

# MINERALES DE Mn-Co-Ni EN LAS LATERITAS DE CUBA ORIENTAL: RESULTADOS PRELIMINARES

M. LABRADOR <sup>(1)</sup>, J.A. PROENZA <sup>(1)</sup>, S. GALÍ <sup>(1)</sup>, J.C. MELGAREJO <sup>(1)</sup>, E. TAULER <sup>(1)</sup>, A. ROJAS-PURÓN <sup>(2)</sup>, N. MUÑOZ-GÓMEZ <sup>(2)</sup> Y A. RODRÍGUEZ-VEGA <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> *Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès, s/n, 08028, Barcelona*

<sup>(2)</sup> *Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba*

## INTRODUCCIÓN

En los yacimientos de lateritas niquelíferas, el Ni y Co pueden ser incorporados en óxidos e hidróxidos de Mn, donde han precipitados mediante reacciones redox (Elias et al., 1981). Además de asbolanas (ricas en Ni y ricas en Co), otros minerales que contienen Co son heterogenita y litioforita (Chukhrov et al., 1983; Manceau et al., 1987; Llorca y Monchoux, 1991). En general, en estos yacimientos lateríticos todos los materiales negros ricos en Mn, Co y Ni, mayoritariamente amorfos o de muy baja cristalinidad, han sido denominados «asbolanas». Estos productos negros constituyen excelentes guías de la mineralización. Sin embargo, en la mayoría de los yacimientos lateríticos (con la excepción de los de Nueva Caledonia) no se han realizados estudios detallados con el fin de determinar la naturaleza de estas fases de Mn ricas en Co y Ni. En este trabajo presentamos los resultados preliminares de un estudio mineralógico sobre las mineralizaciones de Co, asociadas con hidróxidos de Mn, en las lateritas niquelíferas de Cuba Oriental.

## LATERITAS DE NI-CO DE CUBA ORIENTAL

Sobre las peridotitas serpentinizadas de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Proenza et al., 1999) se desarrollan extensas áreas de cortezas lateríticas de Fe-Ni-Co que dan lugar a *world-class deposits*. Estos depósitos, de acuerdo a la clasificación mineralógica de Brand et al. (1998), son depósitos de óxidos. Según Gleeson et al. (2001), el ejemplo mejor conocido a nivel mundial de depósitos de lateritas de Ni tipo óxidos es el de Moa (*Moa Bay* en literatura anglosajona). La potencia promedio de la corteza de intemperismo laterítica es de unos 10 metros, aunque puede alcanzar los 50 metros. A grandes rasgos y de una forma muy simplificada, en el perfil laterítico de los depósitos de Cuba oriental se pueden reconocer los mismos horizontes que se han descrito en otros depósitos de lateritas de Ni a nivel mundial (Brand et al., 1998; Gleeson et al., 2001). El perfil laterítico esta constituido por 4 horizontes principales, de abajo hacia arriba en el corte (Figura 1): (i) peridotitas serpentinizadas, (ii) saprolita, (iii) limonita, (iv) ferricreta. Las zonas enriquecidas en Co son el resultado de la concentración supergénica, ya que este elemento sólo se encuentra como trazas

en los silicatos y óxidos de las rocas ultramáficas no laterizadas. Los mayores contenidos de Co en el corte laterítico se localizan predominantemente en la zona de transición entre el horizonte saprolítico y el limonítico. Las zonas ricas en Co presentan un color negro con tonalidades azuladas, y la mineralización se presenta como un revestimiento pelicular de los componentes saprolítico y/o limonítico, o como concreciones en diaclasas (Figura 1).

## MUESTRAS Y METODOLOGÍA

En este trabajo se estudiaron muestras de un corte laterítico ubicado a unos 5 km de la ciudad de Moa, donde aflora el horizonte negro rico en Co (Figura 1). Así como muestras de un frente de explotación del yacimiento Punta Gorda, especialmente de la zona de transición entre la saprolita y la limonita.

Todas las muestras fueron analizadas mediante difracción de rayos X (DRX). Para ello se ha efectuado una separación mediante líquidos densos así como una posterior separación magnética de las fracciones resultantes. La separación por densidades se ha realizado con ioduro de metileno (IM) y bromoformo (BF). El ioduro de metileno ( $\delta=3.32 \text{ g/cm}^3$ ) permite separar los óxidos y hidróxidos de los filosilicatos mientras que el bromoformo ( $\delta=2.90 \text{ g/cm}^3$ ) es indicado para separar las fases silicatadas más ligeras. La separación se ha efectuado sobre una fracción de la muestra de tamaño entre 90 y 200  $\mu\text{m}$ . La muestra se ha triturado manualmente en un mortero de ágata hasta conseguir un tamaño de grano inferior a 200  $\mu\text{m}$  para la totalidad de la muestra. Se ha realizado de forma gradual a fin de reducir al máximo la fracción inferior a 90  $\mu\text{m}$ . De las diferentes fracciones obtenidas se ha realizado DRX sobre cuatro de ellas: (i) fracción magnética de la fracción pesada obtenida a partir de IM (IPM); (ii) fracción no magnética de la misma fracción pesada anterior (IPNM); (iii) fracción no magnética de la fracción ligera obtenida a partir de IM (ILNM) y (iv) fracción no magnética de la fracción ligera obtenida con BF (BLNM). Los espectros se han medido en un difractómetro Siemens D-500 en geometría Bragg-Brentano  $\theta/2\theta$  (radio = 215.5 mm) con radiación  $K\alpha$  de Cu  $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$  y monocromador secundario de grafito. Se han utilizado rendijas de divergencia y receptora de  $1^\circ$  y  $0.15^\circ$  respectivamente. El rango de medida ha sido de  $4$  a  $80^\circ$  de  $2\theta$  con un paso de  $0.03^\circ$  de  $2\theta$  y

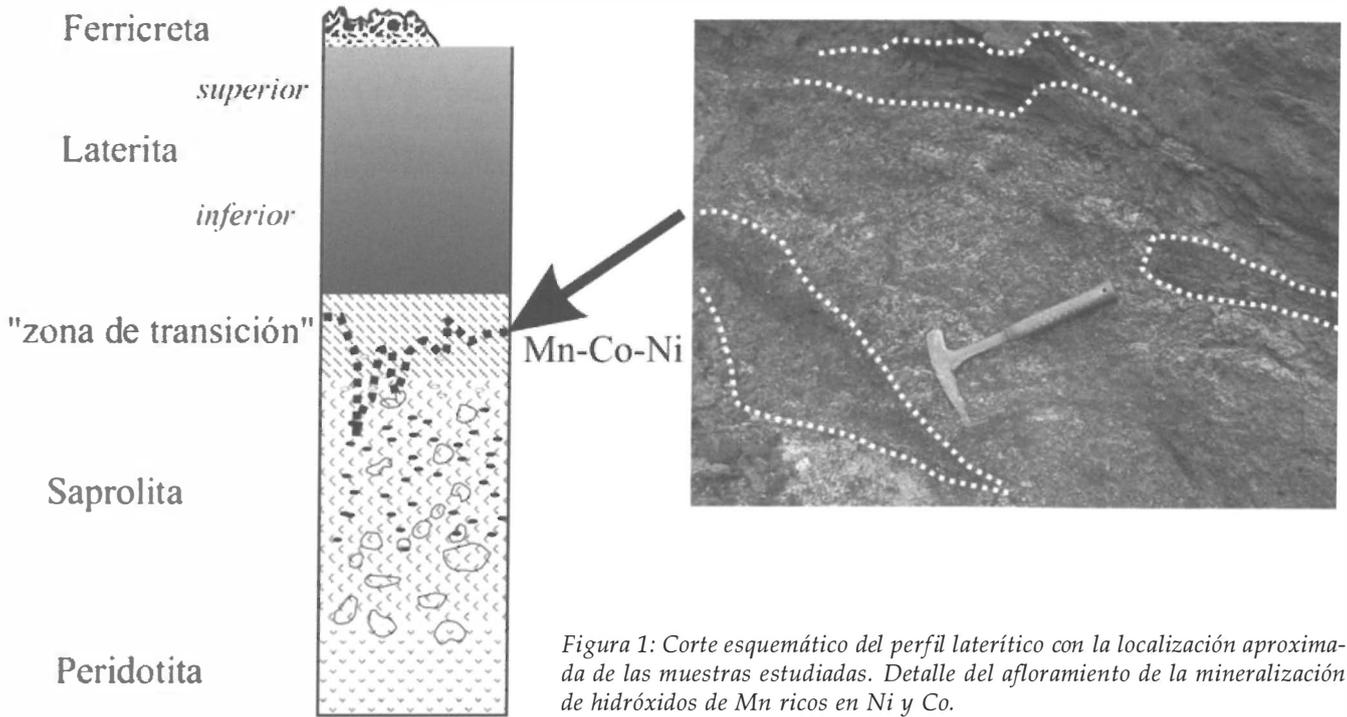


Figura 1: Corte esquemático del perfil laterítico con la localización aproximada de las muestras estudiadas. Detalle del afloramiento de la mineralización de hidróxidos de Mn ricos en Ni y Co.

tiempo de registro de 18 segundos por paso. La identificación se ha realizado mediante el software Diffract (Bruker).

Además, se realizaron láminas y probetas pulidas, las cuales se estudiaron mediante microscopía óptica y

SEM-EDS. Finalmente la composición química de las diferentes fases minerales se ha determinado mediante una microsonda electrónica SX-50 en los Serveis Científico-Tècnics de la Universitat de Barcelona.

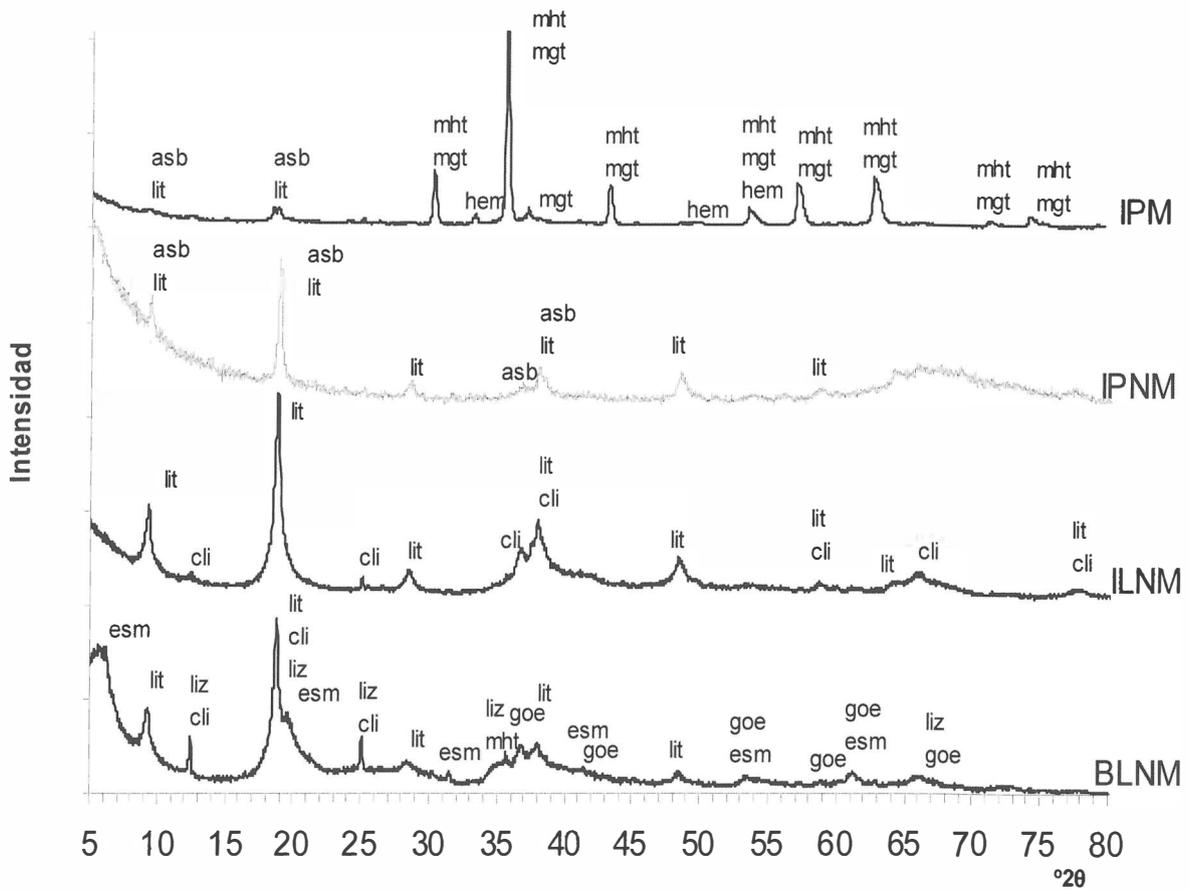


Figura 2: Diagramas de DRX de las muestras IPM, IPNM, ILNM y BLNM. Se indican las fases identificadas: asbolana (asb), litioforita (lit), magnetita (mgt), maghemita (mht), hematites (hem), goethita (goe), esmectita de Ni (esm), clinocloro (cli), lizardita (liz).

**RESULTADOS DE DRX**

En la Figura 2 se presentan los diagramas de DRX de las muestras analizadas las cuales se comentan a continuación. En la fracción pesada magnética se ha identificado maghemita y magnetita. Se observan picos correspondientes a hematites, también indicios de asbolana y litioforita así como de goethita (no indicada en la Figura 2). En la fracción pesada no magnética la fase dominante es la litioforita, si bien se puede señalar también la presencia de asbolana, así como indicios de willemseita. Por otra parte, en la fracción ligera no magnética se identifica litioforita y una clorita magnésica que bien podría ser clinocloro con cierto contenido en Ni. Finalmente, en la fracción más ligera no magnética se ha identificado esmectita y lizardita como fases nuevas no observadas en las muestras anteriores, además de litioforita, clinocloro, goethita, maghemita y willemseita. Los patrones de maghemita y magnetita presentan un buen ajuste en las muestras analizadas, no ocurre así con el resto de fases ya que su composición es variable y no coincidente con las de las fichas JCPDS. Por lo que respecta a la litioforita, los resultados de la microsonda indican la presencia de una litioforita alumínica con Mn y Ni mientras que la DRX ajusta una litioforita con Al y Li (no característica de ambientes lateríticos). Es por ello que si bien las intensidades de la ficha JCPDS presentan un buen ajuste, la posición de los picos se encuentra algo desplazada. La problemática de la asbolana es diferente ya que esta fase se caracteriza por una pobre cristalinidad que se manifiesta por picos de DRX escasos y poco definidos.

**QUÍMICA MINERAL**

La litioforita (Figura 3A) presenta altos contenidos de Co (entre 5.32 y 12.82 % en peso), y de Ni (4.77 y 8.68 % en peso). Los contenidos de MnO<sub>2</sub> varía entre 37.15 y 52.58 % en peso, y los de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 14.86 y

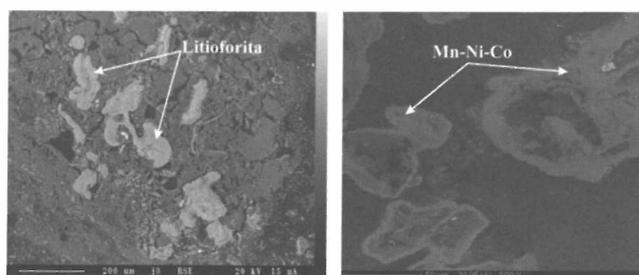


Figura 3: Imágenes de electrones retrodispersado de litioforita (A), y fases de Mn-Ni-Co, de composición intermedia entre litioforita y asbolana (B).

20.95 % en peso (Figura 4). Estas composiciones indican que la litioforita presente en las lateritas de Moa es mas rica en Co y Ni que las de Nueva Caledonia (Llorca y Monchoux, 1991).

Las otras fases predominantes de Mn-Ni-Co analizadas (Figura 3B) tienen una composición química intermedia entre litioforita y verdaderas asbolanas (Figura 4). Estas fases presentan altos contenidos de Ni (hasta 21.65 % de NiO) y de Co (hasta 9.60 % en peso de Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), contenidos de MnO<sub>2</sub> entre 39.32 y 46.29 % en peso, y bajos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (<7 % en peso). Otras fases de Mn-Ni-Co analizadas contienen SiO<sub>2</sub> (hasta un 19 % en peso) y probablemente representen productos intermedios de dos o más fases. Finalmente se ha analizado una fase de Mn con contenidos de MnO<sub>2</sub> alrededor de 80 % en peso y con muy bajos contenidos de Co (< 2 % en peso) y Ni (< % en peso de NiO). Otros minerales presentes en las muestras que contienen Ni son la serpentina (hasta 3 % de NiO) y la goethita (hasta 1.6 % de Ni).

**CONSIDERACIONES FINALES**

Las principales fases de Mn que contienen Ni y Co en las muestras estudiadas son litioforita y productos intermedios entre litioforita y asbolana («asbolanas ricas

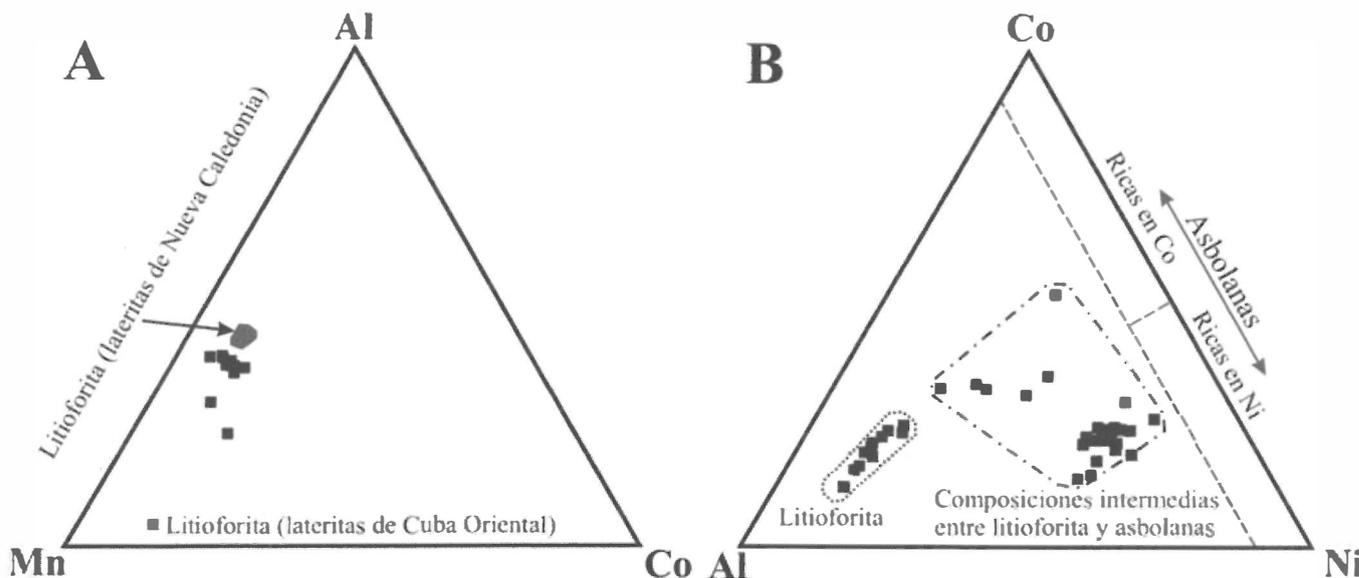


Figura 4: A) Composición química (en términos de Mn-Al-Co) de la litioforita presente en las lateritas niquelíferas de Cuba oriental, a manera de comparación también se muestra el campo composicional de la litioforita descrita en las lateritas de Nueva Caledonia (Llorca y Monchoux, 1991). B) Composición química (en términos de Al-Co-Ni) de todas las áreas ricas en Mn-Co-Ni-Al analizadas, mediante microsonda electrónica, en 5 muestras. Nótese que muchos análisis probablemente representan composiciones intermedias entre litioforita y asbolana.

en Al»). En cambio, la heterogenita [(Co, Ni), OOH], un mineral característico de las lateritas de Nueva Caledonia (Llorca et al., 1991), no fue detectada. Estos resultados confirman los obtenidos por Chukhrov et al. (1983). La presencia de litioforita implica disponibilidad de Al en el medio, la cual es consistente con la presencia de peridotitas impregnadas (con plagioclasa y clinopiroxenos) y sills de gabros, en el substrato peridotítico sobre el cual se forman las cortezas lateríticas de Moa (Proenza et al., 2003). Por otra parte, la estructura de la litioforita, a diferencia de la asbolana, no permite albergar grandes cantidades de Co y de Ni (Chukhrov et al., 1983). Esto implica que en las cortezas de meteorización desarrolladas sobre rocas ultramáficas la principal fase de Mn que contienen Ni y Co es la asbolana. Además el Co, a diferencia del Ni, no forma silicatos secundarios, por consiguiente la asbolana es la principal expresión mineralógica de Co en las lateritas de Cuba oriental.

## REFERENCIAS

- Brand N.W., Butt C.R.M., Elias M. (1998). *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 81-88.
- Chukhrov, F.V., Gorshkov, A.I., Sivtsov, A.v., Berezovskaya, V.V. (1983). *Int. Geol. Rev.*, 25, 719-729.
- Elias, M., Donaldson, M.J., Giorgetta, N. (1981). *Econ. Geol.*, 76, 1775-1783.
- Gleeson S. A., Butt C. R. M., Elias M. (2003). *A review. SEG Newsletter* 54, 11-18.
- Llorca, S., Monchoux, P. (1991). *Can. Mineral.*, 29, 149-161.
- Manceau, A., Llorca, S., Calas, G. (1987). *Geochem. Cosmochem. Acta.*, 51, 105-113.
- Oliveira, S.M.B., Parititi, C.S., Enzweiler, J. (2001). *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 307-317.
- Proenza, J.A., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., Bodinier, J.L. (1999). *Econ. Geol.*, 94, 547 -566.
- Proenza, J.A., Melgarejo, J.C., Gervilla, F. (2003). *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 199-202.