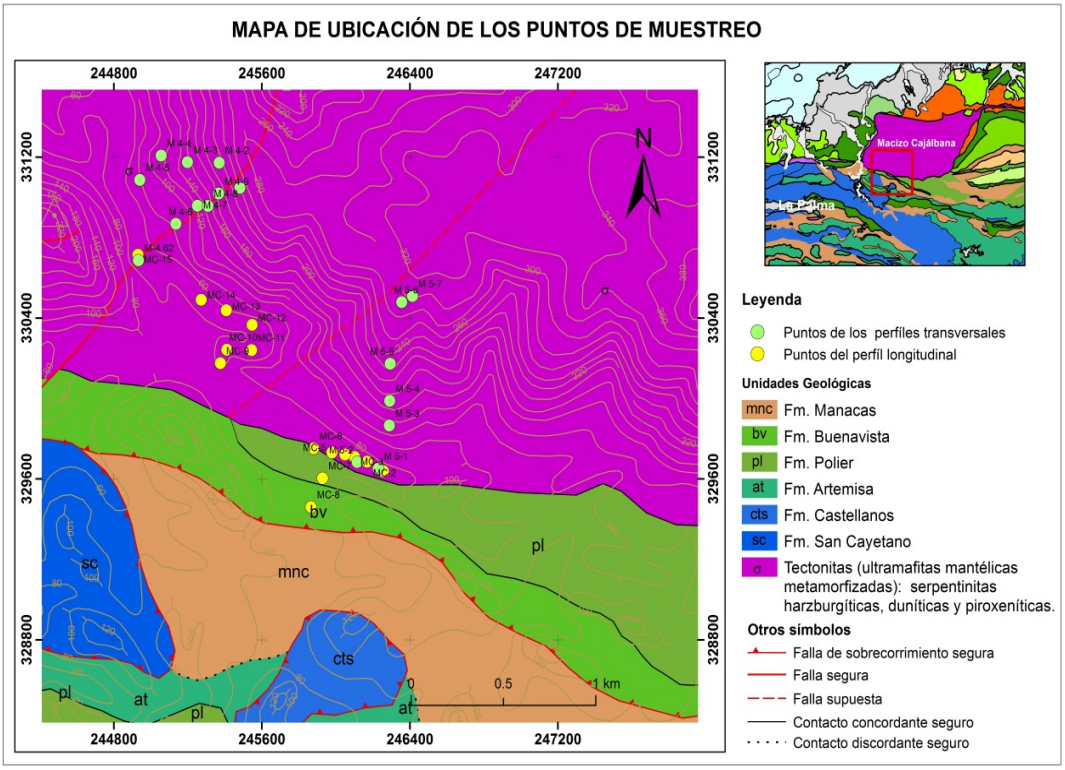


Figura 1. Mapa de datos reales que muestra la ubicación de los puntos de muestreo.

Descripción Petrográfica Macroscópica

Las rocas ultramáficas de Cajálbana presentan estructura masiva, en ocasiones con planos de foliación que simulaban estratificación; de coloración verde oscuro, con marcados rasgos de oxidación de color rojizo. Predominio de suelo laterítico y de formas positivas del relieve de la roca, generado por porfidoclastos de piroxenos envueltos en una matriz olivínica. Macroscópicamente es posible observar la orientación preferencial de los pórfidos de piroxeno marcando sus planos de exfoliación, dado por la formación de las rocas en condiciones de flujo mantélico, lo que le otorga una fábrica metamórfica de tectonita, también se observaron grietas rellenas de minerales de alteración, probablemente del grupo de la serpentina.

Descripción Petrográfica Microscópica

Las muestras analizadas alcanzaron un total de 31 secciones delgadas, siendo 17 tomadas de los perfiles transversales y 14 del perfil longitudinal. Estas fueron analizadas en el microscopio óptico para determinar su composición modal, arrojando los siguientes resultados (Tablas 1 y 2).

Tabla 1: Composición modal de las muestras los perfiles transversales

Muestra	X	Y	Ol	Opx	Cpx
M-4.1	245482	331048	86	13	1
M-4.2	245370	331173	82	17	1
M-4.3	245199	331175	88	11	1
M-4.4	245056	331209	80	19	1
M-4.5	244940	331088	88	10	2
M-4.6	245136	330869	83	15	2
M-4.62	244934	330688	82	18	0
M-4.7	245252	330959	86	14	0
M-4.8	245309	330959	77	21	2
M-4.9	245367	331019	86	13	1
M-5.1	246229	329651	79	20	1
M-5.2	246115	329684	86	11	3
M-5.3	246290	329866	84	15	1
M-5.4	246292	329989	25	75	0
M-5.5	246295	330173	83	16	1
M-5.6	246357	330480	79	20	1
M-5.7	246414	330510	88	12	0

Ol: olivino; Opx: ortopiroxeno; Cpx: clinopiroxeno.

Tabla 2: Composición Modal de las muestras del perfil longitudinal

Muestra	X	Y	Ol	Opx	Cpx
MC-1	246257	329639	82	16	2
MC-2	246170	329686	79	20	1
MC-3	246102	329709	88	11	1
MC-4	246049	329722	82	17	1
MC-5	245979	329732	75	23	2
MC-6	245880	329752	89	11	0
MC-7	245929	329604	95	5	0
MC-8	245866	329460	-	-	-
MC-9	245376	330176	82	16	2
MC-10	245411	330243	87	13	0
MC-11	245545	330241	85	15	0
MC-12	245547	330367	84	15	1
MC-13	245408	330439	84	15	1
MC-14	245273	330492	93	7	0
MC-15	244931	330715	92	8	0

El diagrama de Streckeisen para rocas ígneas (Figura 2) muestra que los grupos de rocas presentes en el área de estudio son peridotitas y piroxenitas. El tipo de roca más difundido en el área son las peridotitas de tipo harzburgita, aunque se presentaron dunitas en el perfil longitudinal y una ortopiroxenita de olivino en el perfil transversal de la Cárcava.

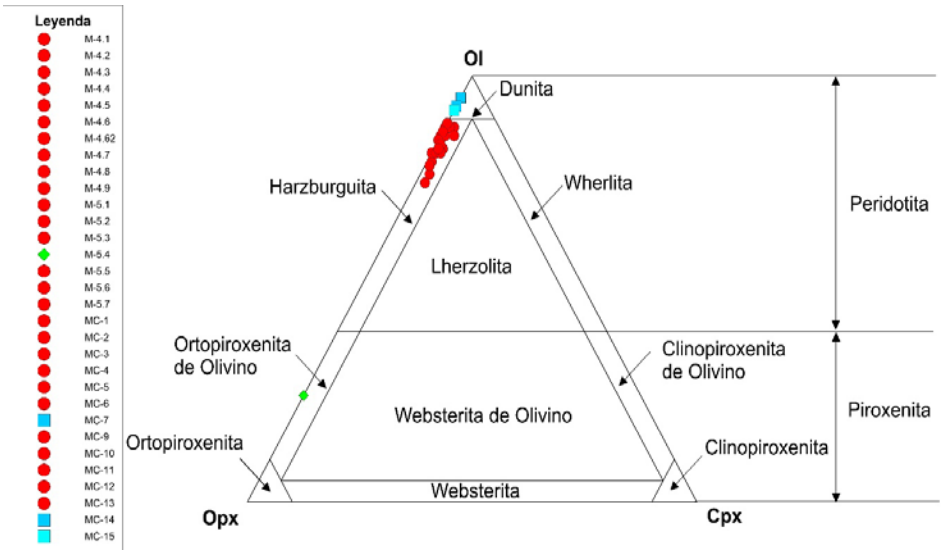


Figura 2. Diagrama de Streckeisen que muestra la sistemática de las rocas de las muestras analizadas.

Características Mineralógico-Texturales de la las Rocas Analizadas

Harzburgitas

Estas rocas resultaron ser las más abundantes de todas las rocas analizadas, encontrándose distribuidas a lo largo de todo el sector estudiado.

Composición mineralógica: En esta variedad de rocas se observan como minerales principales el olivino y el ortopiroxeno, como accesorios el clinopiroxeno y la cromo-espinela; y secundarios la magnetita y minerales del grupo de la serpentina.

Descripción de los minerales: Los cristales de olivino presentan forma xenomórfica, oscilan entre 0,2-0,3 mm de tamaño y se encuentran principalmente formando la matriz. Los cristales de ortopiroxenos presentan forma xenomórfica a subautomórfica, en ocasiones estos se encuentran serpentinizados, dando lugar a la bastita (ortopiroxeno serpentinizado) (Figura 3, C), estos cristales se presentan como porfidoclastos que van desde 1,5-2 mm, presentan fracturamiento y lamelas de exsolución a partir de clinopiroxenos (Figura 3, B). Los cristales de clinopiroxeno son muy escasos con concentraciones entre 1 y 3 % y presenta forma xenomórfica a subautomórfica. Los granos van desde 0,5-1,6 mm y en ocasiones se encuentran intercrecidos con cristales de ortopiroxeno (Figura 4, E). Los cristales de cromo-espinela se presentan con un color pardo opaco que resalta por encima del resto de los minerales, estos miden hasta 0,5 mm (Figura 3, A). Se presentan rellenando los intersticios minerales y como inclusiones dentro de cristales de olivino y piroxenos. Como mineral secundario más abundante están los del grupo de la serpentina quizás una mezcla polimórfica de antigorita y crisotilo (Figura 4, H). La masa serpentinítica presenta una coloración verde a amarillo pálido asociada a óxido de hierro residual (magnetita). La magnetita se presenta a partir de la propia alteración de los cristales de olivino o piroxeno y en ocasiones formando granos.

Textura: En las muestras predomina la textura porfidoclástica y se observan huellas de deformaciones intracristalinas en los piroxenos (como son: límites subgranulares, extinción ondulante, y lámelas de exsolución a favor de sus planos de exfoliación) (Figura 3, B y 4, F), envueltos en una matriz holocristalina alotriomórfica granular. Los cristales de piroxeno se presentan aislados con una fábrica mineral porfidoclástica embebidos en una matriz granular olivínica, también se observan cristales de olivino como inclusiones dentro de fenocristales de piroxeno.

Ortopiroxenita de olivino

Composición Mineralógica: Se observan como minerales principales el ortopiroxeno y el olivino, como mineral accesorio se presenta el clinopiroxeno y la cromo-espinela y como minerales secundarios los del grupo de la serpentina y óxidos de hierro (magnetita).

Descripción de los minerales: Esta roca presenta un alto grado de alteración del olivino y el piroxeno a minerales del grupo de la serpentina. Los cristales de cromo-espinela no son muy abundantes en la muestra representando solo el 1 %. La magnetita aparece como mineral residual a partir de la alteración del olivino y el piroxeno (Figura 3, D). Es muy común el ortopiroxeno bastitizado, los cuales se manifiestan como porfidoclastos relícticos que no exceden los 3 mm.

Textura: Esta roca de manera general presenta una textura holocristalina alotriomórfica, y afanítica. Los cristales se encuentran embebidos en una matriz olivínica-serpentinítica con abundante óxido de hierro residual.

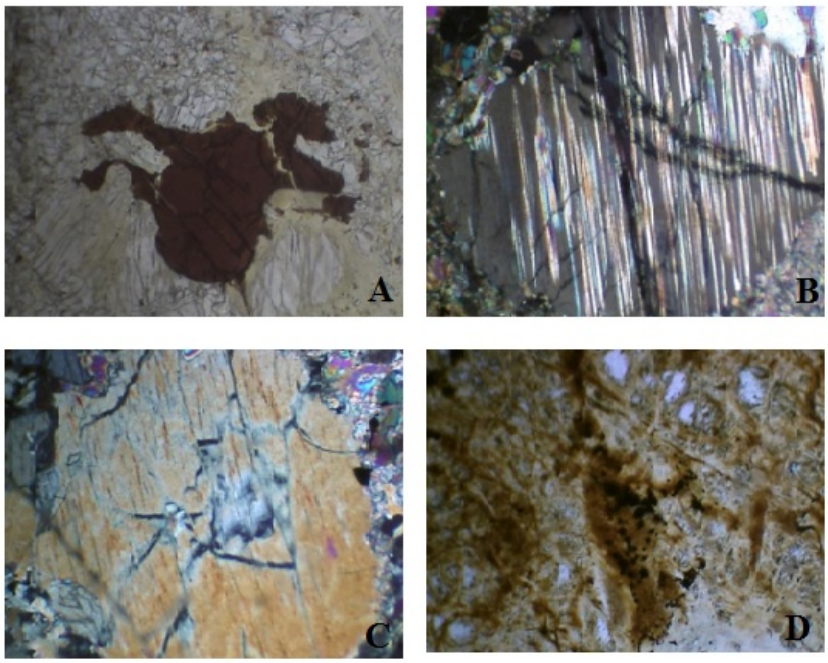


Figura 6. Minerales y texturas de las secciones delgadas analizadas. A) Cromita, B) ortopiroxeno con lamelas de exsolución, C) ortopiroxeno bastitizado, D) magnetita residual.

Dunitas

Composición Mineralógica: Se observa como mineral principal el olivino y en bajo grado el ortopiroxeno, como mineral accesorio fundamental la cromo-espinela y el clinopiroxeno; y como secundarios la magnetita y minerales del grupo de la serpentina.

Descripción de los minerales: Los cristales de olivino presentan forma xenomórfica, con alto grado de serpentinización, con dimensiones que oscilan entre 0,3-0,5 mm, de la matriz. Algunos granos de olivino aparecen como inclusiones dentro de fenocristales de ortopiroxenos y cristales de cromo-espinela. Se evidencia un intercrecimiento del olivino con el ortopiroxeno. Los cristales de ortopiroxenos presentan forma xenomórfica a subautomórfica; algunos cristales aparecen alterados a bastita, pero no son muy abundantes. Los cristales de ortopiroxeno se presentan como porfidoclastos que oscilan entre 0,5-3,5 mm y en ocasiones están intercrecidos con granos de olivino. Los cristales de clinopiroxeno son menos abundantes, no más del 1 %, y presentan forma xenomórfica a subautomórfica, con granos que alcanzan hasta 0,6-1,1 mm, estos granos presentan un fracturamiento interno con una extinción ondulante (Figura 4, F). Los cristales de cromo-espinela se presentan con un color pardo opaco que resalta por encima del resto de los minerales, y se manifiesta rellenando los intersticios minerales y también como inclusiones dentro de cristales de olivino y piroxenos. Los minerales secundarios más abundantes son los del grupo de la serpentina con una notoria característica de antigorita, esta presenta una coloración verde a amarillo pálido asociada a óxido de hierro. El mineral residual situado en medio de las masas de serpentina se identificó como magnetita.

Textura: Las muestras presentan una textura típica holocristalina-granular alotriomórfica y afanítica. Los cristales de piroxeno se presentan con una fábrica mineral porfidoclástica embebidos en una matriz granular olivínica, también se observan cristales de olivino como inclusiones dentro de fenocristales de piroxeno.

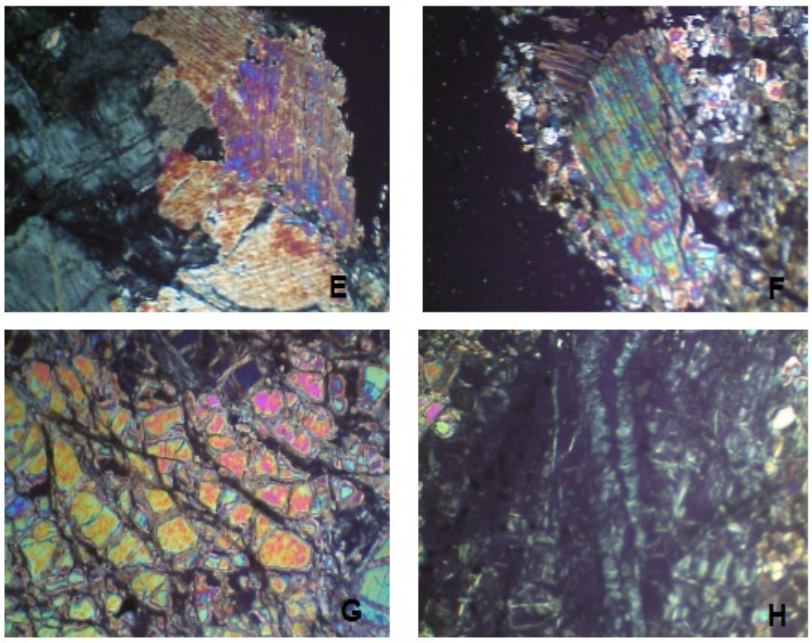


Figura 7. Minerales y texturas de las secciones delgadas analizadas, E) clinopiroxeno intercrecido con ortopiroxeno, F) Clinopiroxeno con extinción ondulante y límites subgranulares, G) cristales de olivino orientados y fracturados, H) masa serpentinítica.

Análisis Químicos

El desarrollo de los análisis químicos mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM) permitió conocer las composiciones químicas de las muestras, basándose en el análisis de óxidos mayores, siendo los elementos a confirmar en el análisis general: C, O, Na, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni. Revelando la mineralogía de las distintas zonas (Ligera, Media y Pesada) que se detectan en cada muestra debido al número atómico promedio de los minerales.

En las zonas ligeras, la serpentina resultó ser el mineral más abundante (Figura 8), la cual se encuentra como el resultado de alteración de silicatos compuestos principalmente por Al, Mg y Fe; que en las muestras aparecen formando olivino (forsterita y monticellita) y piroxeno (augita), correspondiéndose con los resultados del análisis petrográfico. En zonas aún más ligeras aparecieron precursores de materia orgánica en la serpentina.

Las zonas medias mostraron un predominio de cromopicotita, que es una variedad de cromita con impurezas de aluminio y magnesio combinados; y augita, un piroxeno formado por magnesio y calcio.

Las zonas pesadas (las más escasas) albergaban la presencia de óxidos de hierro (magnetita) como mineral más abundante, siempre con asociaciones de Fe y Cr.

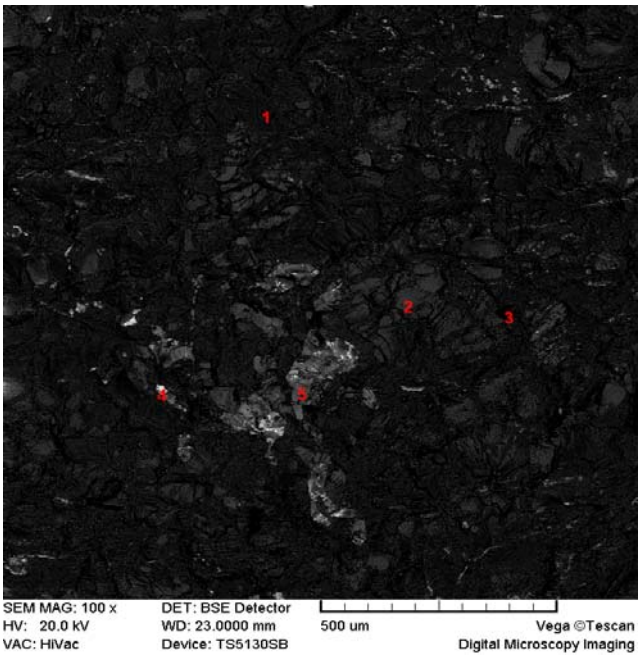


Figura 8. Foto de la muestra MC-10 donde se muestra serpentina (1), forsterita sin alterar (2), Materia Orgánica (3), magnetita (4), cromopicotita (5.)

La muestra MC-8, presenta una composición química muy diferente del resto de las muestras analizadas, componiéndose de cuarzo y mica (flogopita) fundamentalmente, lo que, apoyándose de la ubicación geográfica distante de esta muestra, permitió interpretar que esta no forma parte de las rocas ultramáficas del macizo.

El análisis de partículas aisladas dio como resultado la presencia de minerales como argentita, baritina, tornebohmita, pentlandita, galena, antimonita y oro nativo (Tabla 3).

Tabla 3. Mineralización en las partículas de interés analizadas.

Muestra	Mineral
MC- 3 partícula 1	pentlandita
MC- 4 partícula 2	argentita
MC- 6 partícula 2	baritina
MC- 8 Partícula 1	tornebohmita
MC- 9 partícula 3 y 4	oro nativo bastante puro
MC- 9 partícula 5	galena
MC- 9 partícula 6	antimonita

Síntesis y Evolución Magmática

Los diagramas de variación se utilizan para estudiar la evolución de las rocas ígneas y analizar la relación cogenéticas de un grupo de muestras asociadas. Los diagramas de Harker (Figura 9) muestran, en relación con las particularidades petroquímicas, que las harzburgitas y dunitas como sus equivalentes serpentinizados se caracterizan por un bajo contenido de SiO2 con un promedio de 38-42

%, por un alto contenido de MgO (37-46 %), por un contenido de hierro general de 6-10 % y por bajos contenidos de K2O+Na2O.

Las muestras analizadas se concentran fundamentalmente en el centro del diagrama. El rango de variación del NiO, Cr2O3 y MnO es más amplio en valor absoluto con respecto al contenido de SiO2, justificado por la presencia, en las muestras analizadas, de minerales formados a partir de estos óxidos, tales como pentlandita y cromita. Esto se debe a la alta compatibilidad del Ni y Cr, que en un equilibrio sólido-líquido muestran preferencia por la fase solida generando los minerales mencionados. La pentlandita es un sulfuro de Ni y Fe cuyos elementos tienen una preferencia por la fase sulfurosa según su carácter geoquímico, siendo el manto el sistema que se encuentra enriquecido en estos elementos.

La correlación lineal está bastante dispersa para los óxidos (CaO, Na2O, Al2O3, K2O) sin embargo existe homogeneidad en el comportamiento de los mismos, lo cual nos sugiere que durante la formación de estas rocas no imperó la cristalización fraccionada que se caracteriza por tener una tendencia lineal bastante marcada. Por otro lado, el hecho de que los óxidos de Na2O, K2O y el SiO2 presenten bajos contenidos son claras evidencias de que el magma no sufrió un fuerte proceso de diferenciación. El K2O presenta un comportamiento especial a partir de que en las rocas ultramáficas se comporta como un elemento traza. La abundancia de los datos que marca el diagrama de Harker para el CaO (rango) se justifica por la presencia del piroxeno augita y el olivino monticellita que contienen iones de calcio. Los contenidos de los Na2O, Al2O3y K2O son bajos, justificado porque la mayor parte de las muestras muestran porcentajes en peso de estos óxidos que no sobrepasan el 2%, dada su incapacidad para entrar en estadios tempranos al cristalizado magmático debido a su comportamiento geoquímico. La presencia del Al2O3 en las muestras se justifica por la existencia de Augita y Bastita

El comportamiento del FeO y MgO presenta cierto rango de variación con respecto al SiO2, sin embargo, los datos marcan en cierta medida el rango evolutivo del magma para llegar a formar estas rocas ultramáficas. El alto contenido de estos óxidos de elementos mayoritarios en las muestras se manifiesta por la presencia de minerales ferromagnesianos tales como olivino (forsterita, monticellita) y augita (piroxeno ferromagnesiano); los cuales, fuera del proceso de serpentinización de la roca, constituyen los minerales más abundantes.

De manera general los diagramas de Harker no muestran una tendencia lineal clara, lo cual dificulta establecer un patrón de evolución definido. Sin embargo, queda claro que teniendo en cuenta el comportamiento similar de los FeO y MgO, se puede inferir que la fuente de estas rocas fue efectivamente una pirolita (una parte basalto por tres de peridotita según Green & Ringwood 1967), que apenas evolucionó hacia un mayor contenido de Fe

.

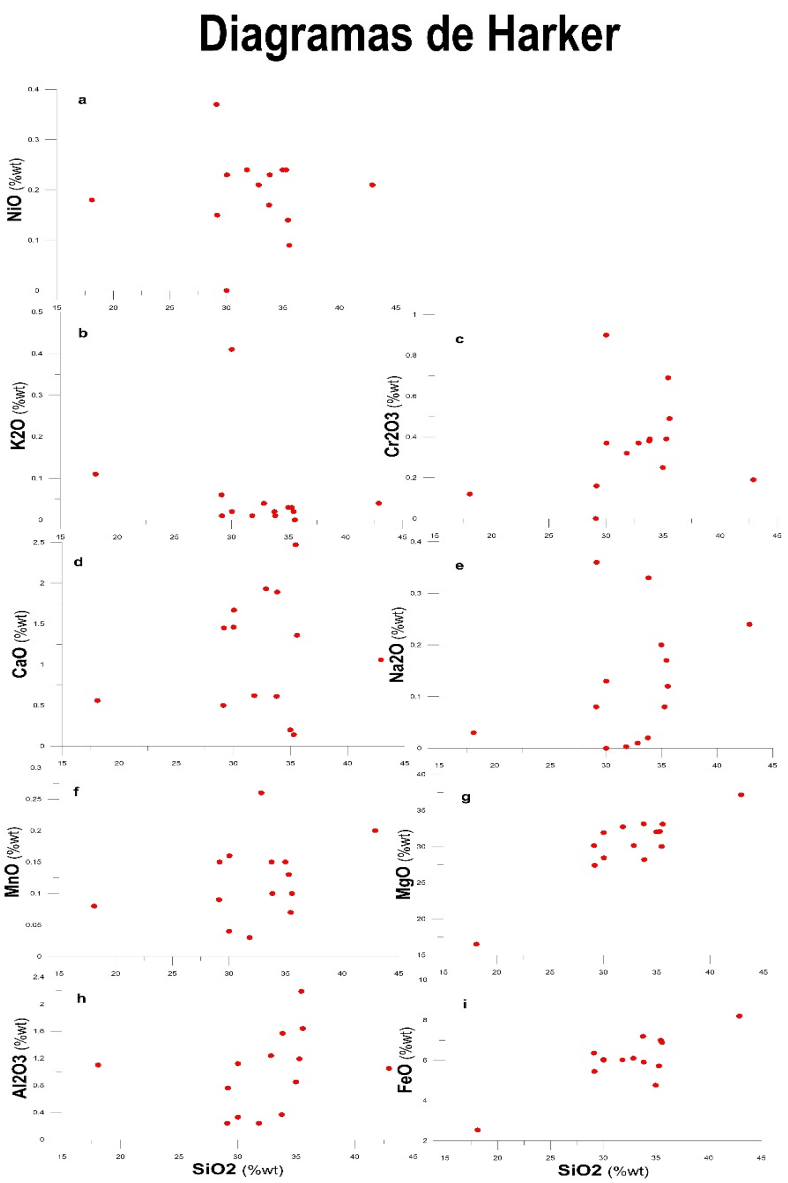


Figura 9. Diagramas de Harker que muestras la relación entre el SiO2 y los óxidos de elementos mayoritarios (%wt) para las rocas ultramáficas de Cajálbana.

Roeder & Emslie (1970) plantearon que los magmas primarios se caracterizan por una elevada relación Mg/Mg+Fe, un alto contenido de Ni y la abundancia de peridotitas. En el caso de estas muestras la relación fue de 0,83, con un contenido de Ni entre 766 y 2933 ppm y un predominio de peridotitas de tipo harzburgitas según los análisis petrográficos. Entonces pudiera tratarse de un magma primitivo con cierta tendencia hacia un magma primario.

El diagrama de Ni contra Cr (Skinner *et al.*1978 en: Fonseca 1988) muestra que las rocas de Cajálbana definidas como peridotitas, son comparables con los derivados del manto superior. Donde se ubican en la zona media-superior coincidiendo con las ultramáficas de Bay of Islands, que según estudios está demostrado que se formaron a partir de un magma proveniente de la parte superior del manto (Figura 10).

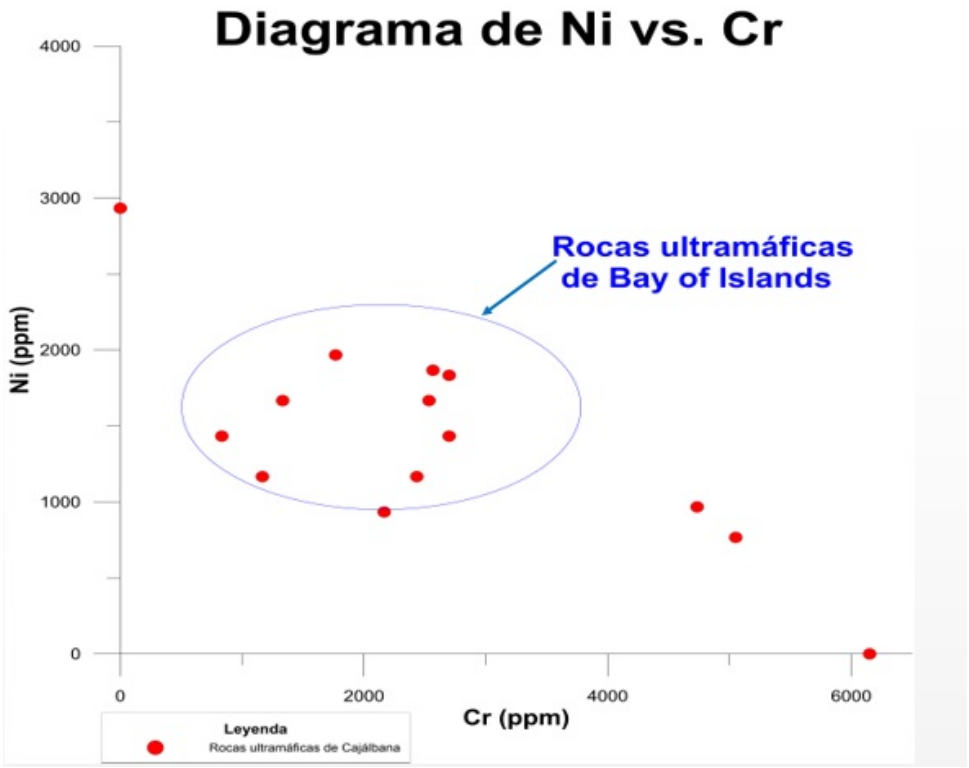


Figura 10. Diagrama de Ni vs Cr, que muestra como las muestras se corresponden con la ubicación de las rocas ultramáficas de Bay of Islands (encerrado en el área roja)

De modo general los datos de las ultramafitas de Cajálbana presentan un comportamiento disperso homogéneo de los CaO, Na2O, Al2O3, K2O y una marcada tendencia de agrupamiento en los contenidos de FeO y MgO, lo cual sugiere que el mecanismo de evolución más factible sería la fusión parcial de rocas a niveles del manto superior.

El diagrama AFM muestra como los sistemas evolucionan hacia el vértice A enriqueciéndose en álcalis siguiendo el trend de Bowen, sin embargo, las muestras analizadas presentan un marcado agrupamiento en las cercanías del vértice M (MgO) y una clara tendencia de un ligero crecimiento hacia el vértice F (FeO), mientras que los contenidos de álcalis no sobrepasan el 5 %; indicando una preferencia por seguir el trend de Fenner (Figura 11).

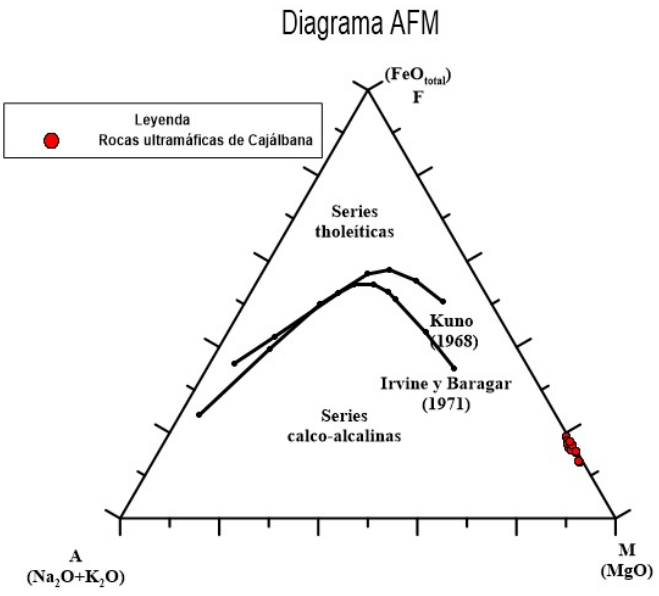


Figura 11. Diagrama AFM, que representa la tendencia de Fenner poco evolucionada de las rocas ultramáficas de Cajálbana.

Los altos contenidos de magnesio indican que la composición del magma está muy relacionada con un magma que no es propiamente basáltico. El análisis modal indica la presencia de una matriz olivínica serpentinizada y los análisis químicos lo confirman con la presencia de forsterita (olivino magnesiano), que es el primer mineral en cristalizar en su serie. Se infiere que pudiera tratarse de un material pirolítico proveniente directamente de un proceso de fusión parcial en el manto.

Los diagramas de Al2O3 vs Mg´ y FeO vs MgO muestran que las rocas siguen claramente la tendencia tholeítica o tendencia de Fenner, donde se observa que con la disminución del magnesio aumenta considerablemente los contenidos de hierro y disminuyen los contenidos de aluminio, este comportamiento se verifica a partir de la propia composición química de los olivinos y ortopiroxenos, además de la presencia de serpentina en las muestras petrográficas, donde se observa como material residual la magnetita (Figura 12).

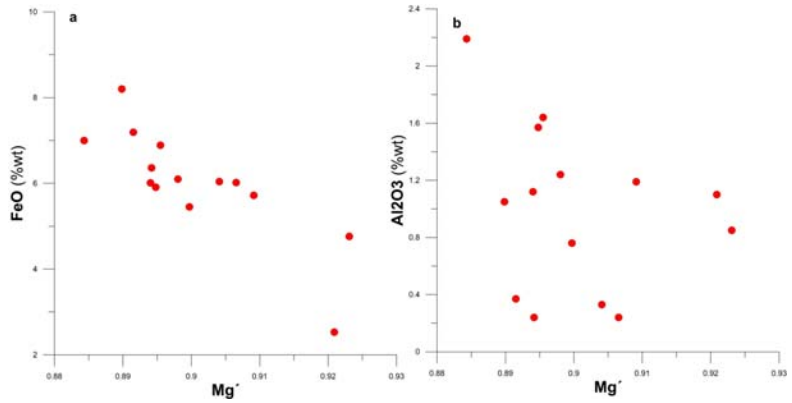


Figura 12. Diagramas de Mg´vs FeO (%wt) y Mg´vs Al2O3 (%wt) donde se observa la relación de dichos elementos contra el Mg.

La composición basáltica se refleja en la ligera tendencia de Fenner que siguen las muestras. Por lo cual, la composición del magma resultante estará determinada por el grado de fusión parcial (líquido) y la presión (profundidad) a la cual el magma se separó de su residuo sólido.

El Diagrama Di-An-Fo muestra que el intervalo de las rocas de Cajálbana cae en el rango de la Forsterita+líquido magmático; esto evidencia la separación de la fase sólida en el magma en forma de Forsterita (Figura 13).

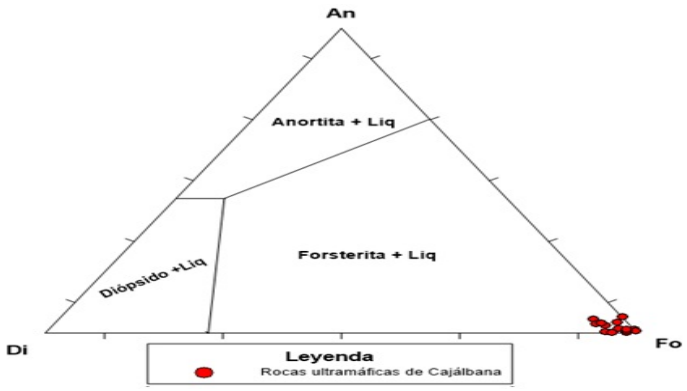


Figura 13. Diagrama de Di-An-Fo que muestra el comportamiento de las rocas ultramáficas del macizo Cajálbana.

El diagrama de Magnesio Molar (Mg`) brinda una medida de la evolución magmática, donde el Mg` aumenta casi linealmente con el ID cuando cristalizan las fases máficas del líquido magmático. Sin embargo, este comportamiento lineal no se observa en las rocas de Cajálbana, lo cual sugiere un pobre fraccionamiento de las fases minerales en el líquido magmático, indicando que la cristalización fraccionada no fue el proceso imperante durante la formación de estas rocas, y poco desarrollo del proceso de evolución magmática (Figura 14).

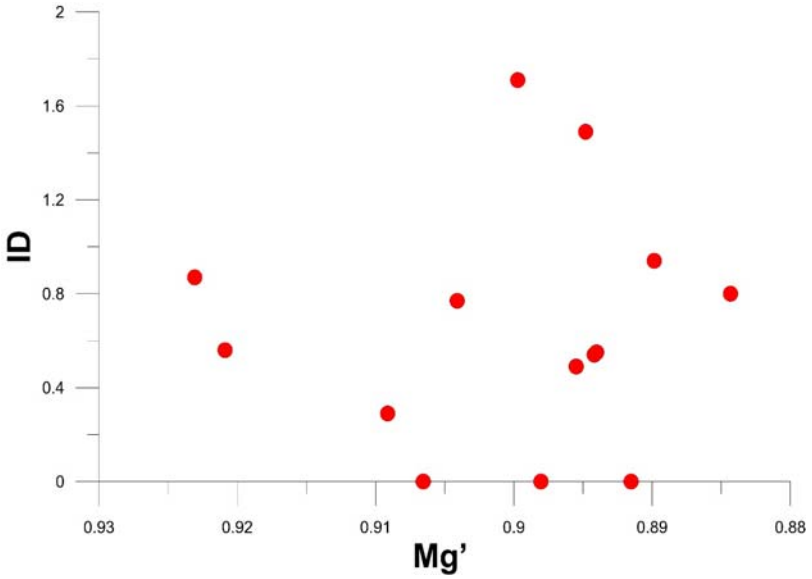


Figura 14. Diagrama de Mg´, para las rocas ultramáficas de Cajálbana.

Por otro lado el hecho de que las rocas muestren una composición muy parecida a la pirolita mantélica que le dio origen se puede asumir según la composición modal y química a partir de un criterio empírico de que el modelo de evolución más idóneo para estás rocas sería el propuesto por Green & Ringwood (1967) (Figura 15), donde se presenta un proceso de fusión parcial a un 25 % en el manto, este hecho se asemeja directamente a la composición real de la roca determinada durante el análisis petrográfico; donde la mayor parte de los constituyentes del macizo son peridotitas de tipo harzburgitas siendo los olivinos y los ortopiroxenos los minerales más abundantes, esto se evidencia en la textura de tipo porfidoclástica de los cristales de ortopiroxenos embebidos en una matriz holocristalina de olivino, en muchas ocasiones serpentinizados.

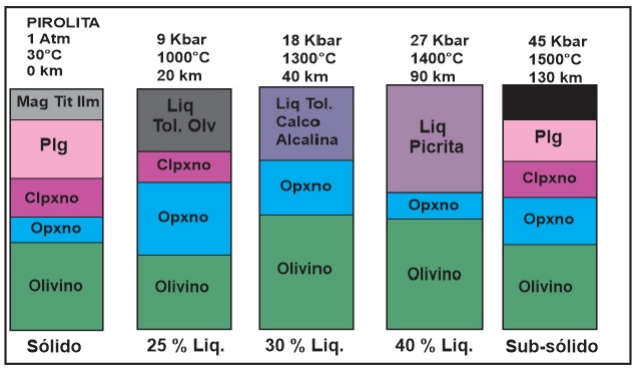


Figura 15. Modelos de evolución magmática propuestos por Green & Ringwood (1967).

Las descripciones petrográficas evidencian que las rocas durante su proceso de formación tuvieron un contenido de clinopiroxenos mayor que el de la composición modal actual, teniendo en cuenta que en las muestras es muy común la presencia de lamelas de exsolución en los ortopiroxenos a partir de clinopiroxenos, lo que corrobora el criterio de que el manto tiene una composición peridotítica de tipo lherzolita, esto está estrechamente relacionado con el hecho de que algunos autores sugieren que el macizo presenta un marcado carácter de lherzolita agotada (Maximov & Mediankov 1979). Los diagramas demuestran que las peridotitas (harzburgitas) y dunitas con sus equivalentes serpentinizados, exhiben una composición primitiva y relativamente uniforme en cuanto al contenido de los óxidos de elementos mayoritarios. Las rocas ultramáficas del macizo Cajálbana debieron evolucionaron a partir de un bajo grado de fusión parcial de una peridotita mantélica lherzolítica, contribuyendo a un residuo mantélico poco agotado.

CONCLUSIONES

1. En el sector sur-oeste del macizo Cajálbana se presenta un corte ultramáfico con predominio de las peridotitas de tipo harzburgita y se puede apreciar otras variedades litológicas como la dunita y la piroxenita.
2. Los minerales principales formadores de estas rocas son el olivino y el ortopiroxeno, este último en ocasiones bastitizado. Comportándose como accesorios los clinopiroxenos y la cromita, y como minerales secundarios la serpentina y la magnetita.
3. La textura más típica es la porfidoclástica a partir de los cristales de ortopiroxenos envueltos en una matriz olivínica alotriomórfica granular, con huellas de deformaciones intracristalinas en los piroxenos como son: límites subgranulares (kink band boundaries), extinción ondulante, y lámelas de exsolución a favor de sus planos de exfoliación
4. Las rocas del macizo Cajálbana cristalizaron a partir de una fuente mantélica de composición lherzolítica empobrecida, lo que se evidencia a partir de las lamelas de exsolución en ortopiroxenos.

BIBLIOGRAFÍA

Boudier, F. y Nicolas,A. 1985. Harzburgite and lherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic enviroments, Earth and Planetary Science Letter,p. v76:84-92.

Cobiella Reguera, J. L. 2000. *Jurassic and Cretaceous Geological History of Cuba.* 42, International Geology Review, p. 594-616.

Fonseca, E. 1998. Geoquímica de la Asociación Ofiolítica de la provincia de Pinar del Río.XVIII, Revista tecnológica, p.3-16.

Henares, S. 2010. Las Cromititas del Complejo Ofiolitico de Camagüey, Cuba: Un Ejemplo de Cromitas ricas en Al. s.l. : Boletin de la Sociedad Geologica Mexicana.

Llanes, A. I., y otros. 2001. Petrología y Mineralización de la Asociación Ofiolítica de Habana-Matanzas (Cuba Occidental). La Habana : IV Congreso de Geología y Minería, 2001, IV Congreso de Geología y Minería, p. 92-101.

Proenza, J. A. y otros. 2003. Evidencias mineralógicas de magmatismo alcalino en los niveles mantélicos de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba Oriental). La Habana : V Congreso de Geología y MInería, 2003.

Tomashov, N.D. 1971. Theory of corrosion and protection of metals. Edición Revolucionaria, Cuba: p. 170

Uhlig HN. 1970. Corrosión y control de la corrosión. España: Ediciones URMO: p. 160