

MINERALOGÍA Y ORDEN CRONOLOGICO DE FORMACION DE LOS MINERALES DE LAS MENAS LATERITICAS: IMPLICACIONES EN LA EXPLORACION DE EXPLOTACION.

MINERALOGY AND CHRONOLOGICAL ORDER OF FORMATION OF THE MINERALS OF THE LATERITES ORES: IMPLICATIONS IN THE EXPLORATION OF EXPLOITATION.

Dr. C José Nicolás Muñoz Gómez⁽¹⁾, Dr. C. Gerardo Antonio Orozco Melgar⁽¹⁾

(1) Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN

Investigaciones recientes sobre la composición mineralógica de las menas lateríticas de los yacimientos del nordeste de Cuba, en particular, las menas de Fe-Ni y Co del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín; han permitido establecer los minerales principales y sus paragénesis que han resultado de los procesos de lateritización de minerales primarios de las rocas del complejo ofiolítico de la región de Moa-Baracoa.

La composición mineralógica de las cortezas de intemperismo se han sintetizado en el modelo teórico del orden cronológico de formación de las menas ha sido estructurado partiendo de tres eventos geotectónicos y geoquímicos que permitieron el emplazamiento de las litologías del macizo ofiolítico: mineralogía de la fase magmática primaria, mineralogía de la fase de acreción - serpentinización y mineralogía de la fase de lateritización de los minerales de las fases pretéritas.

Partiendo de estudios avanzados en la mineralogía y geoquímica de las menas lateríticas en el yacimiento Punta Gorda, mediante la difracción de rayos X, (Difractómetro Panalytical X'Pert PRO MPD, en geometría Bragg-Brentano - Radiación: $K\alpha_1+K\alpha_2$ del Cu, filtro de Ni, microsonda electrónica de barrido (microsonda electrónica SX-50) y microscopía de luz reflejada, ha permitido la identificación de las principales fases minerales de las menas lateríticas y la elaboración del modelo teórico del orden cronológico de formación de los minerales de los yacimientos lateríticos en sus tres fases principales, las que se corresponden con los principales eventos geotectónicos que han afectado al complejo ofiolítico en la región de Moa-Baracoa.

El establecimiento de la composición química de las menas lateríticas y el orden cronológico de formación de las menas de hierro, níquel y cobalto en las cortezas de intemperismo ferro-niquelíferas del yacimiento Punta Gorda, tiene implicaciones técnicas durante las tareas de exploración de explotación, dirigidas a incrementar la eficiencia del proceso de extracción de las menas, entre otras. El resultado del establecimiento del modelo del orden cronológico de formación de las paragénesis minerales de las menas lateríticas, constituye un aporte científico al conocimiento de la

geoquímica y mineralogía de las menas de Fe, Ni y Co, al ser elaborado por primera vez para los yacimientos lateríticos cubanos.

Palabras claves: olivino, piroxeno, níquel, rayos X, goethita, fases magmática, serpentinización, lateritización.

Abstract

Investigations recent envelope the mineralogical composition of the laterites ores of the locations of the northeast of Cuba, in particular, the Fe – Ni - and Co ores from Punta Gorda ore deposit, Moa, Holguín; they have allowed the main minerals and their paragenesis that have been of the processes of lateralization of primary minerals of the rocks of the ophiolitic complex of the region of Moa-Baracoa.

The mineralogical composition of the barks of elements has been synthesized in the theoretical pattern of the chronological order of formation of the ores it has been structured leaving of three events geotectonic and geochemistry that allowed the location of the lithology of the ophiolitic complex: mineralogy of the primary magmatic phase, mineralogy of the accretion phase - serpentinization and mineralogy of the phase of lateralization of the minerals of the past phases.

Leaving of studies advanced in the mineralogy and geochemistry of the laterites ores from Punta Gorda ore deposit, by means of the diffraction of rays X, (Diffractometer Panalytical X'Pert PRO MPD, in geometry Bragg-Brentano - Radiation: $K\alpha_1+K\alpha_2$ of the Cu, filter of Ni, scanning electron microscope – SEM - (electron microscope Cameca SX-50) and microscopy of reflected light, it has allowed the identification of the main mineral phases of the laterites ores and the elaboration of the theoretical pattern of the chronological order of formation of the minerals of the laterites ore deposits, in their three main phases, those that belong together with the main geotectonic events that have affected to the ophiolites complex in the region of Moa-Baracoa.

The establishment of the chemical composition of the laterites ores and the chronological order of formation of the ores of iron, nickel and cobalt in the barks of elements ferro-nickeliferous of the Punta Gorda ore deposit, have technical implications during the tasks of exploration of exploitation, directed to increase the efficiency of the process of extraction of the ores, among others. The result of the establishment of the pattern of the chronological order of formation of the mineral paragénesis of the laterites ores constitutes a scientific contribution to the knowledge of the geochemistry and mineralogy of the Fe, Ni and Co, when being elaborated for the first time for the Cuban laterites ores deposits.

Key words: olivine, pyroxenes, nickel, rays X, goethite, magmatic phases, serpentinization, lateritization.

INTRODUCCION

Las investigaciones mineralógicas en las menas lateríticas se ha ido incrementando en los últimos años del siglo pasado y en los primeros años del actual, dirigidos, fundamentalmente en esclarecer e identificar los principales mineral portadores de los componentes útiles: hierro, níquel y cobalto. (Rojas Purón, L.A. et.al., 1994); (Almaguer, A, 1995); (Capote, N. et. al. 1997); (Brand, N. W. 1998); (Muñoz Gómez, J. N. 2004); (Galí, S. et. al, 2006).

Los resultados de las investigaciones actuales en el campo de la mineralogía se han fundamentado en los análisis de difracción de rayos X y en las novedosas técnicas de microscopía electrónica de barrido - SEM - siglas en inglés – permitiendo elevar la confiabilidad de los resultados obtenidos: difracción de rayos X, (Difractómetro Panalytical X'Pert PRO MPD, en geometría Bragg-Brentano - Radiación: $K\alpha_1+K\alpha_2$ del Cu, filtro de Ni), microsonda electrónica de barrido (microsonda electrónica Cameca SX-50) y microscopía de luz reflejada. (Jenapol-U, Karl Zeiss).

Desde el punto de vista genético los yacimientos de cortezas ferro-niquelíferas existentes en el nordeste de Cuba oriental son de origen hipergénico, a partir del desarrollo y transformación de las litologías ultramáficas piroxénicas serpentinizadas en cortezas de intemperismo de Fe, Ni y Co, así como las litologías del complejo oceánico y las litologías que integran la zona de transición manto – corteza. (Formell, F., 1979); (Elias, M, 2004)

La composición mineralógica de las menas lateríticas es sumamente compleja, ya que en el alto número de elementos químicos que se liberan de la desintegración de los minerales que forman las ultramafitas piroxénicas serpentinizadas, partiendo de la composición química de la molécula del olivino y ortopiroxenos, principales portadores de níquel y cobalto, a las cortezas de intemperismo lateríticas.

Se incluyen en los minerales accesorios de las litologías mantélicas y las litologías de la porción basal del complejo oceánico, los que por su alta estabilidad física y química se mantienen estables durante los procesos de serpentización y lateritización, tal como se representa en la Fig.2.

La mineralogía de la menas lateríticas responde a la migración geoquímica de los elementos de la familia del hierro y a las condiciones termodinámicas existentes durante el proceso de lateritización; en consecuencia, se ha podido establecer el modelo teórico del orden cronológico de formación de los minerales existentes y sus paragénesis en los diferentes horizontes que integran los yacimientos lateríticos del nordeste de Cuba Oriental, lo que constituye el objetivo fundamental del presente trabajo.

El modelo teórico del orden cronológico de formación de los minerales lateríticos, están fundamentados en el desarrollo primario, inicial del complejo ofiolítico desde su fase magmática hasta los proceso de acreción y serpentización de las litologías mantélicas y de la corteza oceánica.

Se establecen las fases de formación de los minerales: a) Minerales de la fase magmática inicial, b) Minerales de la fase de acreción – serpentización, c) Minerales de la fase de lateritización. Además se incluyen las paragénesis más frecuentes y los horizontes del perfil laterítico en que predominan la existencia del mineral o grupo de minerales, lo que queda expuesto gráficamente en la Fig. 1.

El modelo integra de una forma general la complejidad mineralógica de las menas lateríticas desde el horizonte superior rico en óxidos e hidróxidos de Fe, Mn, Co, Ti, Cr, Al, entre otros; hasta los minerales que conforman las rocas ultramafitas piroxénicas serpentizadas.

MATERIALES, METODOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concesión del modelo, incluye los minerales principales, sus paragénesis y la migración geoquímicas de los elementos químicos, de forma tal que permita un análisis desde cualquier horizonte del perfil laterítico y en particular de los horizontes que se explotan para la obtención del níquel y el cobalto, de ahí su importancia e implicaciones durante la exploración y explotación de las menas lateríticas tal como se encuentra representado en Fig. No.1; en la que se han empleado la clasificación litológica de W. Lavaut, 2001.

Minerales de la fase magmática inicial

Se localizan los minerales principales existentes en las litologías ultramafitas piroxénicas serpentizadas: dunita, harzburgitas, wherlita, lherzolitas, en menor grado websteritas, todas serpentizadas; litologías del complejo oceánico, compuesto por gabros estratificados e isotrópicos, litologías que integran la zona de transición manto superior y la base de la corteza oceánica, representada en lo esencial por dunitas y harzburgitas plagioclásicas, sills y diques de gabro, troctolitas y noritas; diques de gabro pegmatitas, diques de trondjemitas y lentes y cuerpos de la mineralización cromífera. (Streckeisen, A. 1975); (Coleman, R.G. 1977); (Lewis J.F. and Draper G., 1990); (Iturralde-Vinent, M. 1994); (Cobiella, J.L. 2005); (Proenza, J., et. al. 1999b).

Los minerales identificados de la fase magmática son;

- ❖ Olivino
- ❖ Liebenbergita
- ❖ Espinelas cromíferas
- ❖ Cocomita
- ❖ Nicromita
- ❖ Ortoclasa
- ❖ Plagioclasas
- ❖ Enstatita – ferrosilita
- ❖ Diópsido – hedenbergita
- ❖ Cuarzo – calcedonia – ópalo
- ❖ Rutilo
- ❖ Magnetita
- ❖ (Fe – Mg) - anfíboles
- ❖ Minerales del grupo del Pt –EGP - Au

- ❖ Pirita
- ❖ Pirrotina
- ❖ Calcopirita
- ❖ Pentlandita

El grupo de minerales formados durante los procesos de diferenciación magmática, que en sentido general, se corresponden con las condiciones termodinámicas existentes en el manto superior y en la base de la corteza oceánica; formándose los minerales más refractarios entre ellos el olivino, piroxenos, rutilo, minerales del grupo del platino y las espinelas cromíferas; algunos de ellos como sucede con los óxidos complejos de cromititas, rutilo, espinelas y metales del grupo del platino y bajos contenidos de oro nativo y otros minerales auríferos; no son afectados en estructura y composición química, por los procesos de acreción – serpentización – lateritización - manteniendo su existencia como minerales accesorios en los diferentes horizontes de las cortezas de intemperismo ferro-niquelíferas. (Muñoz Gómez, J. N. et. al. 2004), tal como queda demostrado en las microfotografías. (Fig. 2 y Fig. 3).

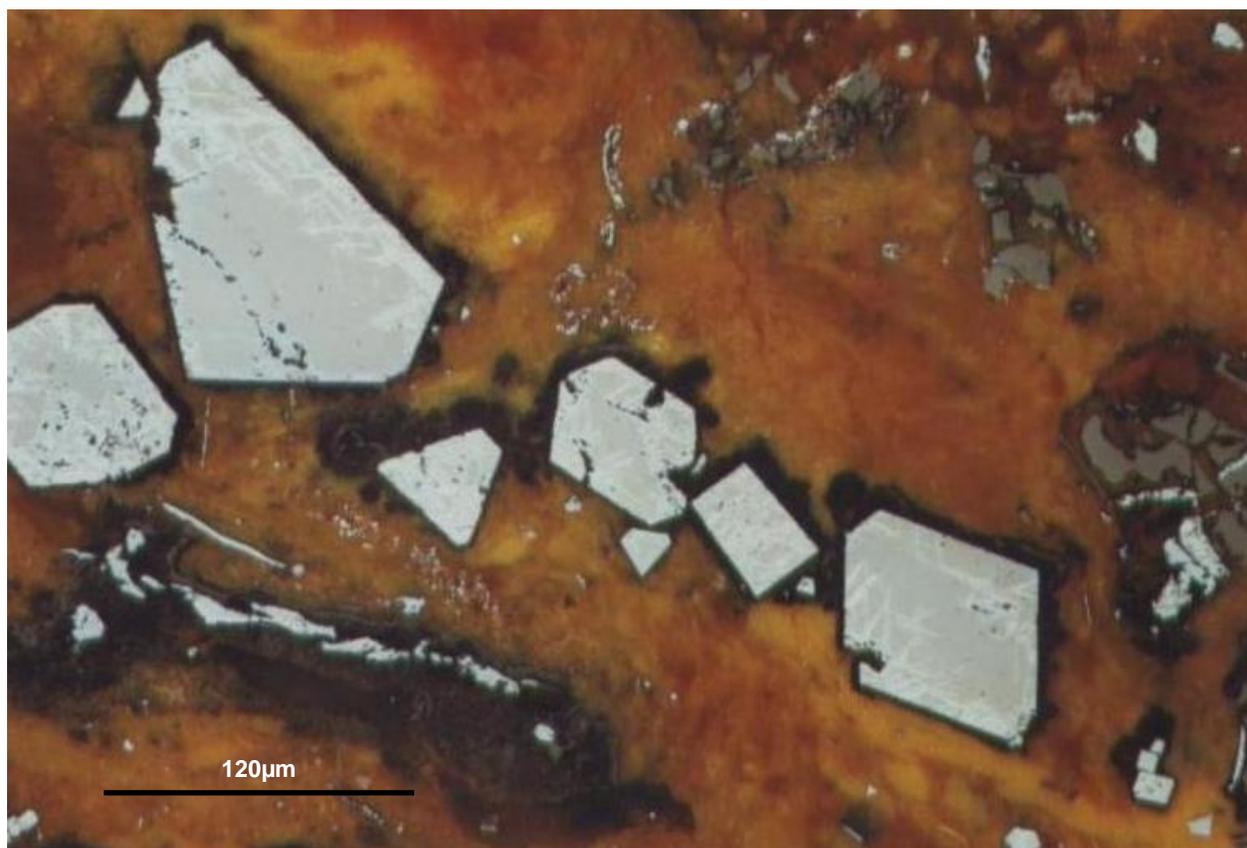


Fig. 2 Magnetita idiomórfica, alterada a maghemita – gris más claro en los cristales de magnetita – rodeada de óxidos e hidróxidos de Fe, en el horizonte: OEF, Perfil L-48, yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. (Microsonda electrónica: Cameca - SX-50, 20,0 kw, en aire, haz de electrones: 39,80 na).

Los principales minerales primarios portadores de níquel, cobalto y hierro a las cortezas de intemperismo son el olivino, liebengergita y piroxenos rómbicos, entre otros, los que

tienen una baja participación, pero que contribuyen a la formación de otros minerales durante los eventos geotectónicos posteriores.

Es de señalarse que los minerales del grupo del platino, rutilo al igual que los sulfuros de Fe y Cu formados en durante la fase magmática inicial se localizan fundamentalmente en el olivino, piroxenos y en las ultramafitas piroxénicas serpentinizadas, en menor grado en piroxenitas, como minerales accesorios y que al igual que otros minerales antes señalados se mantienen inalterados en las cortezas de intemperismo dada su alta estabilidad química, tal como se representa en la Fig. 3.

Las paragénesis minerales, más frecuentes en las fases iniciales magmáticas, representados en el modelo, se corresponden con los principales grupos litológicos que conforman el complejo ofiolítico, desde las ultramafitas piroxénicas serpentinizadas, las litologías de la corteza oceánica y las litologías de la zona de transición. (Iturralde-Vinent, M. 1994); (Cobiella, J. L. 2005).

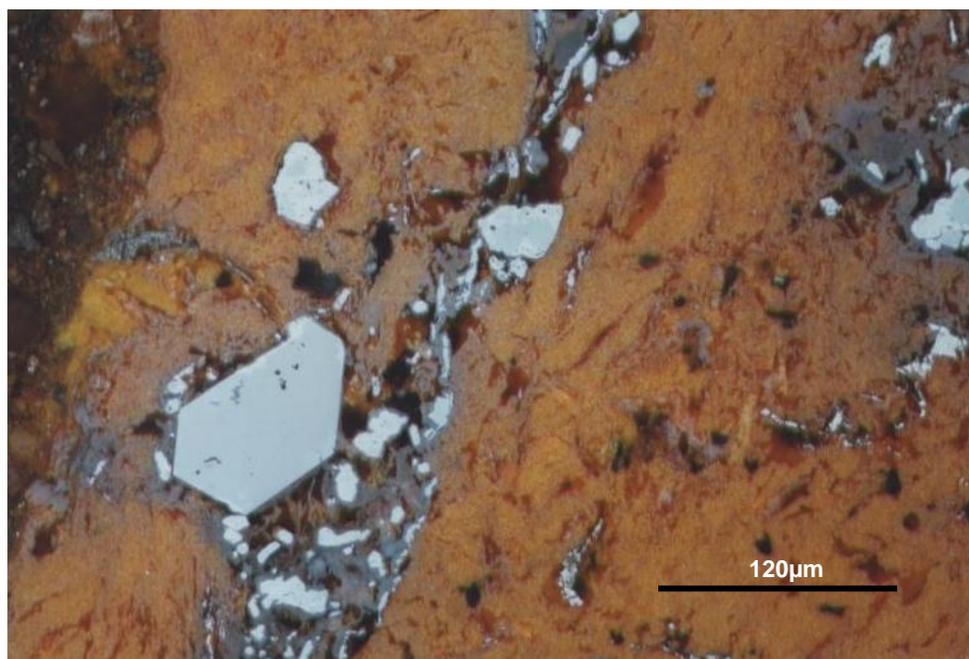


Fig. No.3 Cristal idiomórfico de espinelas cromíferas, centro izquierda, rodeados de agregados de magnetita, gris claro, ambos cementados por goethita – limonita; los agregados rojizos se corresponden con hematita. Horizonte: OEF, Perfil L-42, yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. (Microsonda electrónica: Cameca SX-50, 20,0 kw, en aire, haz de electrones: 39,80 na).

Minerales de la fase de acreción - serpentización

El complejo proceso del emplazamiento tectónico de las rocas mantélicas desde la parte superior del manto terrestre hasta la superficie actual de la faja ofiolítica aflorada en el nordeste de Cuba oriental, constituye uno de los eventos geotectónicos de mayor trascendencia en la geología cubana, extendiéndose desde un extremo a otro a lo largo de toda la isla. (Cobiella, 2005).

El dilatado proceso de emplazamiento en el tiempo geológico y la interacción con el agua del mar, inició el proceso de serpentización, en particular de las rocas ultramáficas, lo que originó un cambio substancial de los minerales primarios de las litologías mantélicas, con la amplia formación de minerales del grupo de la serpentina, una buena parte de ellos portadores de níquel y en menor grado de cobalto. (Oliveira et, al. 2001); (Proenza, J.A. Melgarejo, J. C. Gervilla, F. 2003).

En el caso particular y en correspondencia del modelo – Fig. No. 1 – se tienen como minerales característicos los siguientes;

- ❖ Kerolita
- ❖ Bastita
- ❖ Crisotilo
- ❖ Clinocrisotilo
- ❖ Ortoclinocrisotilo
- ❖ Paracrisotilo
- ❖ Maufita
- ❖ Antigorita
- ❖ Karspinskita
- ❖ Carlosturanita
- ❖ Lizardita
- ❖ Nepouita
- ❖ Gimnita
- ❖ Palisgorskita
- ❖ Willemseita
- ❖ Bridleyita
- ❖ Nimita
- ❖ Pimelita
- ❖ Cronstedtita

La existencia de los minerales del grupo de la serpentina se concentran en lo fundamental en los horizontes: RMA – RML – OEI – así como en los bloques flotantes de ultramafitas piroxénicas serpentizadas, presentes en otros horizontes del perfil laterítico; en los que el proceso de lateritización de los minerales primarios no han sido completamente transformados y constituyen un elevado por ciento en la composición mineralógica de las menas saprolíticas, con altos contenidos de Ni.

Por su distribución espacial, la existencia de los minerales del grupo de la serpentina en los diferentes perfiles de la corteza de intemperismo, se concentran en las zonas de desintegración y lixiviación de los componentes útiles a partir de los minerales primarios, en particular en el horizonte de saprofitas.

Los principales portadores de Ni y Co del grupo de los minerales serpentiniticos, y que forman la paragénesis en el horizonte de saprofitas son: kerolita, bastita, maufita, antigorita, karspinskita, brindleyita, lizardita, nepouita, gimnita, willemseita, bridleyita, nimita y pimelita.

Minerales de la fase de lateritización

Las menas lateríticas residuales se formaron durante el proceso de lateritización de las ultramafitas serpentinizadas, como consecuencia de la combinación de factores climáticos, litológicos, estructurales, hidrogeológicos, geomorfológicos; los que originaron potentes cortezas de intemperismo, de perfil laterítico, en las que se pueden establecer cuatro horizontes o capas, las que difieren entre sí desde el punto de vista químico y mineralógico, entre otros parámetros. (Golightly, J. P. 1981); (Dalvi A.D., Bacon, W.G., Osborne R.C., 2004).

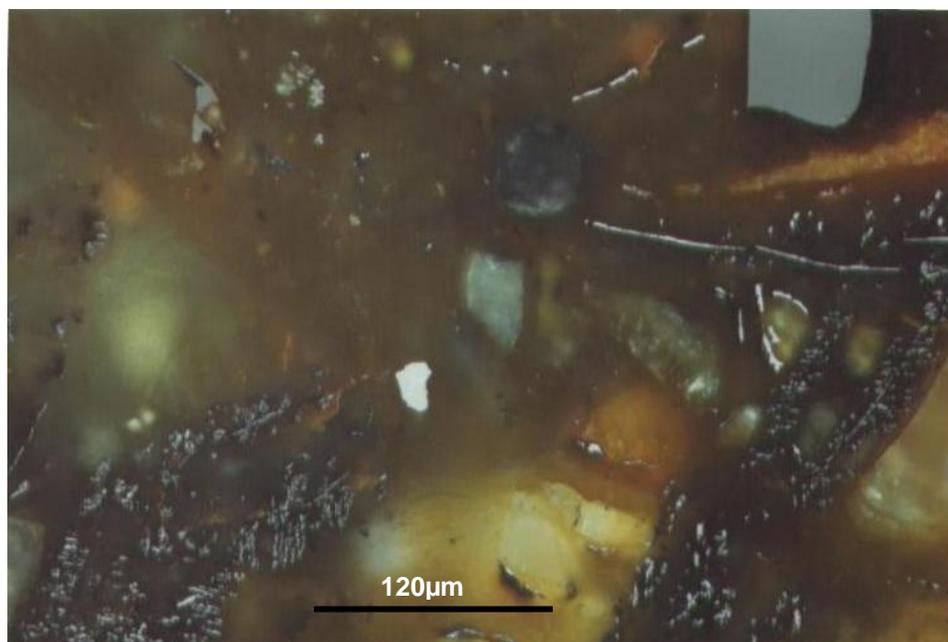


Fig. No. 4 Cristal de espinela cromífera, parte superior derecha, al centro, psilomelano, gris claro, rodeados de una masa de karspinskiita – gris verdoso - Horizonte: OEF, Perfil L-48, yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. (Microsonda electrónica Cameca – 50, 20,0 kw, en aire, haz de electrones: 39,80 na).

En varias áreas de los yacimientos lateríticos del nordeste de Cuba oriental, existe intercalaciones de rocas básicas en particular, gabros, gabros olivínicos y otras litologías del complejo oceánico, así como las litologías de la zona de transición manto – corteza; todas en mayor o menor grado fueron sometidos a los procesos de serpentización y lateritización. (Ariosa, I. D. J. 2002). Los procesos de transformación de los minerales primarios de las litologías afloradas del complejo ofiolítico se desarrollan mediante las reacciones de oxidación, hidratación, hidrólisis y diálisis. (Muñoz Gómez, J. N. et. al. 2004).

La *oxidación* es la mas frecuente de las transformaciones que tienen lugar durante el proceso de lateritización de las ultramafitas serpentinizadas, la oxidación está condicionada por la acción del oxígeno de la atmósfera sobre los elementos químicos que se liberan durante le proceso de transformación de los minerales primarios en particular del hierro, aluminio y manganeso entre otros. (Muñoz Gómez, J. N. et. al. 2004).

El resultado de las reacciones de oxidación es la formación de óxidos e hidróxidos en la corteza de meteorización, formándose en unos casos compuestos solubles que migran de la corteza, en cambio otros elementos forman minerales estables los que vienen a constituir la composición fundamental de las cortezas ferro-niquelíferas cubanas y en otras regiones del planeta. (Muñoz Gómez, J. N. et. al. 2004).

La hidratación está relacionada con las transformaciones de los minerales primarios, desde el mismo inicio del proceso de laterización de las ultramafitas serpentinizadas, la hidratación se pone de manifiesto en los procesos de adsorción de moléculas de agua en la superficie de los minerales en formación en la corteza de intemperismo, y por otra parte, se produce la incorporación de moléculas de agua a la red de los nuevos minerales que se van formando, ejemplo de lo anterior lo constituyen la existencia de hidróxidos de hierro en las menas lateríticas. (Muñoz Gómez, J. N. et. al. 2004).

La hidrólisis incluye las reacciones que se desarrollan entre los minerales primarios de las rocas ultrabásicas serpentinizadas con el H^+ del agua dissociada; la intensidad del proceso de hidrólisis está condicionada por el valor del Ph del medio acuoso y la existencia de otros ácidos como el carbónico y el incremento de la temperatura del sistema. Durante la hidrólisis, la celda elemental de los silicatos de los minerales primarios son desintegrados y en su lugar surgen minerales arcillosos del grupo de las esmectitas niquelíferas. (Muñoz Gómez, J. N. 2007).

La diálisis incluye las reacciones que conllevan la limpieza de los minerales arcillosos al favorecer la migración de los cationes metálicos presentes en la estructura cristalina de éstos minerales. Las reacciones de oxidación, hidratación, hidrólisis y diálisis se desarrollan casi simultáneamente en el proceso de *laterización* de las ultramafitas serpentinizadas. (Galí, S. et. al, 2006), (Muñoz Gómez, J. N. 2007).

Como resultado de los complejos procesos de transformación han surgido las menas lateríticas, con un alto de minerales, que están agrupados en

- ❖ Minerales estables en la corteza e intemperismo: minerales del grupo del platino, rutilo espinelas, cromíferas, magnetita, oro nativo
- ❖ Óxidos e hidróxidos de Fe, Al, Co, Mg, Mn, entre otros
- ❖ Minerales del grupo de las smectitas, con la existencia de varios minerales portadores de Ni y Co
- ❖ Minerales del grupo de la serpentina, en la mayoría portadores de Ni y Co
- ❖ Otros minerales, principalmente silicatos, sílice en diferentes formas de existencia, tal como se recoge en el modelo del orden cronológico de formación de los minerales lateríticos – Fig. No. 1.

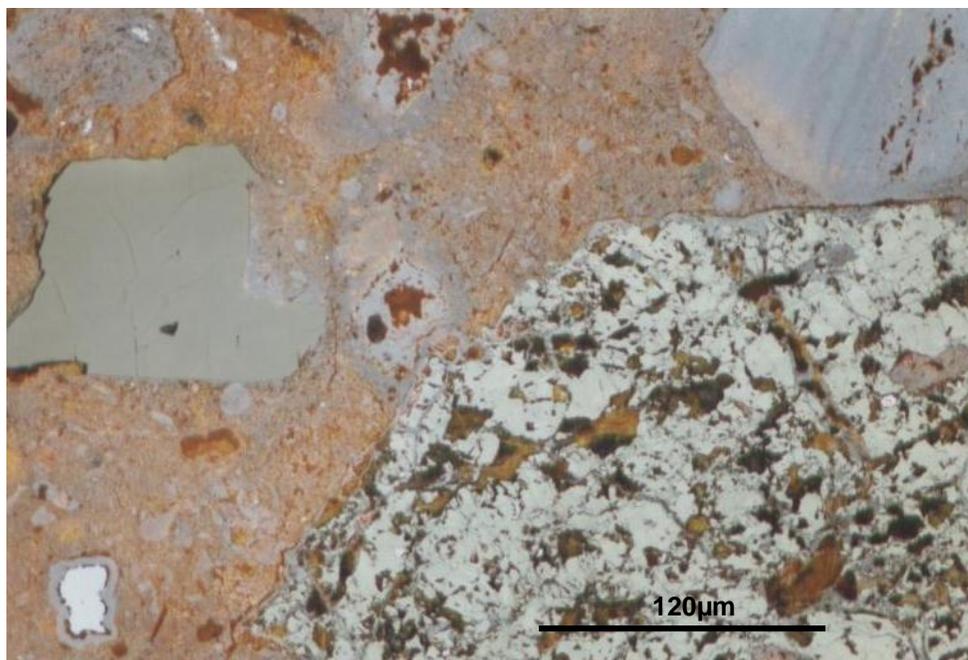


Fig. No. 5 Agregado de goethita, centro izquierda, con magnetita, corroída por maghemita – derecha y fondo – a la izquierda y fondo un agregado de psilomelano rodeado por goethita; un agregado en la parte superior derecha, no identificado. Horizonte: OEF, Perfil L-42, yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. (Microsonda electrónica Cameca SX-50, 20,0 kw, en aire, haz de electrones: 39,80 na).

En el modelo se exponen los minerales que integran las cortezas de intemperismo, sus paragénesis principales y los horizontes, que de acuerdo a la clasificación de W. Lavaut, presentan en mayor concentración y no significa que su existencia está restringida a ese horizonte y paragénesis unicamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El modelo teórico del orden cronológico de formación de los minerales lateríticos, constituye una sistematización para la mineralogía de las menas lateríticas, asociado a los fases geotectónicas que se han producido en el complejo ofiolítico y en las litologías que lo integran desde su formación primaria hasta la formación de las cortezas de intemperismo y su evolución en el tiempo geológico.
2. El modelo teórico del orden cronológico de formación de los minerales lateríticos, permite valorar la migración geoquímica de los principales elementos químicos que integran los minerales de la corteza de intemperismo desarrollada sobre las litologías afloradas de la faja ofiolítica del nordeste de Cuba oriental.
3. La aplicación de la mineralogía y el orden cronológico de formación de los minerales lateríticos durante las etapas de exploración y explotación de las menas permitirá una mejor interpretación del comportamiento geoquímica de los componentes principales en los diferentes horizontes que integran los yacimientos lateríticos y la necesidad de la caracterización mineralógica de los horizontes lateríticos en explotación.
4. El modelo del orden cronológico de formación de los minerales lateríticos crea la base inicial para la continuación de los estudios mineralógicos de las minerales

formados en condiciones exógenas de las litologías afloradas del complejo ofiolítico en todo el territorio nacional.

5. El resultado del establecimiento del modelo del orden cronológico de formación de las paragénesis minerales de las menas lateríticas, constituye un aporte científico al conocimiento de la geoquímica y mineralogía de las menas de Fe, Ni y Co, al ser elaborado por primera vez para los yacimientos lateríticos cubanos.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- Almaguer, A. 1995 Cortezas de intemperismo. Algunas particularidades de sus partículas finas. *Minería y Geología* 12, 9-19.
- Ariosa, I. D. J. 2002: La modelación descriptiva de los yacimientos minerales en Cuba. Tesis Doctoral. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, Cuba. 36 p.
- Brand N.W., Butt C.R.M., Elias M. (1998). *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 81-88.
- Capote. N. Rojas-Puron, L. A. Bassas, P.R. Determinación de la distribución del níquel en las macrofases de mineral laterítico. *Minería y Geología* 10 17-23.
- Cobiella, J. L. (2005). Emplacement of cuban ophiolites. *Geologica Acta*, vol.3, No.3, 2005, p.273-294
- Coleman, R.G. (1977) *Ophiolites: Ancient oceanic lithosphere?* New York: Springer, Minerals-Rocks Ser. 12 pp. 240.
- Elias, M. (2004) Nickel laterite deposits – geological overview, resources and exploitation. In: *Giant ore deposits: Characteristic, genesis and exploitation*. CDES Special Publication 4, Center for ore deposits research, University of Tasmania, pp, 205-220.
- Formell, F. 1979 Clasificación morfogenética de las cortezas de intemperismo sobre las rocas ultrabásicas de Cuba. *Ciencias de la Tierra y del Espacio* 1, 33-49.
- Iturralde-Vinent, M. 1994: Introducción to cuban geology and tectonics. En *ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. IUGS/UNESCO. International Geological Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. pp. 3-47.
- Galí, S. et. al, 2006 Características mineralógicas de los perfiles lateríticos tipo óxidos del yacimiento Punta Gorda (Cuba Oriental). Evento de Geología de Oviedo, España.
- Golightly, J. P. 1979, Nickeliferous laterite: a general description. *Inertat. Laterite Symposium*, New Orleans, 1979. Soc. Mining Engineers AIME, p. 38-56
- Golightly, J. P. 1981. The nickeliferous laterite deposits. *Economic Geology*, 75th. Anniversary Volume, 710 – 735 pp.
- Dalvi A.D., Bacon, W.G., Osborne R.C. (2004). En: Imrie W. P., Lane D. M. (eds.), *International Nickel Laterite Symposium TMS 2004 – 133rd Annual Meeting and Exhibition*, Charlotte, N. Carolina, 23.
- Lewis J.F. and Draper G., 1990 *Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. The Caribbean region. The geology of North America*, Vol. H.
- Lavaut, W., 1998. Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba Oriental. *Minería y Geología* 15, 9-16.
- Muñoz Gómez, J. N. et. al. 2004, Mineralogía de las menas lateríticas del yacimiento Punta Gorda: Implicaciones técnico – organizativas durante la explotación, VI Congreso de la Sociedad Cubana de Geología.
- Muñoz Gómez, J. N. 2004 *Geología y mineralogía de yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe – Ni – Co*. PDF – Files. ICT – ISMMM, 22p.
- Muñoz Gómez, J. N. (2007). La migración geoquímica del níquel en las cortezas de intemperismo ferromanganesíferas: implicaciones en la exploración y explotación. III Congreso de Minería (Minería – 2007). Palacio de las Convenciones. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Oliveira et. al. (2001). Ochreous laterite: a nickel ore from Punta Gorda, Cuba. *Journal of South American Earth Sciences* 14 307-3017
- Proenza, J.A. Melgarejo, J. C. Gervilla, F. (2003). Comments on the paper “Ochreous laterite: a nickel ore from Punta Gorda, Cuba by Oliveira et. al. *Journal of South American Earth Sciences*.

- Proenza, J., et.al. 1999b. La Moho transición zone ene. Macizo ofiolítico Moa – Baracoa (Cuba): un ejemplo de interacción magma/peridotito. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 12, 309-327.
- Rojas Purón, A. L., Beyris, P. 1994. Influencia en la composición mineralógica del material limonítico de frentes de explotación de la industria Pedro Sotto Alba. Moa. *Minería y Geología* 11, 13-17.
- Rojas Purón, A. L., Orozco Melgar, G. A., 1995. Iniciación al estudio de las fases minerales portadores de níquel en el horizonte limonítico del yacimiento Moa. *Minería y Geología* 11, 11-15.
- Ramdorhr, P. (1980). *The ore minerals and their intergrowths*, 2nd. edn. Oxford, 2 vols, pp. 1205. Pergamon Press. RFA.
- Streckeisen, A. 1975: To each plutonic rock its proper name. *Earth Science. Reviews* 12(1976) 1-33.