

Variabilidad de los perfiles lateríticos en los yacimientos ferroniquelíferos de Moa

José Nicolás Muñoz-Gómez
Alina Rodríguez-Infante
Iván Barea-Pérez

(Dedicado a la memoria del Dr. C. León Ortelio Vera-Sardiñas)

Resumen

Informes y publicaciones científicas referidas a los yacimientos ferroniquelíferos del nordeste oriental de Cuba reconocen la existencia de una corteza laterítica formada por procesos de meteorización de las rocas ultramáficas serpentinizadas. Sin embargo, investigaciones geológicas del macizo ofiolítico Moa-Baracoa han demostrado la existencia de diferentes secuencias o grupos litológicos, al tiempo que proyectos de exploración más recientes han permitido realizar una mejor caracterización de la corteza de meteorización en varios yacimientos de la zona a partir de resultados petrológicos, mineralógicos y geoquímicos. Este artículo expone, a la luz de esos resultados, la descripción de los distintos tipos de perfiles de corteza de intemperismo que suelen aparecer en esta zona, caracterizando cada perfil a partir de las fases mineralógicas que conforman los horizontes del perfil y los valores de los contenidos de elementos útiles y nocivos que ellos presentan. Quedan establecidos de este modo cuatro tipos de perfiles de corteza laterítica, a saber: 1) Perfil de intemperismo sobre rocas mantélicas; 2) Perfil de intemperismo sobre rocas de la corteza oceánica; 3) Perfil de intemperismo sobre rocas de la zona de transición manto-corteza oceánica y 4) Perfil de intemperismo mixto y complejo.

Palabras clave: corteza de meteorización; lateritas cubanas; perfiles de intemperismo; ofiolitas; yacimientos ferroniquelíferos; macizo Moa-Baracoa.

Lateritic Profile Variability in Existing Ferronickel Ore Bodies of Moa

Abstract

Reports and scientific publications about the ferronickel ore bodies located to the northeast of the western region of Cuba indicate the presence of a lateritic crust developed by weathering processes occurring in ultramaphic serpentized rocks. However, the geological investigations of the ophiolitic massif of Moa-Baracoa have revealed the presence of different sequences or lithological groups while more recent exploration projects have allowed a better characterization of the weathering crust of several ore bodies of the region based on the petrological, mineralogical and geochemical results. In view of these results, this article presents the description of several types of weathering crust profiles that are common in the area to subsequently characterize each profile from the mineralogical phases that make up the profile horizon and the content of deleterious and useful materials. Four types of lateritic crust profiles have been therefore identified; which are as follows: 1) Weathering profile over mantelic rocks; 2) Weathering profile over oceanic rocks; 3) Weathering profile over rocks of the mantle-oceanic crust transition area and 4) Mixed and Complex weathering profile.

Keywords: weathering crust; Cuban laterites; weathering profiles; ophiolite; ferronickel ore bodies; Moa-Baracoa massif.

1. INTRODUCCIÓN

En la documentación existente (informes técnicos y publicaciones científicas) referida a los yacimientos ferroniquelíferos del noreste oriental de Cuba se reconoce la existencia de una corteza laterítica formada por procesos de meteorización de las rocas ultramáficas serpentinizadas. Sin embargo, investigaciones geológicas del macizo ofiolítico Moa-Baracoa han demostrado la existencia de diferentes secuencias o grupos litológicos.

El macizo rocoso Moa-Baracoa se caracteriza por la presencia predominante de la asociación ofiolítica representada esencialmente en los complejos mantélico, expresado en las peridotitas serpentinizadas, por las rocas del complejo oceánico, las rocas de la zona de transición manto - corteza y las rocas del arco volcánico del Cretácico, las que se encuentran en contacto tectónico con las rocas del complejo ofiolítico.

Las diabasas descritas en la región aparecen en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo. Se estima un espesor de aproximadamente 1 000 metros para el complejo ultramáfico y 500 metros para el de gabros, mientras que para el complejo volcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1 200 m. (Proenza 1999).

Las rocas predominantes son las pertenecientes al macizo ofiolítico, representadas por ultramafitas piroxénicas serpentinizadas: dunitas, harzburgitas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas, formando parte de las rocas mantélicas, seguidas por las rocas del basamento de la corteza oceánica, representadas por gabros normales, gabros olivínicos, troctolitas, noritas, gabro-noritas; y rocas típicas de las zonas de transición, tales como: dunitas plagioclásicas, harzburgitas plagioclásicas, trondhjemitas, gabro-pegmatitas y cromititas.

Las relaciones espaciales entre las rocas mantélicas y las rocas del basamento de la corteza oceánica son predominantemente tectónicas, no solo a nivel de todo el macizo ofiolítico, sino a nivel local, como sucede en áreas más restringidas, lo que confirma el emplazamiento alóctono de todas las rocas que integran el macizo ofiolítico Moa - Baracoa (Adamovich y Chejovich 1965).

La variedad petrológica presente en el basamento de los yacimientos ferroniquelíferos, así como las relaciones espaciales entre ellas, determinan que el perfil de corteza sea también variable y no se ajusten al patrón con que han sido interpretados, basado en la formación de una

corteza originada por el intemperismo de las rocas ultramáficas serpentinizadas.

Esclarecer las características geoquímicas del perfil laterítico para cada tipo de roca del complejo, favorece no solo la interpretación genética del yacimiento, sino que a la vez facilita los trabajos de evaluación de sus recursos, ya que las concentraciones de los elementos útiles y nocivos de las menas están relacionadas con las fases mineralógicas principales que conforman cada horizonte.

Los proyectos de exploración más recientes desarrollados en varios yacimientos de la zona ha permitido realizar una mejor caracterización de la corteza a partir de los estudios petrológicos, mineralógicos y geoquímicos, siendo el objetivo principal de este artículo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo de la presente investigación se ha utilizado la información de las campañas de exploración de los yacimientos de la Empresa Moa Nickel S.A. en el período 2010-2014, que incluye los análisis químicos de las muestras tomadas durante la perforación de los pozos ordinarios de exploración, los resultados petroquímicos y descripciones petrográficas de las muestras obtenidas en las perforaciones del basamento de esos yacimientos, así como las determinaciones mineralógicas, entre las cuales se encuentran los datos aportados por los análisis de Difracción de Rayos X.

Los datos aportados por las diferentes campañas fueron procesados en correspondencia con las rocas presentes en el basamento, permitiendo encontrar las regularidades que se describen en este artículo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados de las determinaciones químicas y mineralógicas de las cortezas ferro-niquelíferas realizadas en las campañas de exploración de los yacimientos del nordeste holguinero, (Figueras et al. 2012 y 2014; Urra Abraira et al. 2012 y 2013), han permitido establecer la existencia de cuatro tipo de perfiles lateríticos:

1. Perfil de intemperismo sobre rocas mantélicas
2. Perfil de intemperismo sobre rocas de la corteza oceánica
3. Perfil de intemperismo sobre rocas de la zona de transición manto-corteza oceánica
4. Perfil de intemperismo mixto y complejo

3.1. Perfil de la corteza de intemperismo desarrollada sobre rocas mantélicas

El predominio de las rocas mantélicas representas por dunitas, harzburgitas, lherzolitas y en menor grado, wherlitas y websteritas, total o parcialmente serpentinizadas, constituyen las rocas madres del basamento ofiolítico que originaron un perfil laterítico de menas ferro-niquelíferas y cobaltíferas, siendo el más distribuido en las cortezas de intemperismo de los yacimientos lateríticos del macizo Moa-Baracoa.

Los agentes del intemperismo, en un clima tropical-subtropical y un relieve de montañas bajas de poca pendiente, crearon las condiciones óptimas para la desintegración de los minerales de las rocas ultramáficas, en particular del olivino y piroxenos. En en el perfil completo desde las rocas madres hasta la superficie del terreno se destaca la existencia de: a) minerales primarios de las rocas madres, b) minerales serpentiniticos, los que predominan en el horizonte de saprolitas; mena de níquel, c) la existencia de minerales del grupo de las smectitas, silicatos de níquel, óxidos e hidróxidos de Fe, Mn, Al, mena de níquel y cobalto y d) minerales de óxidos e hidróxidos de hierro con minerales primarios inalterados de las rocas madres, predominando las espinelas cromíferas, magnetita, rutilo, minerales del grupo del platino; constituyen menas de hierro, tal como se representa en la Figura 1 (Rojas-Purón y Beyris-Mazar 1994; Muñoz-Gómez et al. 2005).



Figura 1. Perfil de la corteza de intemperismo desarrollado sobre rocas peridotitas serpentinizadas y serpentinitas.

Geoquímicamente *en* este tipo de perfil suelen aparecer las mayores concentraciones de Ni y Co en los horizontes intermedios de la corteza, en los ocres estructurales finales y los ocres inestructurales sin perdigones, mientras que los contenidos de elementos nocivos suelen ser bajos. Los valores de los elementos determinados en la corteza desarrollada sobre estas rocas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Contenidos de elementos útiles y nocivos en la corteza de intemperismo (% en peso)

Fe	Co	Ni	Al	SiO ₂	Cr	Mg	Mn
55,0–35,0	0,1–0,55	0,8–2,5	3,5–1,5	3,5–1,0	1,5–0,55	2,45–0,45	0,9–0,12

3.2. Perfil de la corteza de intemperismo desarrollada sobre rocas de la corteza oceánica

En la región Moa–Baracoa existen áreas extensas donde afloran las rocas que representan la antigua corteza oceánica, en particular se destaca la existencia de las rocas máficas: gabros normales –bandeados, típicos de la base de la corteza oceánica– gabros olivínicos, en menor grado gabro-noritas y troctolitas. Las relaciones espaciales con las rocas ultramáficas son tectónicas, con predominio de gabros isotrópicos (Gyarmati 1990).

En el perfil de las cortezas de intemperismo desarrolladas sobre las rocas máficas, en particular sobre los gabros, se desarrollaron cuatro horizontes muy similares a los formados por las rocas de la asociación mantélica, pero con un predominio de la formación de minerales del grupo de las arcillas, en particular de las arcillas caoliníticas: dickita, nacrita, halloysita y montmorillonita, incrementando el contenido de aluminio en el perfil laterítico sin llegar a constituir mena del metal, aportando además valores anómalos de sílice. El horizonte superior se caracteriza por concreciones de bauxitas y minerales arcillosos del grupo de la caolinita.

Las cortezas desarrolladas sobre las rocas de la antigua corteza oceánica no aportan valores de interés de níquel y cobalto, pero presentan contenidos de hierro entre 24,5 y 12,0 % y de alúmina entre 12,0 y 18,5 %. En la Figura 2 queda simplificado el esquema de un perfil desarrollado sobre gabros normales y en la tabla 2 se exponen los valores calculados para los principales elementos determinados en la corteza de intemperismo.

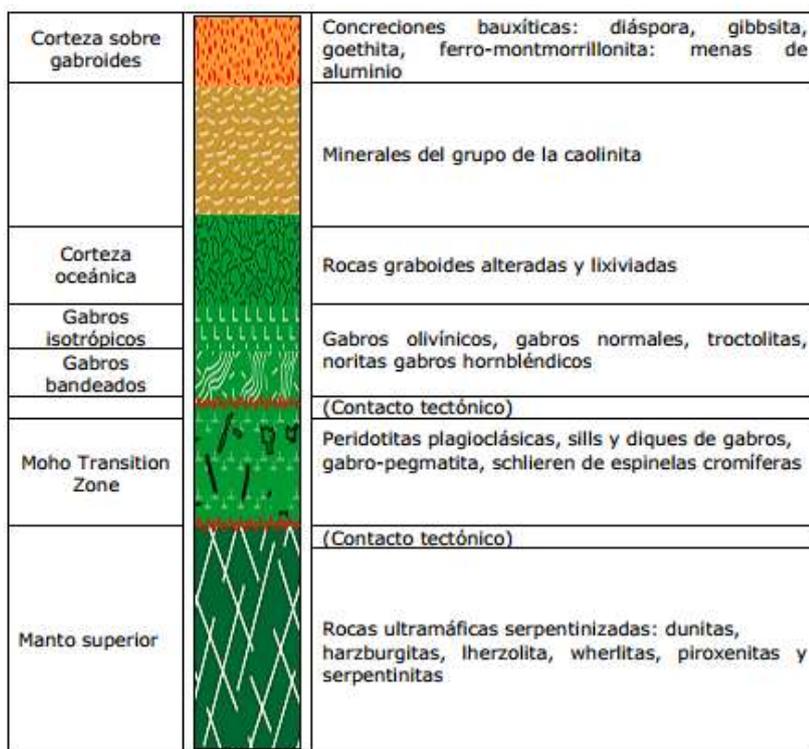


Figura 2. Perfil de la corteza de intemperismo desarrollada sobre rocas de la corteza oceánica.

Tabla 2. Contenidos de elementos útiles y nocivos en la corteza de intemperismo (% en peso)

Fe	Co	Ni	Al	SiO ₂	Cr	Mg	Mn
24,5 - 12,0	0,05 - 0,001	0,025 - 0,015	12,0 - 18,5	8,60 - 22,4	0,185 - 0,02	0,55 - 0,12	0,05 - 0,10

3.3. Perfil de la corteza de intemperismo desarrollada sobre rocas de la zona de transición manto-corteza oceánica

De acuerdo con los criterios de Proenza, Gervilla y Melgarejo (1999) la denominada zona de transición, en los complejos ofiolíticos, representa la transición física del manto a la corteza oceánica (Benn et al. 1988). Esta zona puede ser equivalente a las denominadas Moho petrológico (Greenbaum 1972; Malpas y Stevens 1977) y Moho geofísico (Cann 1970).

Según Benn et al. (1988) la *Moho Transition Zone* -MTZ- se caracteriza por ser una zona compleja que representa una importante continuidad lateral, localizada entre las peridotitas residuales infrayacentes y la sección cortical de gabros, representativos de la parte basal de la corteza inferior. Desde el punto de vista petrológico la zona de transición está compuesta por harzburgitas, como litología principal, dunitas, dunitas

plagioclásicas, cromititas, wherlitas, troctolitas, piroxenitas, sills y diques de gabro-pegmatitas, entre otras (Proenza, Gervilla y Melgarejo 1999).

La zona de transición entre la porción superior del manto terrestre - astenósfera- y el nivel inferior de la corteza oceánica, constituye el contacto físico de las rocas mantélicas, representadas por ultramafitas tectonizadas y las rocas máficas del horizonte inferior de la corteza oceánica, representada por gabros normales, gabros olivínicos, noritas, troctolitas y sills de diabasas.

La existencia de áreas dentro del complejo ofiolítico, de rocas afloradas de la zona de transición entre las rocas mantélicas y las rocas máficas de la antigua corteza oceánica, complican las cortezas de intemperismo desarrolladas sobre ellas, lo que se ha podido comprobar por varios autores tal y como ha sido expresado por Lavaut (2005):

“... Las ofiolitas de la región se ubican principalmente dentro del complejo cumulativo ultramáfico (transicional o de MTZ) y en menor proporción el de las tectonitas (peridotitas metamórficas,) es necesario comentar la dificultad que presenta el yacimiento al predominar el nivel transicional por la complicación que presentan las harzburgitas con las peridotitas impregnadas, los sills y diques de gabro y piroxenitas, intrusivos leucocráticos, que afectan la productividad de las cortezas ferroniquelíferas.” .

El perfil de intemperismo generado sobre litologías de la zona de transición (MTZ), representadas por dunitas, harzburgitas, peridotitas plagioclásicas, sills de gabros, diques de gabro-pegmatitas, trondhjemitas, rodinguitas y sectores mineralizados con espinelas cromíferas, bien en forma de diseminaciones en dunitas o como lentes de pequeña potencia, es altamente complejo, especialmente para el procesamiento industrial, debido a la disminución significativa en los contenidos de los elementos útiles, en particular el níquel y el cobalto, aunque en ocasiones pueden constituir mena de ambos metales, y el aumento de los contenidos de alúmina y sílice entre otros, lo que puede observarse en la tabla 3.

En la Figura 3 queda simplificado el esquema de un perfil laterítico desarrollado sobre los bloques y fragmentos tectónicos de la zona de transición manto - corteza.

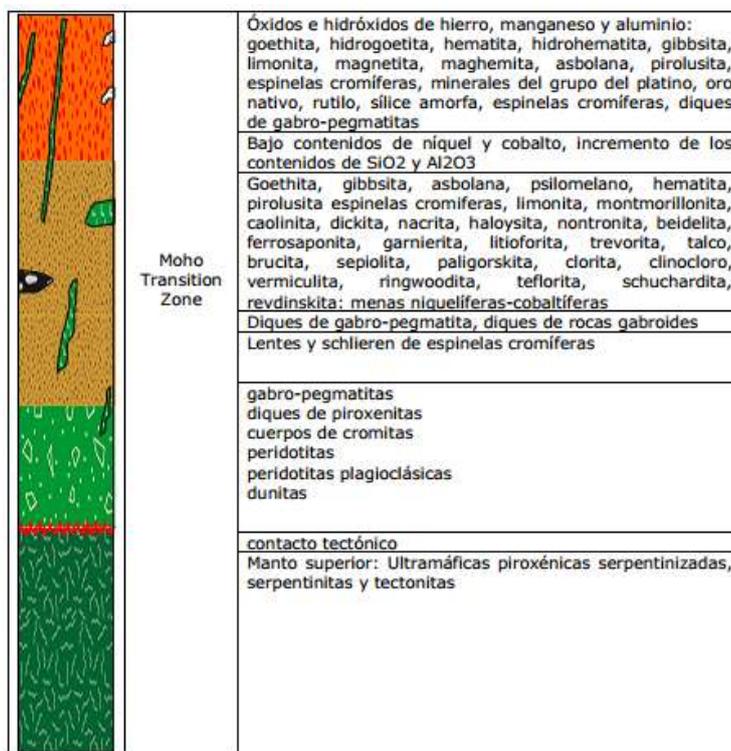


Figura 3. Perfil de la corteza de intemperismo desarrollado sobre rocas de la zona de transición manto – corteza oceánica.

Tabla 3. Contenidos de elementos útiles y nocivos en la corteza de intemperismo (% en peso)

Fe	Co	Ni	Al	SiO ₂	Cr	Mg	Mn
40,0 - 15,5	0,05 - 0,15	1,0 - 0,25	8,55 - 15,60	6,50 - 16,50	1,0 - 3,5	2,45 - 0,25	0,45 - 0,15

3.4. Perfil de intemperismo mixto y complejo

Las cortezas de intemperismo originadas sobre las rocas afloradas del complejo ofiolítico no se desarrollaron de forma continua en el tiempo geológico ni bajo condiciones geodinámicas estables. Desde el punto de vista tectónico, diferentes eventos condicionaron la posición espacial de las rocas e incluso, de las cortezas desarrolladas.

El propio proceso de acreción de las rocas del complejo ofiolítico, determinó la disposición de escamas de diferentes litologías superpuestas, favoreciendo que en ocasiones se encuentren rocas mantélicas sobre rocas de la corteza oceánica, resultando una corteza de intemperismo donde el comportamiento geoquímico resulta totalmente caótico debido a la migración vertical de los elementos químicos. Bajo esas condiciones, altos contenidos de Ni pueden estar asociados a concentraciones anómalas de Al y sílice.

El surgimiento de estas complejas cortezas de intemperismo está asociado también a los movimientos paleocénicos que empujaron la región oriental de Cuba hacia el norte-nordeste, determinando la formación de bloques tectónicos, que además de presentar levantamientos diferenciales, favorecieron el desprendimiento de bloques rocosos en los bordes de los sectores más levantados y su acumulación en los más hundidos, conformando una "melange" rocosa depositada sobre el propio complejo. Un ejemplo de ello se observa en el sector comprendido entre los ríos Cayo Guam y Quesigua, donde a la variabilidad vertical de la corteza se añade una elevada variación horizontal, propia de rocas diferentes, en perfil y superficie.

Finalmente, los movimientos de ascensos y descensos pulsantes de diferente intensidad ocurridos desde el Oligoceno y hasta el Mioceno en el territorio del nordeste de Cuba oriental, evidenciados por estudios geodinámicos en la región (Rodríguez-Infante 2002), determinaron periodos de emersión y subsidencia alternativos, dando lugar a la formación de cortezas y su redeposición

Los criterios que permiten afirmar la existencia de esas cortezas redepositadas, tanto en ambiente marino como continental, son:

5. Presencia de fósiles en los horizontes superiores e intermedios del perfil laterítico
6. Presencia de estratificación o pseudo-estratificación y estratificación cruzada en diferentes horizontes
7. Repetición de horizontes en el perfil laterítico
8. Omisión de horizontes en el perfil laterítico
9. Presencia de perdigones en los niveles inferiores, en ocasiones como bolsones de acumulación o como lentes discordantes sobre las serpentinitas o saprolitas
10. Presencia de formas de relieve cárstico enterradas bajo la corteza meteórica.

A partir del ascenso miocénico de la región, se inició la meteorización que dio lugar a la formación de las cortezas ferro-niquelíferas que cubren casi toda la superficie del macizo ofiolítico; lo anteriormente expuesto quedó refrendado por las investigaciones regionales realizadas por Aleojin y Fesenko (1977 Tomo I, páginas 41 y 42), cuando expresaron:

"... en el yacimiento de Punta Gorda y en los yacimientos colindantes del grupo de las Camariocas la corteza de

intemperismo está cubierta, generalmente, por los sedimentos caracterizados faunísticamente como Mioceno – Cuaternario...”

y más adelante expresan:

“...en la época del Mioceno, la región del yacimiento, como resultado de la transgresión marina, estaba bajo las aguas, en un territorio considerable, por lo menos hasta el sector Camarioca Sur con las cotas absolutas del relieve contemporáneo + 700, + 900 metros ...”

Para este tipo de perfil es muy difícil establecer valores de composición media de la corteza en cuanto a elementos útiles y nocivos, ya que se mezclan de forma caótica materiales originados a partir de diferentes tipos de rocas.

En la figura 4 se muestra un ejemplo esquemático de estos tipos de perfiles, en este caso con elementos evidentes de redeposición.

	Concreciones ferruginosas redepositadas: menas de hierro
	Bloques de litologías ultramáficas y máficas del basamento flotantes en la corteza
	Repetición del horizonte saprolítico.
	Lentes de concreciones ferruginosas de óxidos e hidróxidos de hierro: menas de níquel y cobalto Lentes y acumulaciones de caolinita y otros minerales arcillosos. Existencia de fósiles marinos en el perfil laterítico.
	Acumulaciones de óxidos e hidróxidos de hierro OICC Ausencia del horizonte saprolítico
Basamento ofiolítico: Complejo cumulativo oceánico, Zona de transición manto corteza (MTZ), Complejo mantélico	

Figura 4. Perfil de la corteza de intemperismo mixto y complejo sobre rocas del complejo ofiolítico.

El conocimiento de estos perfiles de intemperismo en los trabajos de exploración y explotación de las menas lateríticas de Fe, Ni y Co, contribuirán a una mayor precisión en la evaluación de los recursos minerales de los yacimientos del nordeste de Cuba oriental.

Los perfiles descritos y fundamentados permiten establecer para futuras exploraciones geológica en los yacimientos lateríticos de la región, las asociaciones mineralógicas presentes en los perfiles de intemperismo y con ello, las fases minerales que deben encontrarse en la corteza, indicando las potencialidades meníferas e incluso, en la solución de posibles complejidades durante el proceso extractivo.

4. CONCLUSIONES

1. Los datos geoquímicos, mineralógicos y petrográficos desarrollados en las campañas de exploración que se están desarrollando por la Empresa Mixta Moa Nickel S.A. han permitido diferenciar diferentes características de los horizontes de la corteza ferroniquelífera.
2. En dependencia de la composición petrológica del basamento, que condiciona las fases mineralógicas predominantes y composición de los elementos útiles y nocivos, quedan establecidos 4 tipos de perfiles de corteza laterítica:
 - Perfil de intemperismo sobre rocas mantélicas
 - Perfil de intemperismo sobre rocas de la corteza oceánica
 - Perfil de intemperismo sobre rocas de la zona de transición manto – corteza oceánica
 - Perfil de intemperismo mixto y complejo

5. REFERENCIAS

- ADAMOVICH, A. & CHEJOVICH, V. 1965: Sobre el relieve pre Maestrichtiano del norte de oriente y sus relaciones con la geomorfología contemporánea. *Revista Tecnológica* 3(2): 29-34.
- ALEOJIN, V. & FESENKO, G. 1977: Sobre los resultados de los trabajos de exploración geológica detallada y orientativa realizada en el yacimiento Punta Gorda en los años 1973-1977. Tomo I. Fondo geológico nacional. ONRM. La Habana, p. 41-42.
- BENN, K.; NICOLAS, A. & REUBER, I. 1988: Mantel – crust transition zone and origin of wehrlitic magmas: evidence from the Oman ophiolite. *Tectophysics* 151(1): 75-85.
- CANN, R. 1970: New model for the structure of oceanic crust. *Nature* 226: 928-930.
- FIGUERAS, M.; URRRA, J.; RODRÍGUEZ, A. & MUÑOZ-GÓMEZ, J. N. 2012: Informe de los trabajos de exploración detallada para la elevación de categoría de los recursos del yacimiento Camarioca Sur.
- FIGUERAS, M.; URRRA, J.; RODRÍGUEZ, A. & MUÑOZ-GÓMEZ, J. N. 2014: Informe de los trabajos de exploración detallada para la elevación de categoría de los recursos del yacimiento La Delta.

- GREENBAUM, D. 1972: The internal structure of the Troodos ultramafic complex, Cyprus. Ph. D. Thesis. University of Leeds. 142 p.
- GYARMATI, P. 1990: Informe sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsquedas acompañantes en el polígono V, CAME-Guantánamo. E.G.S. 1988-1990. Fondo geológico nacional. ONRM. La Habana.
- LAVAUT, W. 2005: Reporte de la exploración geológica final de la concesión minera de Camartioca Norte –Fase II. Fondo geológico nacional. ONRM. La Habana.
- MALPAS, J. & STEVENS, R. K. 1977: The origin of the ophiolite suite with examples from western Newfoundland. *Geotectonics* 11: 453-466.
- MUÑOZ-GÓMEZ, J. N.; OROZCO-MELGAR, G.; ROJAS-PURÓN, A. & CRUZ-OROSA, I. 2005: Mineralogía de las menas lateríticas de Ni-Co del yacimiento Punta Gorda: Implicaciones técnico-organizativas durante la explotación. En: VI Congreso de la Sociedad Cubana de Geología. Memorias. Ciudad de La Habana, Cuba, 5-8 abril.
- PROENZA, J.; GERVILLA, F. & MELGAREJO, J. C. 1999: La Moho transición 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.
- RODRÍGUEZ-INFANTE, A. 2002: Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de origen tectónico. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- ROJAS-PURÓN, A. L. & BEYRIS-MAZAR, P. 1994: Influencia en la composición mineralógica del material limonítico de frentes de explotación de la industria Pedro Sotto Alba. Moa. *Minería & Geología* 11(1): 13-17.
- URRA-ABRAIRA, J. L.; MUÑOZ-GÓMEZ, J. N. & FIGUERAS, M. 2012: Reporte de la evaluación y verificación de los recursos en el yacimiento Yagrumaje Oeste. Programa mínimo.
- URRA-ABRAIRA, J. L., MUÑOZ-GÓMEZ, J. N. & FIGUERAS, M. 2013: Reporte de la evaluación y verificación de los recursos en los yacimientos Playa La Vaca y Zona Septentrional. Programa Mínimo.

José Nicolás Muñoz-Gómez jmunoz@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Titular.
Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba

Alina Rodríguez-Infante rinfante@ismm.edu.cu

Doctora en Ciencias Técnicas. Profesora Auxiliar.
Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba

Iván Barea-Pérez. ibperez@ismm.edu.cu

Ingeniero Geólogo. Asistente. Departamento de Geología.
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba