

# Identificación mineralógica de los óxidos de manganeso del yacimiento laterítico Punta Gorda, Moa, Cuba

Arturo Rojas Purón  
Rômulo Simões Angélica  
Gerardo Orozco Melgar

## Resumen

Estudios recientes han revelado contenidos atípicos de manganeso en los depósitos lateríticos ferroniquelíferos de Moa por lo que muestras enriquecidas de dos perfiles del yacimiento Punta Gorda se investigaron con el propósito de determinar las formas mineralógicas en que aparecen los óxidos de manganeso en este depósito. Mediante la aplicación de técnicas de Difracción de Rayos-X, Análisis Térmico Diferencial, Fluorescencia de Rayos-X, Microscopía Electrónica de Barrido y Espectroscopía Infrarroja se pudo establecer que la forma mineralógica principal de los óxidos de manganeso en Punta Gorda es la litioforita; este mineral fue revelado por sus reflejos difractométricos y por sus características macroscópicas (grano de color negro, brillo semimetálico, no magnético y su aspecto botroidal o masivo). Las bandas de absorción de los espectros infrarrojos a los 467 y 1019  $\text{cm}^{-1}$  corroboran este resultado y la presencia de picos endotérmicos inferiores a los 500 °C evidencian la baja cristalinidad de la litioforita en este depósito.

## Palabras clave

Lateritas ferroniquelíferas; litioforita; óxidos de manganeso; yacimiento Punta Gorda.

## Mineralogical identification of manganese oxides contained in Punta Gorda Ore Bodies, Moa, Cuba

### Abstract

Recent investigations have revealed atypical content of manganese in the ferronickel lateritic mines in Moa. Enriched samples of two profiles from the Punta Gorda ore body were investigated with the objective to determine the mineralogical forms of the manganese oxides present in this deposit. By applying X-ray diffraction, differential thermal analysis, X-ray fluorescence, sweep electronic microscopy and infrared spectroscopy, it could be identified that the main mineralogical form of manganese oxides contained in Punta Gorda was lithiophorite. The mineral was revealed by its diffractometric reflexes and macroscopic characteristics (black grains, semi-metallic shine, non-magnetic and its bothroidal or massive appearance). These results were proved by absorption bands of 467 and 1 019  $\text{cm}^{-1}$  in the infrared spectrum, and the endothermic peaks of less than 500 °C shows that lithiophorite from this deposit has low crystallinity.

### Key words

Ferroginous laterite; lithiophorite; manganese oxide; Punta Gorda ore body.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los depósitos lateríticos ferroniquelíferos del nordeste de Cuba representan las mayores reservas de níquel en el Caribe (Dalvi *et al.* 2004; Galí *et al.* 2006); son mayoritariamente de tipo óxido (Brand *et al.* 1998; Gleeson *et al.* 2003), formados a partir de la meteorización de las rocas básicas y ultrabásicas del macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Iturralde Vinent 1996; Lavaut 1998).

En el yacimiento Punta Gorda (Figura 1) han sido reportados contenidos apreciables de manganeso y cobalto (Vera-Sardiñas 2001) lo que ha motivado el desarrollo de nuevas investigaciones para identificar las formas mineralógicas en que aparecen en estos depósitos los óxidos de manganeso.

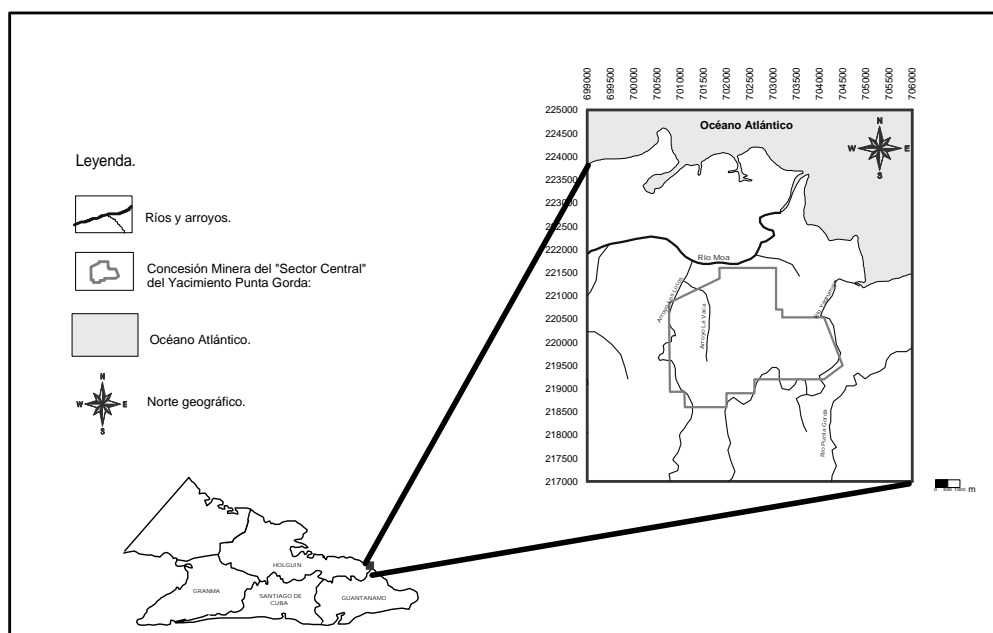


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del yacimiento Punta Gorda, Holguín, Cuba (tomado de D. de Dios, 2002).

Los óxidos de manganeso han sido reconocidos como importantes colectores de microelementos (Co, Ni, Cu y Zn), de ahí que resulten de gran utilidad los estudios mineralógicos relacionados con la presencia y distribución de estos metales para la solución de diversos problemas tecnológicos (Manceau *et al.* 1992), de los suelos (Liu *et al.* 2002; Quantin *et al.* 2002; Negra *et al.* 2005) y en las plantas (Guest *et al.* 2002). Por ejemplo, Pizzigallo *et al.* (1994) refieren el efecto que pueden tener los óxidos de manganeso en la disminución de la concentración de los

clorofenoles, altamente tóxicos, en los sistemas naturales, mientras Hettiarachchi *et al.* (2002; 2003) señalan su efecto estabilizador en los suelos contaminados por plomo.

En los perfiles lateríticos, los óxidos de manganeso constituyen fases minerales portadoras de cobalto y níquel (Sobol 1968; Manceau *et al.* 2002; Labrador *et al.* 2006; Proenza *et al.* 2007; Proenza *et al.* 2010) debido a la interacción que existe entre estos dos metales y los óxidos de manganeso en la superficie terrestre como resultado de la oxidación del  $\text{Co}^{2+}$  a  $\text{Co}^{3+}$  para formar especies menos solubles, con la consecuente reducción de los iones  $\text{Mn}^{+3}$  o  $\text{Mn}^{+4}$  a  $\text{Mn}^{+2}$  de especies más solubles (Manceau *et al.* 1997).

Debido a su baja cristalinidad y a la poca cantidad en que se encuentran en los perfiles lateríticos, el estudio mineralógico de los óxidos de manganeso se dificulta (Chukhrov *et al.* 1989; Manceau *et al.* 1992), lo que explica el porqué algunos investigadores al referirse a estas especies minerales la designan de forma genérica como asbolitas (Oliveira *et al.* 2001) o simplemente como óxidos de manganeso (Quintana *et al.* 1985; Laverov 1985) sin precisar sus formas mineralógicas.

El estudio de los óxidos de manganeso en los perfiles lateríticos ha estado enfocado al conocimiento de la distribución del cobalto y del níquel (Schellmann 1978; Kunhel *et al.* 1978; Almaguer & Zamarsky 1993; De Carvalho-e-Silva & Oliveira 1995; De Carvalho-e-Silva *et al.* 2003), pero no se precisa cuáles son los minerales de manganeso que aparecen en estos perfiles.

Chukhrov *et al.* establecen las fases minerales de manganeso en condiciones hipergénicas (Chukhrov *et al.* 1980a, 1980b, 1989) al tiempo que Manceau *et al.* (1987) distinguen, en perfiles lateríticos de Nueva Caledonia, diferencias cristaloquímicas entre la litioforita y la asbolana con respecto a la posición del níquel y del cobalto. En 1992, Manceua *et al.* alertan sobre la complejidad estructural de estos minerales de baja temperatura y plantean que el primer paso para entender las

condiciones de formación de los óxidos de manganeso es la identificación de sus formas mineralógicas.

En Cuba, Sobol (1968) fue el primero en estudiar los óxidos de manganeso en perfiles lateríticos al analizar la distribución del níquel y el cobalto en los minerales que componen la pulpa limonítica en la planta metalúrgica de Moa, mas tampoco define las fases de óxidos de manganeso que contienen a esos dos metales. De igual modo Quintana (1985) declara la presencia de minerales de manganeso en las lateritas de la mina Moa, pero no establece su forma mineralógica.

En un estudio detallado de los ocreos del yacimiento Levisa (Nicaro) Voskresenskaya & Cordeiro (1986) identifican como elizabetinskita  $[(\text{Mn},\text{Co}) \text{O}(\text{OH})]$  a un óxido de manganeso semejante a la litioforita  $[(\text{Al},\text{Li})\text{MnO}_2(\text{OH})_2]$  y en el año 2001, Rodríguez *et al.* reportan en el yacimiento San Felipe (Camagüey) la presencia de un óxido de manganeso identificado como ernieniquelita  $[\text{NiMn}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ .

El insuficiente nivel de precisión existente acerca de los minerales de manganeso en los depósitos lateríticos en la región de Moa induce el desarrollo de esta investigación cuyo objetivo es determinar cuáles son las formas mineralógicas en que aparecen los óxidos de manganeso en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda (Moa).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Definición de la zona de estudio

Teniendo en cuenta la estrecha asociación geoquímica existente entre el manganeso y el cobalto (Schellmann 1978; Manceau *et al.* 1992) se definieron como los sectores más enriquecidos en manganeso aquellos que también lo son en cobalto. En este sentido, los resultados de Vera-Sardiñas (2001) permitieron establecer al suroeste del yacimiento Punta Gorda los sectores prospectivos para el estudio de las fases de óxidos de manganeso (Figura 2) y, dentro de éstos, los perfiles L-48 y M-47 por ser los de mayor contenido de cobalto.

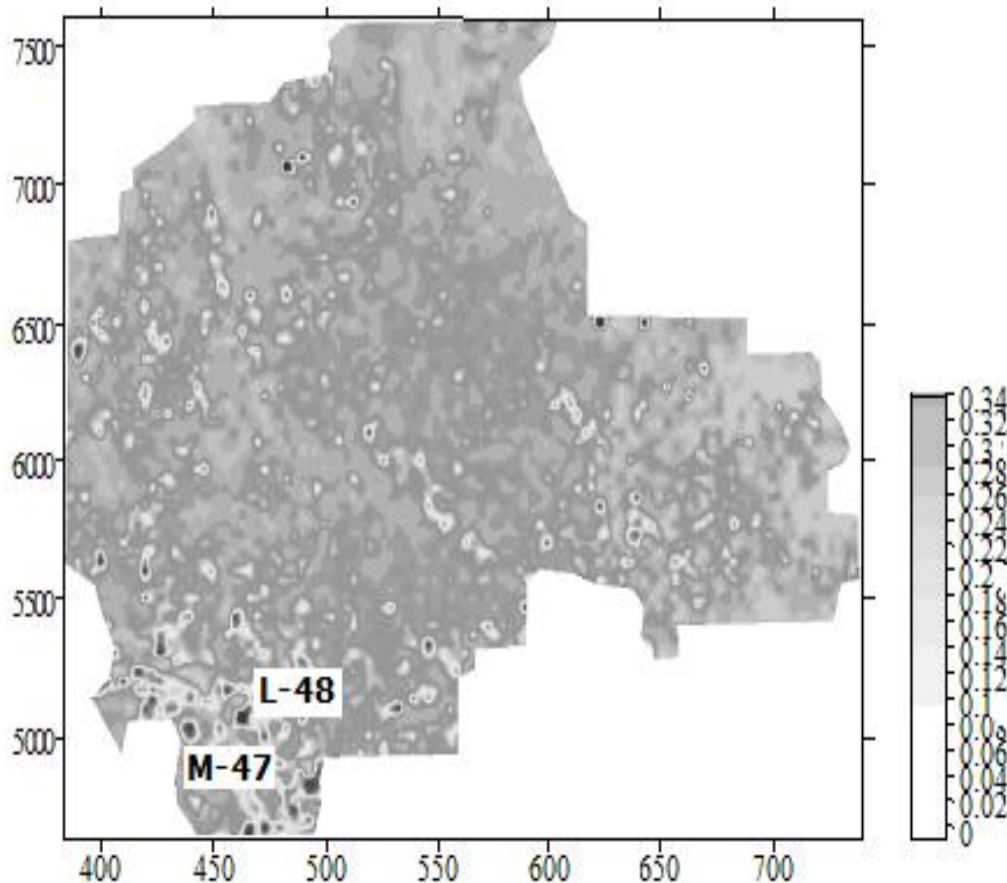


Figura 2. Distribución espacial del cobalto (contenido en por ciento) en la mena niquelífera del yacimiento Punta Gorda (según Vera-Sardiñas 2001).

## 2.2. Muestreo y caracterización de los perfiles

Se tomaron, de forma puntual, 18 muestras de un kilogramo cada una en los horizontes de los perfiles L-48 y M-47. En estos perfiles se reconocen, en el sentido vertical, dos zonas: la zona laterítica, a la que pertenecen los horizontes de concreciones ferruginosas y los de ocre, y la zona silicatada, constituida por horizontes de serpentinitas alteradas y de serpentinitas frescas (Figura 3). Los horizontes lateríticos de ambos perfiles difieren por la intensidad de la meteorización, siendo el L-48 de mayor potencia que el M-47; el primero es un típico perfil maduro a diferencia del segundo, inmaduro.

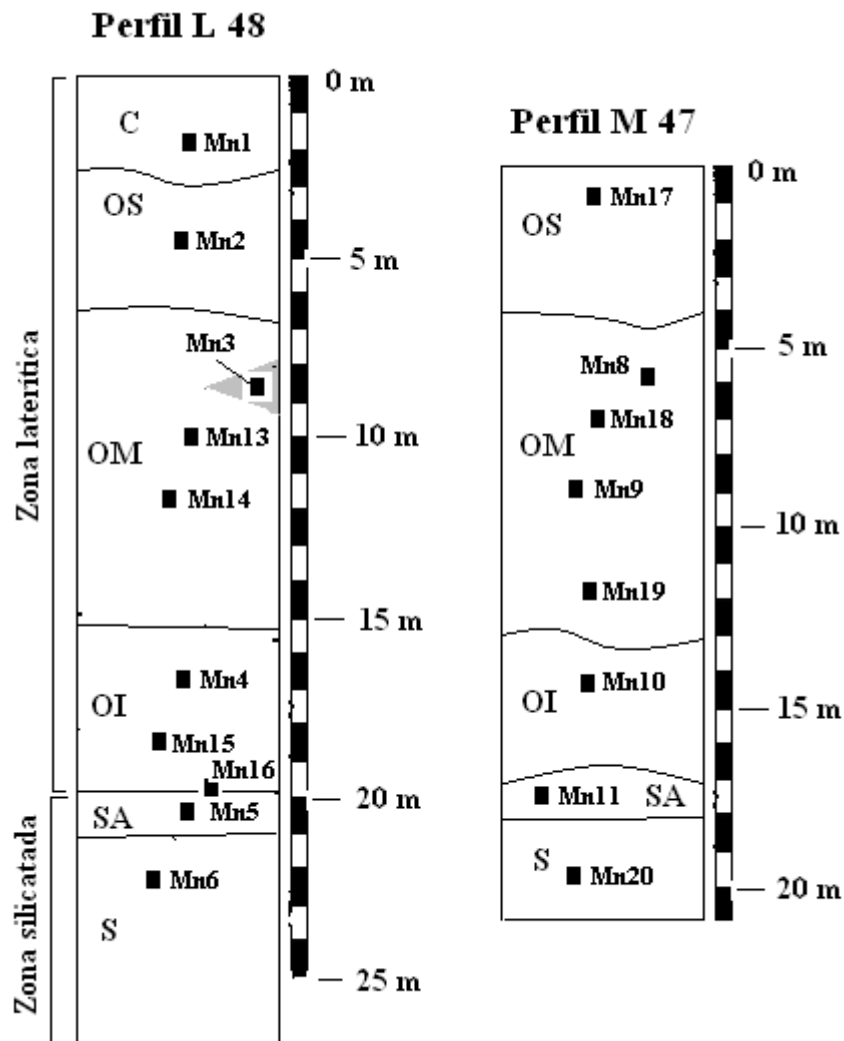


Figura 3. Esquema de los perfiles lateríticos L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. C: concreciones ferruginosas; OS: ocre superior; OM: ocre medio; OI: ocre inferior; SA: serpentinita alterada; S: serpentinita inalterada o roca madre. (•) Mn#: Punto de toma de muestra.  
Nota: El dibujo no está a escala.

### 2.3. Métodos

Para seleccionar las fracciones enriquecidas en manganeso, las muestras de la zona laterítica fueron sometidas a separación granulométrica y a determinaciones mineralógicas por Difracción de Rayos-X. Para valorar los granos de óxidos de manganeso, las muestras de ocre medio fueron concentradas por ultrasonido y centrifugado para obtener fracciones monominerales enriquecidas (designadas como Lp).

La separación granulométrica se hizo mediante tamización por vía húmeda empleando los tamices: 1,6; 0,83; 0,417; 0,074 y 0,045 mm.

Para el análisis químico se empleó un espectrómetro secuencial de fluorescencia de rayos-X, marca Phillips PW 1480, con radiación de radón, un régimen de 3 000 W y 100 kV al vacío y con colimador fino. Para evaluar las características físicas de las muestras se realizó microscopía óptica ordinaria con un microscopio binocular tipo Technival, modelo Axiolab Pol de la Carl Zeiss.

La difracción de rayos-X (DRX) se realizó con un difractómetro de la marca Philips, modelo PW 3710, radiación de  $\text{CuK}\alpha_1$ . En el proceso de lectura e interpretación de los difractogramas se utilizaron los softwares APD (Philips) y el Xpert High Score 1b del año 2002, así como la base de datos de la ICDD (*International Center for Diffraction Data*) del 1998. Para la estimación cuantitativa de los minerales se empleó el software Autoquan de la Seifert X-Ray Technology (Versión 2.26) del 2001.

Las técnicas de ensayo térmico (ATD, TG, DTG, T) permitieron conocer el grado de cristalinidad de los óxidos y confirmar los resultados de la DRX. Se utilizó un equipo modelo *PL-STA Thermal Science*, con analizador térmico simultáneo STA 1000/1500, de la Stanton Rederoff Ltd. La velocidad de calentamiento fue de 20 °C por minuto, temperatura inicial de 25 °C y la final de 1 100 °C.

La forma de los granos minerales y la composición química puntual se determinaron por microscopía electrónica de barrido (MEB), con un microscopio electrónico de la Carl Zeiss, modelo LEO-1430, con voltaje de 20 kV para imágenes de electrones retrodispersados y de 10 kV para imágenes de electrones secundarios, distancia de 15 mm y corriente de flujo de electrones de 90 mA; las muestras fueron metalizadas con carbono.

Las muestras sometidas a análisis por espectroscopía infrarroja (IR) se prepararon con bromuro de potasio (KBr) como dispersante. Se utilizó el espectrofotómetro modelo 1760 X FT-IR, de la Perkin Elmer, con registros de banda espectral de 4 000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ . Los espectros se obtuvieron y procesaron con el software Spectrum FT-IR 2.0, también de la marca Perkin Elmer.



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Granulometría

Desde el punto de vista granulométrico, los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda son similares a otros de la región de Moa (Rojas 2001). Predominó la fracción de grano fino (menor de 0,045 mm), sobre todo en la parte superior del perfil, donde alcanza del 50 al 65 % en peso de la muestra. La fracción granulométrica medianamente gruesa (-0,417+0,074 mm) resultó la segunda en importancia, representando entre el 15 y el 25 % en peso de la muestra (Figura 4).

La diferencia granulométrica principal entre el material laterítico y el silicatado (serpentinítico) se encontró en la proporción en que aparecen la clase granulométrica más fina (menor de 0,045 mm) y las más gruesas (mayores de 0,83 mm).

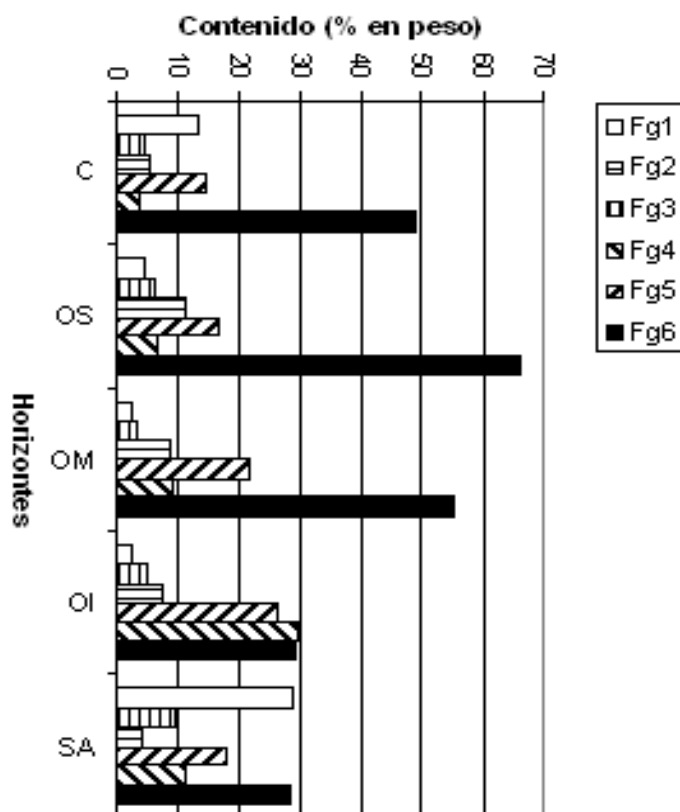


Figura 4. Distribución de la granulometría a través del perfil laterítico en Moa. Fracciones granulométricas: Fg1: (+ 1,6 mm); Fg2: (-1,6+0,83 mm); Fg3: (-0,83+0,417 mm); Fg4: (- 0,417+0,074 mm); Fg5: (-0,074+0,045 mm); Fg6: (- 0,045 mm).

### 3.2. Composición química

La zona laterítica en ambos perfiles resultó esencialmente ferrosa (Tablas 1 y 2), con contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  próximos al 70 %; aparece, además, aluminio como componente mayoritario (alrededor de un 10 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Se obtuvieron contenidos bajos de  $\text{SiO}_2$  (1-2 %) y de  $\text{MgO}$  (0,2 -0,4 %).

El perfil L-48, con relación al M-47, mostró una variación más gradual del hierro hacia la parte inferior de la zona laterítica y un mayor contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que alcanzó el 20 % en su parte superior.

Tabla 1. Composición química del perfil L-48 del yacimiento Punta Gorda

Componentes	Muestras (Contenido en g/kg)									
	Mn1	Mn2	Mn3	Mn13	Mn14	Mn4	Mn15	Mn16	Mn5	Mn6
$\text{SiO}_2$	1,32	1,6	1,7	1,6	1,5	2	1,9	24,8	35,9	40,9
$\text{TiO}_2$	0,29	0,61	0,1	0,12	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	0
$\text{Al}_2\text{O}_3$	10,7	20,2	8,4	8,9	7,9	6,8	8,1	3,7	1,6	0,6
$\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$	68,5	57,5	59,5	72	73,2	71,7	72,1	35,7	14,5	8,6
$\text{MnO}$	0,11	0,39	9,91	0,14	1,98	0,83	1,08	0,57	0,12	0,1
$\text{MgO}$	0,26	0,41	0,21	0,46	0,74	0,42	1,14	18,5	32,3	35,9
$\text{CaO}$	0,01	0,22	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,02	0,28
$\text{Na}_2\text{O}$	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
$\text{K}_2\text{O}$	0,01	0,01	0,18	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01
$\text{P}_2\text{O}_5$	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
$\text{Co}_3\text{O}_4$	0,05	0,04	1,02	0,03	0,28	0,1	0,17	0,1	0,02	0,01
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	3,53	2,88	1,63	2,92	2,44	2,54	3,58	2,04	0,74	0,39
$\text{NiO}$	0,93	0,54	2,2	1,04	0,95	1,62	1,37	2,81	2,37	1,69
PF. (1000°C)	14	15,5	14,4	12,6	10,8	13,7	10,4	11,5	12,3	11,5
(contenido en $\mu\text{g.g}^{-1}$ )										
Ba	43	<40	3407	<40	45	<40	<40	239	<40	<40
Cu	132	63	168	123	93	101	75	70	39	<20
V	427	520	467	416	326	444	365	249	<30	<30
Zn	234	175	336	262	220	339	328	775	92	52

Tabla 2. Composición química del perfil M-47 del yacimiento Punta Gorda

Componentes	Muestras (Contenido en g/kg)							
	Mn17	Mn8	Mn18	Mn9	Mn19	Mn10	Mn11	Mn20
SiO <sub>2</sub>	1,6	1,9	1,9	1,8	2	1,9	39,2	39,4
TiO <sub>2</sub>	0,35	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,7	7,2	8,6	7,3	8,3	6,2	2,6	0,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	66,9	72,8	71,6	72,8	70,3	74,3	9,0	8,9
MnO	0,36	1,35	0,56	0,79	1,59	0,89	0,11	0,09
MgO	0,51	0,47	0,74	0,75	0,55	0,62	34,1	36,6
CaO	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,11	0,02
Na <sub>2</sub> O	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
K <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,02	0,34	0,06	0	0,32	0,16	0,01	0,01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,08	2,52	2,62	2,74	2,71	2,53	0,43	0,53
NiO	0,74	1,22	1,14	1,4	1,19	1,29	1,43	0,32
P.F. (1000°C)	12,6	11,9	12,5	12,1	12,9	11,8	12,9	13,2
(contenido en µg.g <sup>-1</sup> )								
Ba	<40	44	<40	49	<40	<40	<40	122
Cu	108	144	132	138	58	92	<20	30
V	374	409	365	365	421	414	<30	<30
Zn	218	491	309	442	470	430	52	55

En ambos perfiles, en el horizonte de serpentinita inalterada se obtuvieron contenidos de sílice de alrededor del 40 %; en el horizonte alterado del perfil L-48 se encontró menos sílice y más hierro debido a su mayor grado de alteración laterítica.

En el horizonte de ocre medio del perfil L-48 los contenidos de manganeso y cobalto tienen una alta concentración en un material de color amarillo pardusco oscuro con 9,9 % de MnO y 1,02 % de Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (muestra Mn3); hacia la parte inferior este horizonte cambia a rojo pardusco, con contenidos de 1,98 % de MnO y 0,28 % de Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (muestra Mn14).

El perfil M-47 tiene también en el horizonte de ocre medio un material amarillo pardusco con porciones de color negro, con 1,35 % de MnO y 0,34 % de  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (muestra Mn8). Próximo al ocre inferior se distingue un material amarillo, ligeramente pardusco, con 1,59 % de MnO y 0,32 % de  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (muestra Mn19).

La distribución del níquel en ambos perfiles fue similar a la reportada para otros yacimientos lateríticos (Zeissinki 1969; Brand *et al.* 1998; Gleeson *et al.* 2004). El cromo, como es conocido, se concentra hacia la parte superior de estos perfiles. De los elementos minoritarios, el calcio mostró contenidos importantes en el horizonte de ocre superior de ambos perfiles (0,2 %) y en el de serpentinita inalterada (0,3 %) del perfil L-48. Se reveló un contenido anómalo de potasio en el horizonte de ocre medio (muestra Mn3) del perfil L-48 que puede estar asociado con los altos contenidos de manganeso, aluminio y cobalto (Tabla 1).

Se encontraron contenidos anómalos de elementos traza (bario y zinc) en las muestras enriquecidas en manganeso (Mn3 y Mn14) así como en la muestra Mn16, de la parte inferior del perfil L-48. En el perfil M-47 los valores máximos de estos elementos traza están también en muestras de alto contenido de manganeso y cobalto (Mn8 y Mn19).

### 3.3. Composición mineralógica

La zona laterítica del perfil L-48 está compuesta predominantemente por goethita [ $\alpha$  Fe O(OH)]; se encontró además gibbsita [ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ], principalmente, en la parte superior del perfil, así como hematita [ $\alpha$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ], maghemita [ $\gamma$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ] y cromita [ $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ]. Resultó notable la existencia de un material amarillo pardusco oscuro localizado en el horizonte de ocre medio e identificado como un óxido de manganeso, según los reflejos difractométricos: 0,958 nm; 0,475 nm; 0,323 nm y 0,244 nm (Figuras 5a y 5b).

Los termogramas de los horizontes de ocres (Figura 6) exponen tres picos endotérmicos notables: uno alrededor de los 68 °C provocado por la pérdida de agua no estructural, lo que evidencia una humedad elevada en estas muestras; otro pico entre los 300 y 350 °C atribuible a la deshidroxilación de la goethita como fase mineralógica predomi-

nante; el tercer pico endotérmico, próximo a los 473 °C, se hace significativo en la muestra rica en manganeso (Mn3) y se atribuye al proceso de oxidación de la fase de Mn.

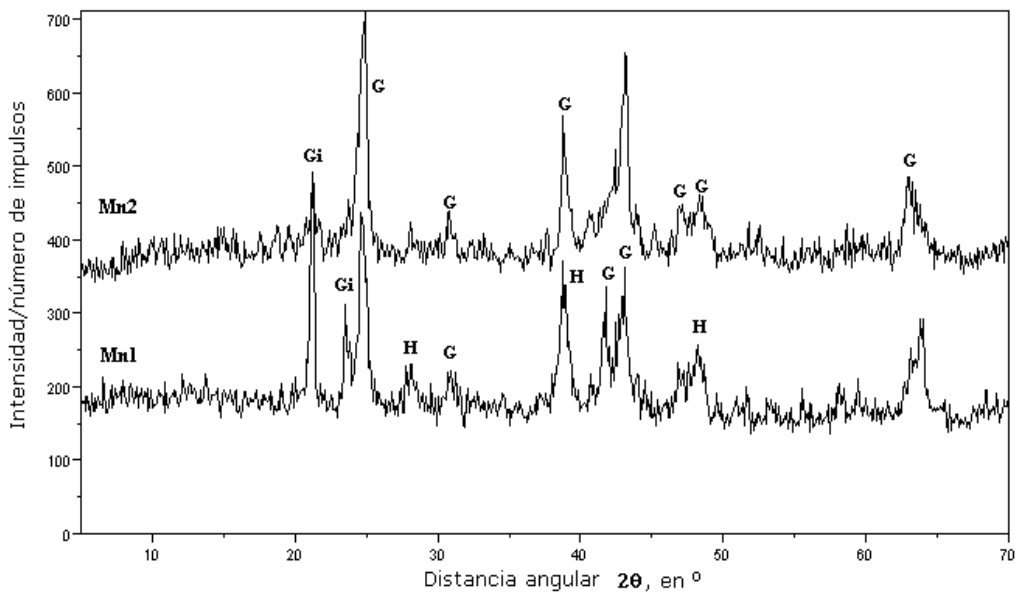


Figura 5a. Difractogramas de la zona laterítica del perfil L-48. Mn1: concreciones ferruginosas y Mn2: ocre superior. Minerales: G: goethita; H: hematita; Gi: gibbsita.

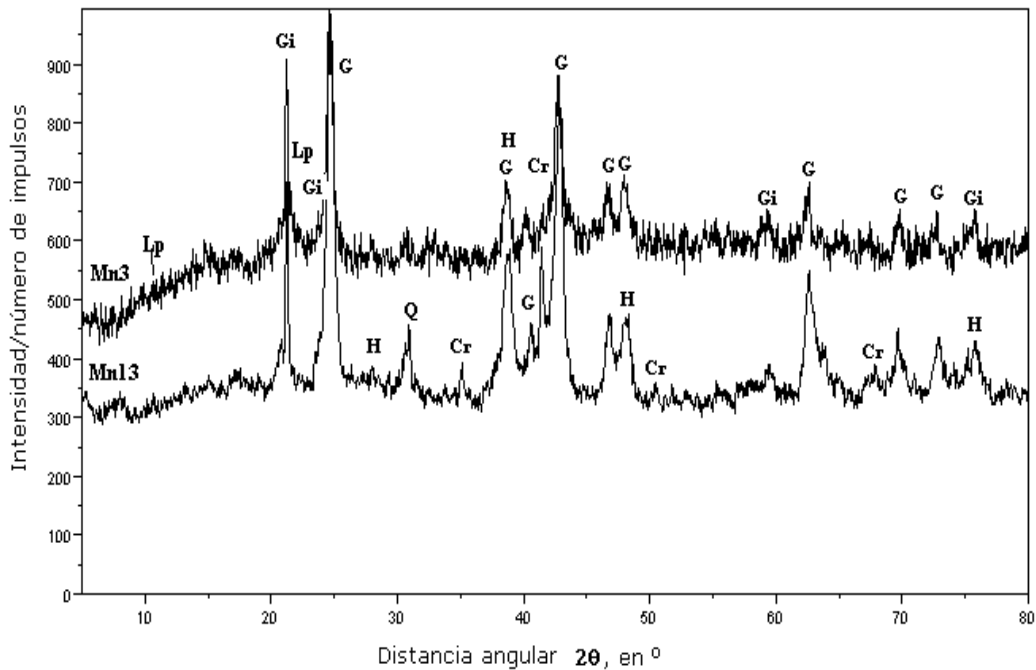


Figura 5b. Difractogramas del horizonte de ocre medio del perfil L-48. Minerales: G: goethita; H: hematita; Lp: litioforita; Cr: cromita; Gi: gibbsita.

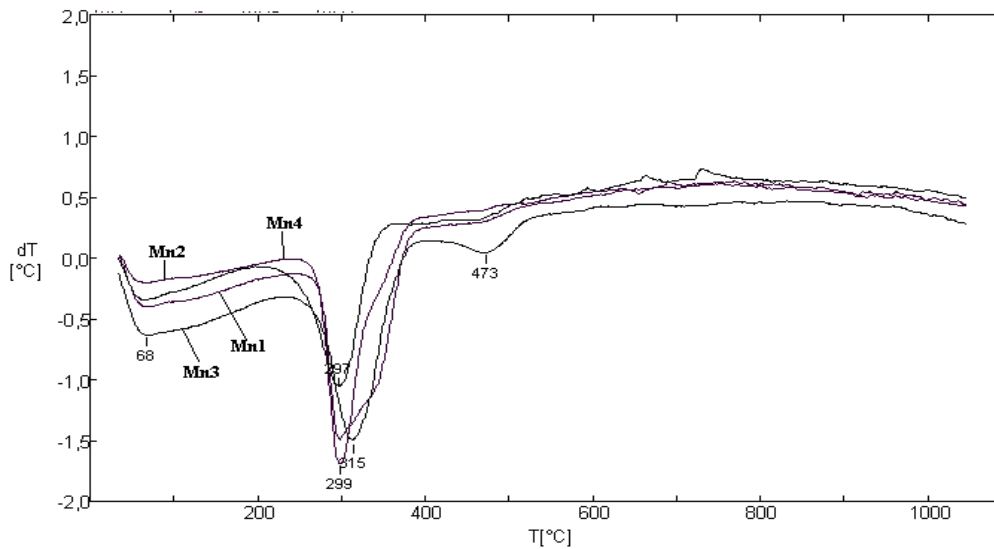


Figura 6. Termogramas de la zona laterítica del perfil L-48. Mn1: muestra de concreciones ferruginosas. Mn2: muestra del ocre superior. Mn3: muestra de ocre medio. Mn4: muestra de ocre inferior.

En la zona silicatada del perfil L-48 (Figura 7) predominó la fase de lizardita  $[(Mg, Ni)_6(Si_4O_{10})(OH)_8]$  y la enstatita  $[Mg_2(Si_2O_{10})]$ . Las curvas de ATD (Figura 8) revelan cierta cantidad de goethita en la serpentinita alterada (Mn5); se observan, además, picos endotérmicos entre 620 y 640 °C atribuibles a la deshidroxilación de los silicatos de magnesio del grupo de la serpentina. Se confirmó la presencia de enstatita por un pico endotérmico a los 714 °C y uno exotérmico entre los 820 y 830 °C, provocado por la recristalización de este mineral refractario.

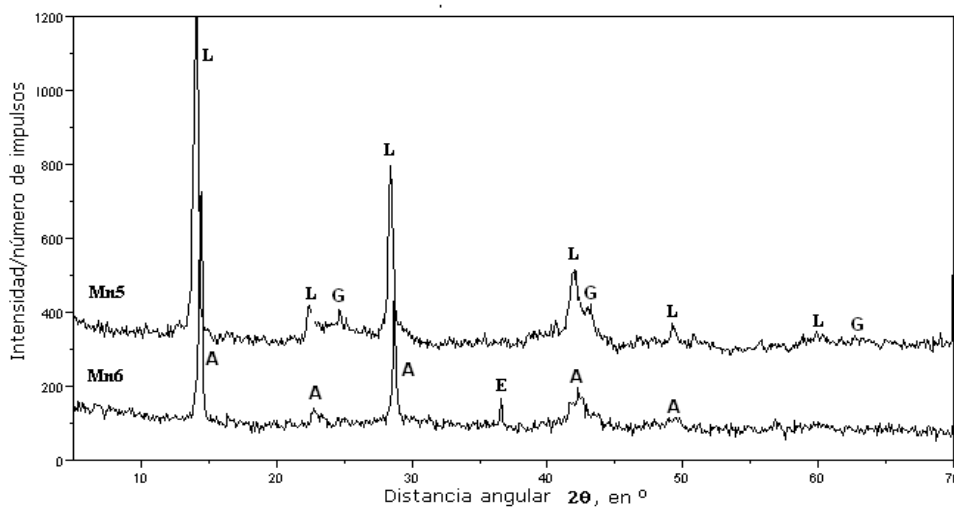


Figura 7. Difractogramas de la zona silicatada del perfil L-48. Muestras Mn5: serpentinita alterada y Mn6: serpentinita inalterada. Minerales: G: goethita; L: lizardita; A: antigorita; E: enstatita.

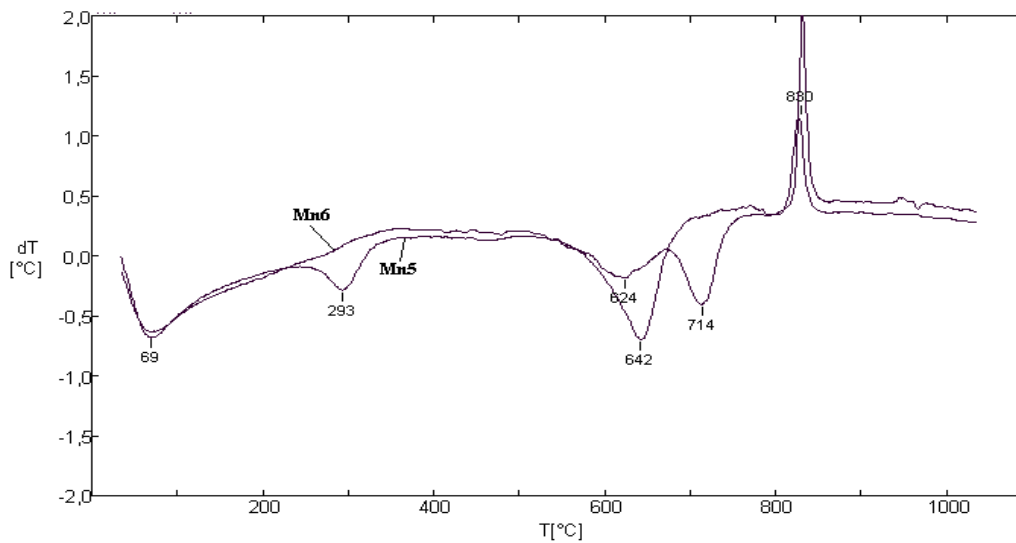


Figura 8. Termogramas de la zona silicatada del perfil L-48. Muestras: Mn5: horizonte de serpentinitas alteradas. Mn6: horizonte de serpentinitas no alteradas.

La zona laterítica en ambos perfiles mostró una composición similar; en ella la fase de óxidos de manganeso está en menor cantidad y se identificó como litioforita, según los reflejos: 0,471 nm; 0,953 nm y 0,338 nm en la muestra más enriquecida (Figuras 9a y 9b). Térmicamente se confirmó la presencia de goethita (Figura 10) y a los 452 °C la oxidación de la fase de manganeso.

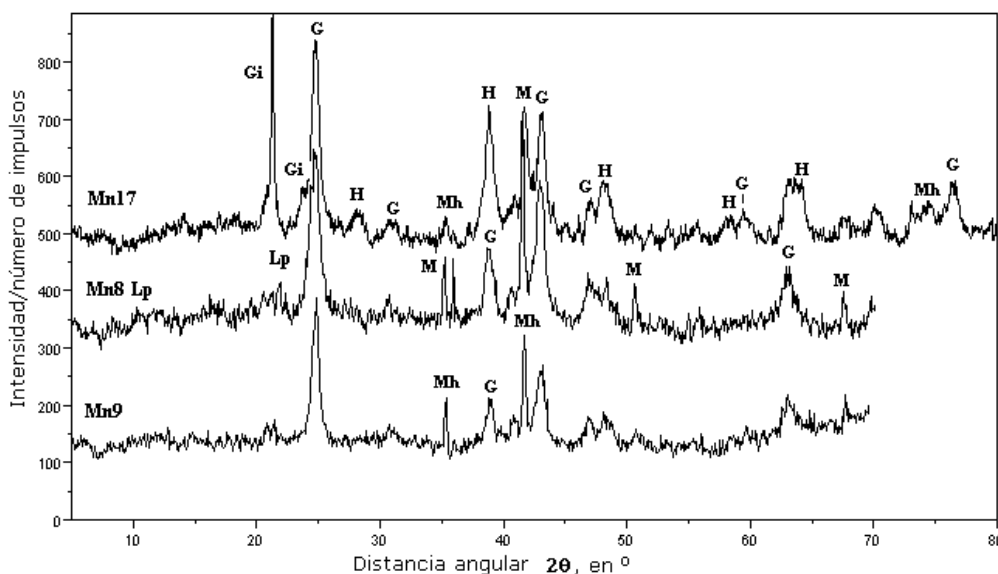


Figura 9a. Difractogramas de los horizontes de ocre superior (Mn17), a ocre medio (Mn8 y Mn9) de la zona laterítica del perfil M-47. Minerales: G: goethita; H: hematita; Lp: litioforita; M: magnetita; Mh: maghemita.

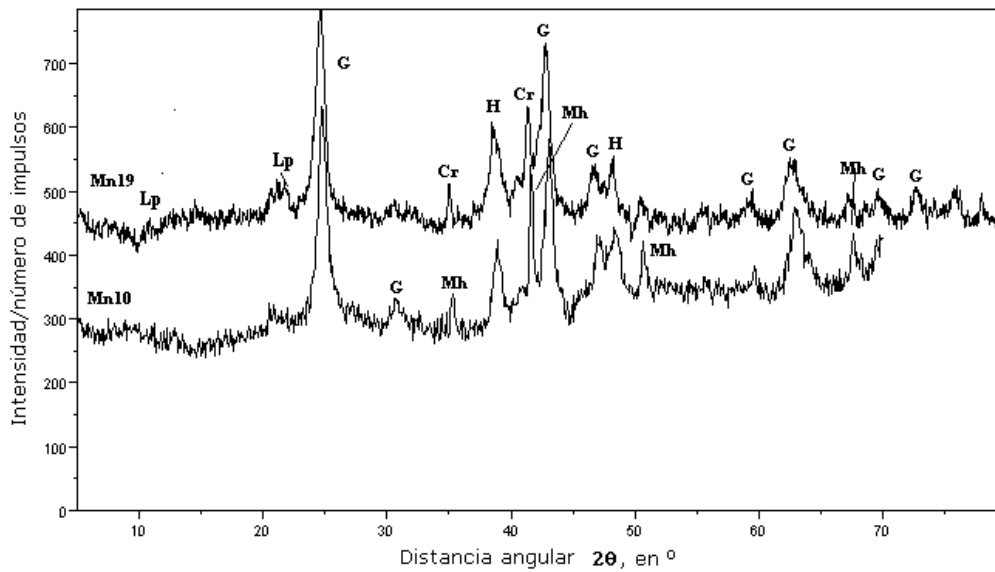


Figura 9b. Difractogramas de los horizontes de ocre medio (Mn19) a inferior (Mn10) de la zona laterítica del perfil M-47. Minerales: G: goethita; H: hematita; Lp: litioforita; Cr: cromita; Mh: maghemita.

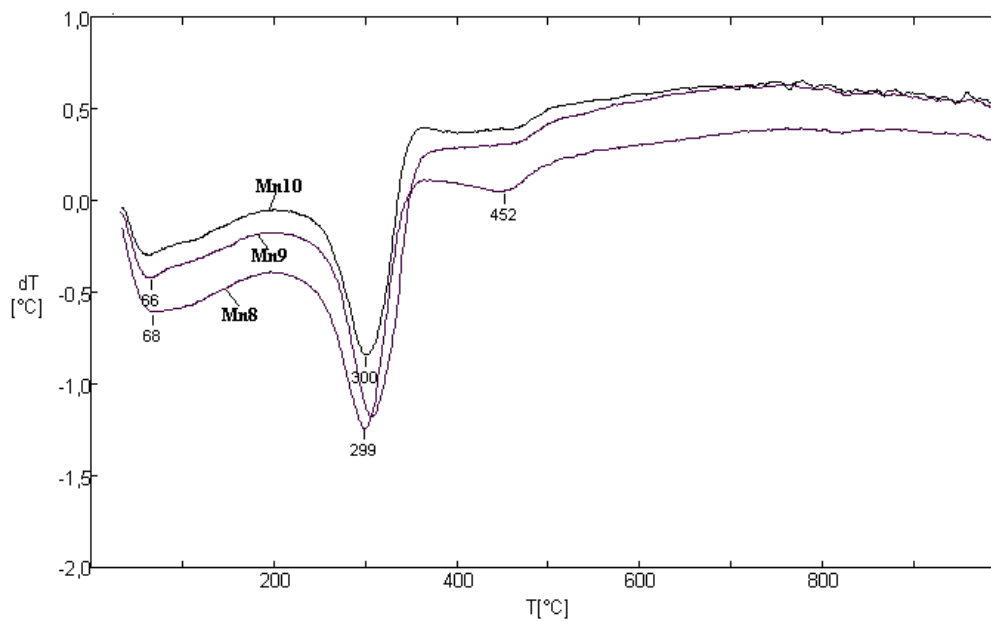


Figura 10. Termogramas de la zona laterítica del perfil M-47 según los horizontes de ocre medio (Mn8 y Mn9) y ocre inferior (Mn10).

La zona silicatada del perfil M-47 se compone principalmente de anti-gorita  $[Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8]$ . Los termogramas (Figura 12) confirmaron la deshidroxilación de la serpentina a los 641 °C y la cristalización del olivino o enstatita a los 828 °C.



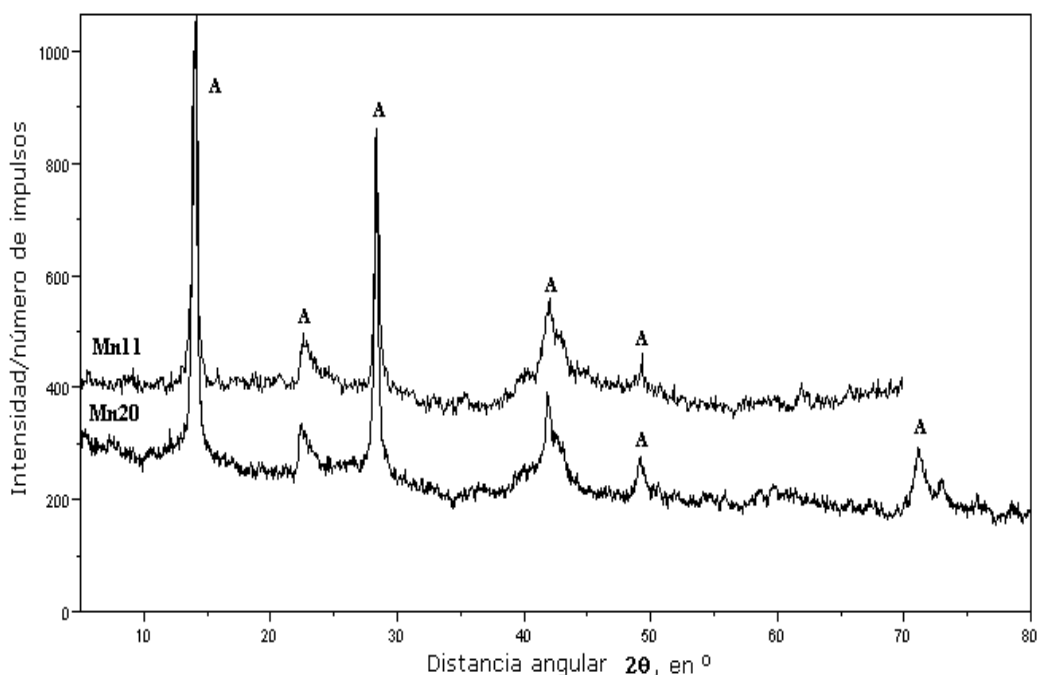


Figura 11. Difractogramas de la zona silicatada del perfil M-47. Minerales: A: antigorita.

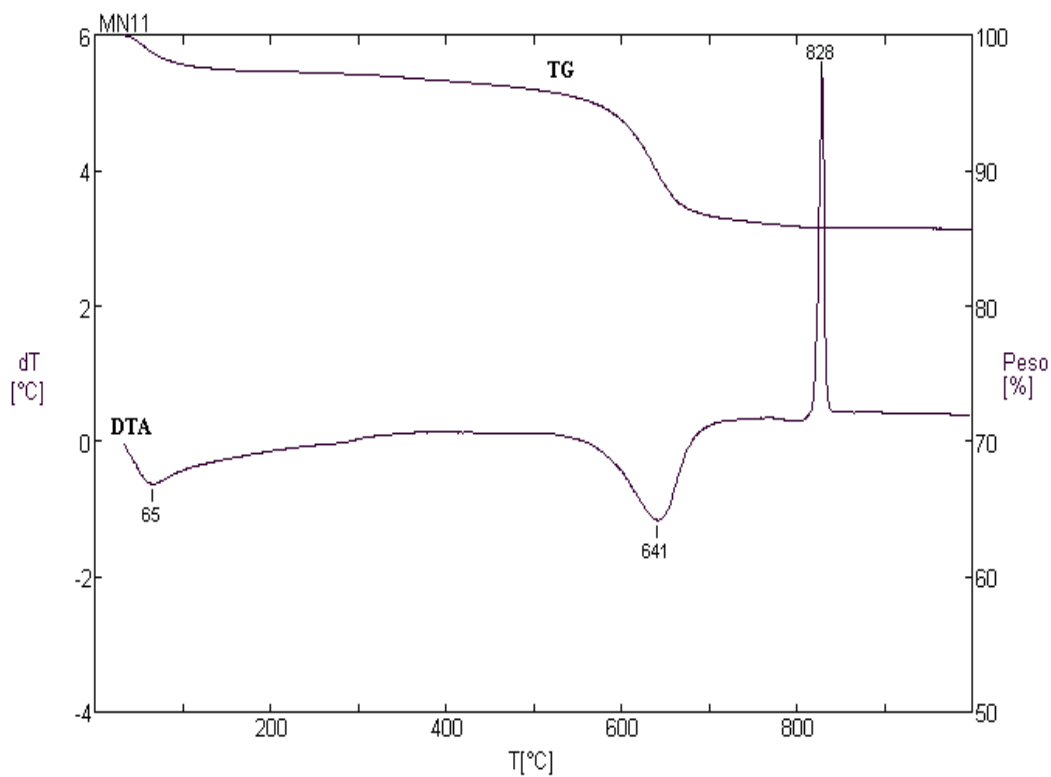


Figura 12. Termograma de la muestra Mn11 de la zona silicatada del perfil M-47. DTA: curva de análisis térmico diferencial, TG: curva termogravimétrica.

En el yacimiento Punta Gorda, el manganeso se concentra en el horizonte de ocre medio de los perfiles lateríticos (Figuras 13a y 13b). En ese horizonte existen dos porciones enriquecidas en manganeso: una hacia su parte superior (muestras Mn3 y Mn8), compuesta de un material ocroso, de color pardusco a negro, que aloja el mayor contenido de manganeso; la otra, en la parte inferior (muestras Mn14 y Mn19) está compuesta de un ocre amarillo pardusco (Figura 14).

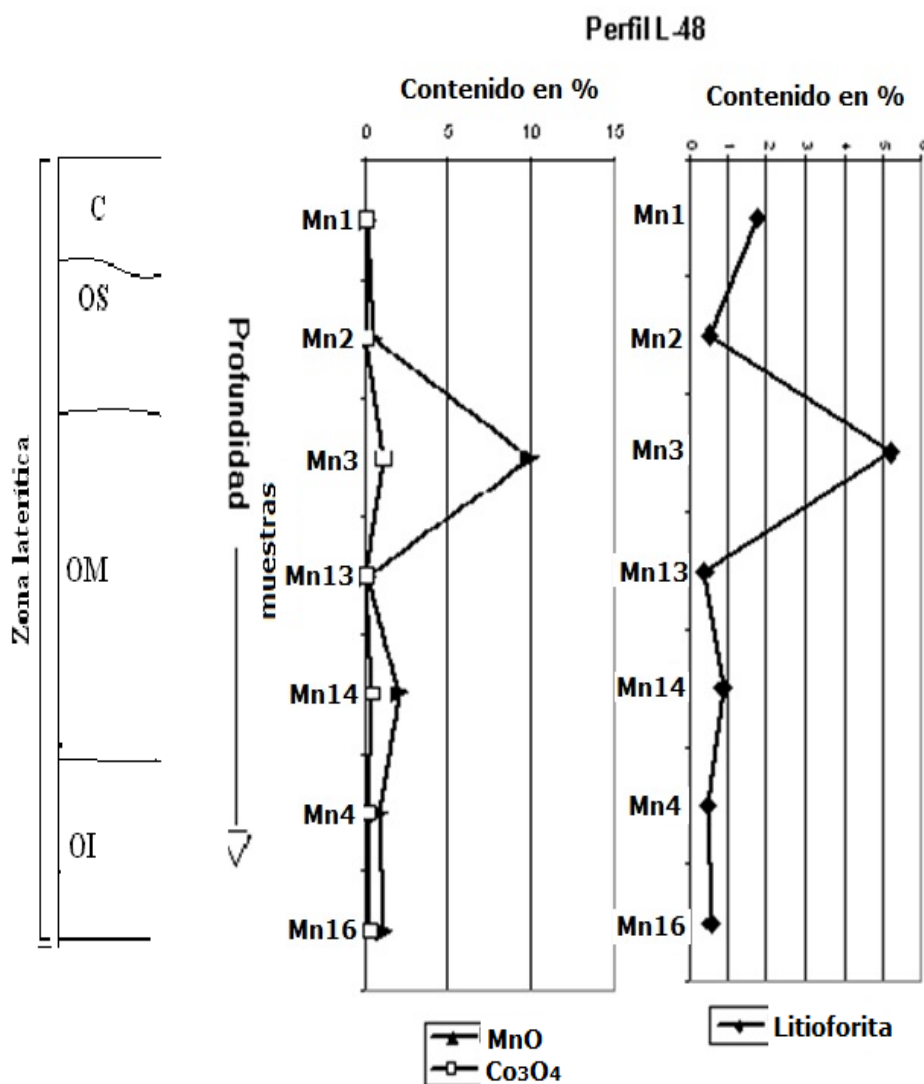


Figura 13a. Distribución de la litoiorita y los contenidos de Mn y Co en la zona laterítica del perfil L-48 del yacimiento Punta Gorda. Observaciones: Horizontes: C: concreciones ferruginosas; OS: ocre superior; OM: ocre medio; OI: ocre inferior.

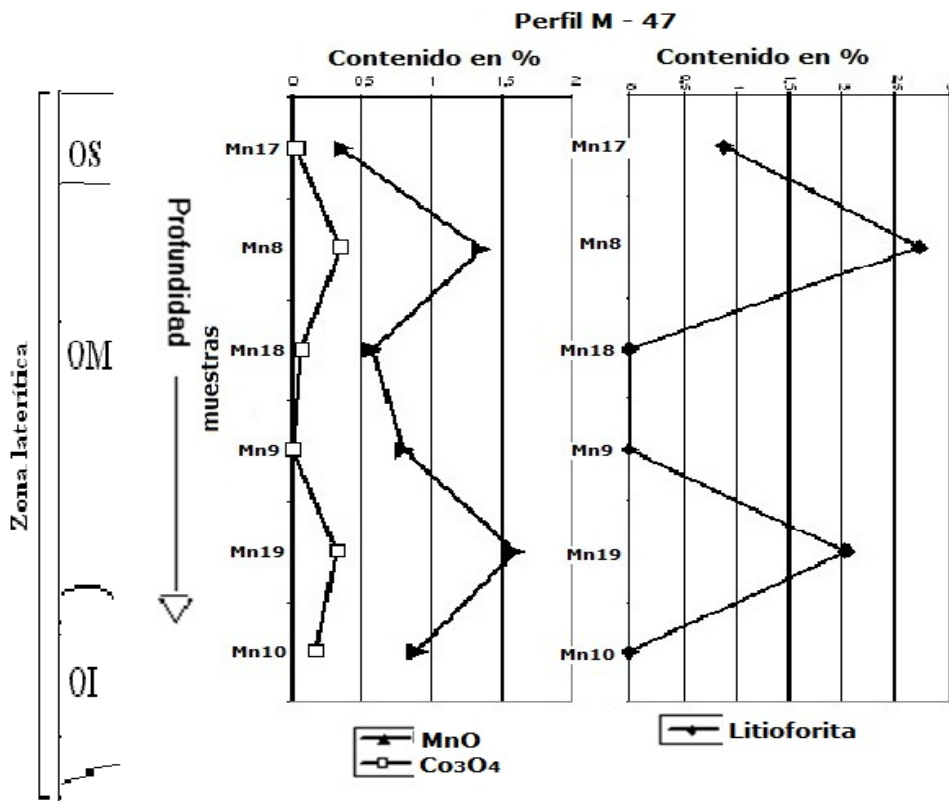


Figura 13b. Distribución de la litioforita y los contenidos de Mn y Co en la zona laterítica del perfil M-47 del yacimiento Punta Gorda. Observaciones: Horizontes: OS: ocre superior; OM: ocre medio; OI: ocre inferior.



Figura 14. Muestras enriquecidas en manganeso del yacimiento Punta Gorda, Moa. Mn3 y Mn14 del perfil L-48; Mn8 y Mn19 del perfil M-47.

El óxido de manganeso identificado en el material ocreo anteriormente descrito fue litioforita  $[(Al, Li) MnO_2 (OH)_2]$ , como lo evidencia la Figura 15. Este mineral se concentra en la fracción medianamente gruesa Fg3 (-0.83 +0.417 mm) y alcanza su contenido más alto en el perfil L-48. Mediante MEB se pudo establecer el hábito hexagonal del grano de litioforita (Figura 16) y un contenido de manganeso entre 53 y 84 % (Tabla 3).

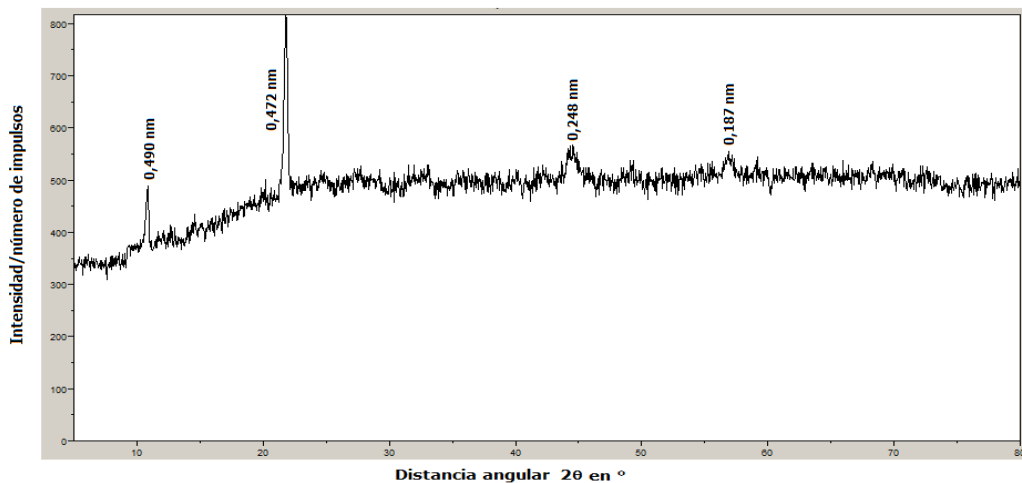


Figura 15. Diffractograma de la fracción de muestra enriquecida en litioforita (Lp3) de la zona laterítica del yacimiento Punta Gorda, Moa.

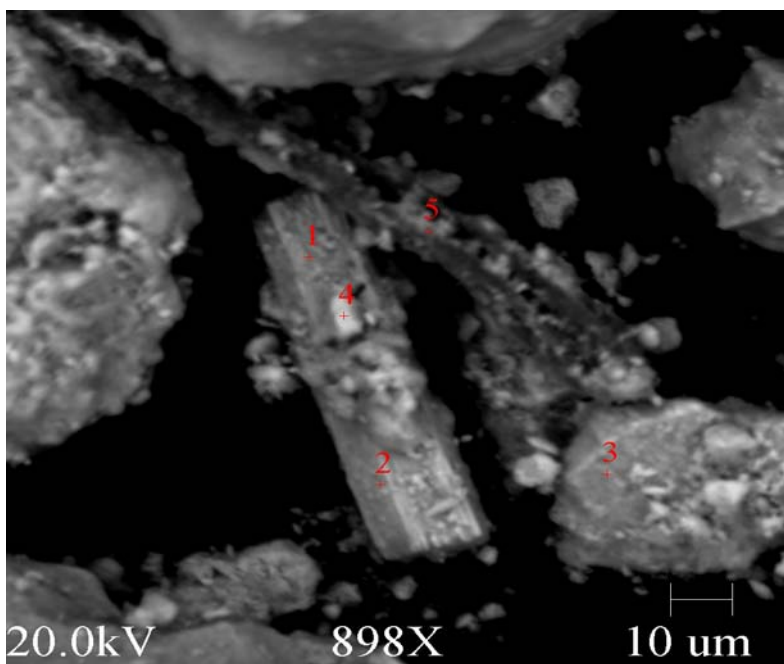


Figura 16. Fotomicrografía por MEB de la fracción granulométrica Fg3 de la muestra Mn3, con grano de hábito hexagonal de litioforita, con inclusión de goethita (punto 4). En el punto 5, se localiza un grano de aspecto fibroso (goethítico-gibbsítico), enriquecida en Mn.

Tabla 3. Composición química, según MEB, de fracción de ocre rica en manganeso del perfil laterítico L-48\*

Componente químico	Punto de análisis (contenido en %)				
	1	2	3	4	5
O	3,469	3,450	3,782	2,438	4,656
Mg	0,028	0,043	0,138	0,113	0,166
Al	1,260	0,243	1,751	1,764	7,375
Si	0,555	0,073	1,228	0,836	2,294
S	0,384	0,03	0,496	0,29	0,42
V	0,00	0,00	0,021	0,11	0,00
Cr	0,672	1,048	2,027	2,385	1,344
Mn	53,022	84,668	4,27	3,069	10,054
Fe	38,782	8,669	83,046	86,478	68,788
Co	0,479	1,087	1,083	0,731	1,566
Ni	1,150	0,525	1,921	1,517	2,796
Ba	0,198	0,164	0,238	0,269	0,541
Total	100	100	100	100	100

\*Nota: La fracción de ocre medio superior más enriquecida en manganeso es la Mn3Fg3, fracción granulométrica: - 0,83 + 0,417 mm.

Los espectros IR de las fracciones ocrosas ricas en manganeso se caracterizan por presentar bandas de absorción típicas de la goethita: 796 y 902  $\text{cm}^{-1}$ ; se detectan, además, bandas a los 467 y 1 019  $\text{cm}^{-1}$  atribuibles a la presencia de litioforita (Figura 17). A los 1 619, 1 413 y 1 260  $\text{cm}^{-1}$  se obtuvieron bandas a las que no se ha podido atribuir aun las fases que las provocan.

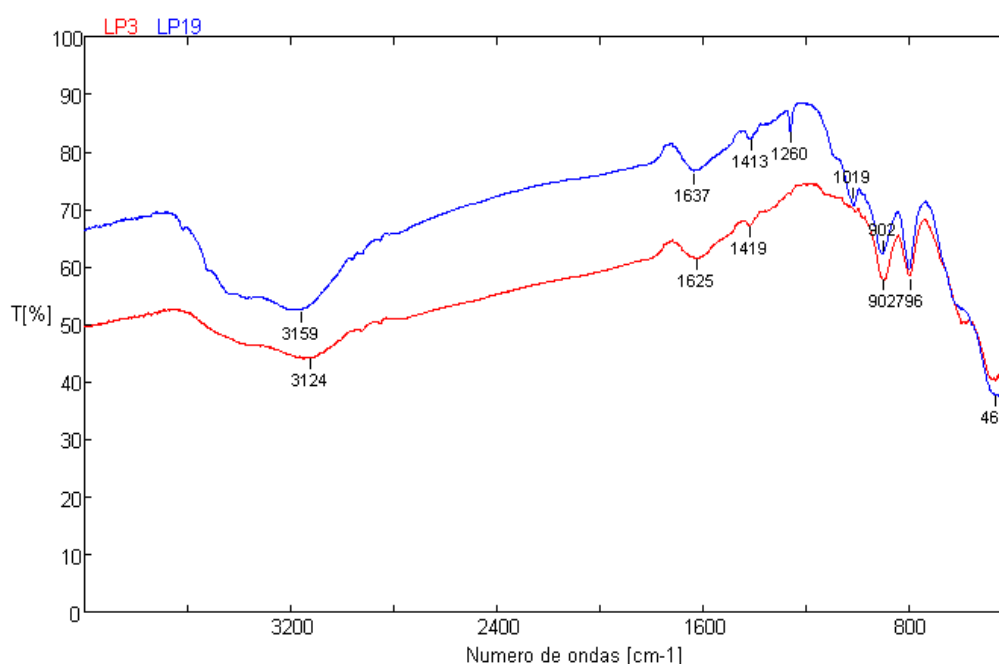


Figura 17. Espectros IR de fracciones de muestras enriquecidas en Mn, según las muestras Mn3 (Lp3) y Mn19 (Lp19).

La litioforita ha sido reportado en perfiles lateríticos por Manceau *et al.* (1987) en Nueva Caledonia, además en suelos de Japón (Tokashiki *et al.* 2003; Vidhana *et al.* 2004) y Brasil (Neaman *et al.* 2004) donde también aparece en poca cantidad y con baja cristalinidad, lo que exige un minucioso trabajo de preparación de muestras y el uso combinado de varias técnicas analíticas.

#### 4. CONCLUSIONES

En los horizontes lateríticos del yacimiento Punta Gorda el óxido de manganeso identificado es litioforita, la que aparece en forma de granos negros, con aspecto de botroidal a masivo, brillo semimetálico y carácter no magnético. Se encuentra en paragénesis con goethita, fundamentalmente, y en menor proporción con hematita, maghemita y gibosita y es de baja cristalinidad, característica avalada por un cuadro difractométrico incompleto y picos endotérmicos entre los 450 y 470 °C.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Loa autores desean agradecer a CAPES, por financiar y haber permitido la Beca Posdoctoral CAPES/MES-CUBA en la Universidad de Pará, Belem, Brasil. Además, a la Dra. Jacinta Enzweiler, del Instituto de Geociencias, Universidad Estadual de Campinas, Brasil, por su apoyo personal a esta investigación; a los geólogos del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba, por su cooperación con los trabajos de muestreo.

#### 6. REFERENCIAS

- ALMAGUER, A. & ZAMARSKY, V. 1993: Estudio de la distribución del Fe, Ni y Co en los tamaños de granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultrabásicas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralogía. *Minería y Geología* 10(2):17-23.
- BRAND, N. W.; BUTT, C. R. M. & ELIAS, M. 1998: Nickel laterites: classification and features. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics* 17:81-88.
- CHUKHROV, F. V.; GORSHKOV, A. I.; VITOSVKAYA, I. V.; DRITS, V. A.; SIVTSOV, A. I. & DIKOV, YU. P. 1980a: Crystallochemical nature of Ni asbolan. *Izvest. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol.* 9:108-120.

- CHUKHROV, F. V.; GORSHKOV, A. I.; VITOSVKAYA, I. V.; DRITS, V. A.; SIVTISOV, A. I. & RUDNITSKAYA, YE. S. 1980b: Crystallochemical nature of Co-Ni asbolan. *Izvest. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol.* AN SSSR, Ser. Geol. 6:73-81.
- CHUKHROV, F. P.; GORSHKOV, V. A. & DRITS, V. A. 1989: *Supergenic manganese hydrous oxides*. Nauka, Moscow, 208 p.
- DALVI, A. D.; BACON, W. G. & OSBORNE, R. C. 2004: The past and the future of nickel laterites. PDAC 2004. International Convention. Trade Show & Investors Exchange. March 7-10.
- DE CARVALHO-E-SILVA, MARIA LUIZA; RAMOS, ALINE YVETTE; TOLENTINO, HELIO CESAR NOGUEIRA; ENZWEILER, JACINTA; NETTO, SILVANIA MARIA; MARTINS ALVES, MARIA DO CARMO. 2003: Incorporation of Ni into natural goethite: an investigation by X-ray absorption spectroscopy. *American Mineralogist*, 88:876-882.
- DE CARVALHO-E-SILVA, M. L. M.; OLIVEIRA, S. M. B. 1995: As fases portadoras de níquel do minério laterítico de níquel do vermelho, Serra dos Carajas (PA). *Revista Brasileira de Geociências* 25:69-78.
- GALÍ, S.; PROENZA, J. A.; LABRADOR, M.; MELGAREJO, J. C.; TAULER, E.; MUÑOZ-GÓMEZ, N.; ROJAS-PURÓN, A. & OROZCO-MELGAR, O. 2006: Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos tipo óxido: yacimiento Punta Gorda (Cuba Oriental). *Macla* 6:197-199.
- GLEESON, S. A.; HERRINGTON, R. J.; DURANGO J.; VELÁSQUEZ, C. A. & KOLL, G. 2004: The Mineralogy and Geochemistry of the Cerro Matoso S.A. Ni Laterite Deposit, Montelíbano, Colombia. *Economic Geology* 99:1197-1213.
- GLEESON, S. A.; BUTT, C. R. M. & ELIAS, M. 2003: Nickel laterites: A Review. *SEG Newsletter* 54:11-18.
- GUEST, CHRISTOPHER; DARRELL, A.; SCHULZE, G. & IAN, A. 2002: Thompson and Don M. Huber. Correlating Manganese X-Ray Absorption Near-Edge Structure Spectra with Extractable Soil Manganese. Division S-2—Soil Chemistry. *Soil Science Society of America Journal* 66:1172-1181.
- HETTIARACHCHI, G. M. & PIERZYNSKI, G. M. 2002: In Situ Stabilization of Soil Lead Using Phosphorus and Manganese Oxide: Influence of Plant Growth. *J. Environ. Qual.* 31:564-572.

- HETTIARACHCHI, G. M.; PIERZYNSKI, G. M.; OEHME, F. W.; SONMEZ, O. & RYAN, J. A. 2003: Treatment of Contaminated Soil with Phosphorus and Manganese Oxide Reduces Lead Absorption by Sprague-Dawley Rats. *J. Environ. Qual.* 32:1335-1345.
- ITURRALDE-VINENT, M. A. 1996: Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution No 1. 154 p.
- KUNHEL, R. A.; ROORDA, H. J.; STENMAS, J. J. S. 1978: Distribution and partition of elements in nickeliferous laterites. *Bulletin du B.R.G.M. section 2* (3):191-206.
- LABRADOR, M.; PROENZA, J. A.; GALÍ, S.; MELGAREJO, J. C.; TAULER, E.; ROJAS-PURÓN, A.; MUÑOZ-GÓMEZ, N. & RODRÍGUEZ-VEGA, A. 2006: Minerales de Mn-Co-Ni en las lateritas de Cuba Oriental: resultados preliminares. *Macla* 9:281-284.
- LAVAUT, W. 1998: Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental. *Minería y Geología* 15 (1):9-16.
- LIU, F.; COLOMBO, C.; ADAMO, P.; HE, J. Z. & VIOLANTE, A. 2002: Trace Elements in Manganese-Iron Nodules from a Chinese Alfisol. Division S-9—Soil Mineralogy. *Soil Science Society of America Journal* 66:661-670.
- MANCEAU, A.; LLORCA, S. & CALAS, G. 1987: Cristal chemistry of Co and Ni in lithiophorite and asbolane from New Caledonia. *Geochemica and Cosmo-chimica Acta* 51(1):105-113.
- MANCEAU, A.; GORSHKOV, A. I. & DRITS, V. A. 1992: Structural chemistry of Mn, Fe, Co and Ni in manganese hydrous oxides: Part I. Information from XANES spectroscopy. *Am. Mineral* 77:1173-1144.
- MANCEAU, ALAIN; DRITS, VICTOR; BARTOLI, SILVESTER; EWEN, CELINE & LANSON, BRUNO. 1997: Structural mechanism of Co (super 2+) oxidation by the phyllomanganate buserite. *American Mineralogist* 82:1150-1175.
- MANCEAU, A.; TAMURA, N.; MARCUS, M. A.; MACDOWELL, A. A., CELESTRE, R. S.; SUBLETT, R. E.; SPOSITO, G. & PADMORE, H. A. 2002: Deciphering Ni sequestration in soil ferromanganese nodules by combining X-ray fluorescence, absorption and diffraction at micrometer scales of resolution. *Am. Mineral* 87:1494-1499.
- NEAMAN, A; MOUELE, F; TROLARD, F & BOURRIE, G. 2004: Improved methods for selective dissolution of Mn oxides: applications for studying trace element associations. *Applied Geochemistry* 19:973-979.



- NEGRA, CHRISTINE; DONALD, ROSS & ANTONIO LANZIROTTI.** 2005: Soil Manganese Oxides and Trace Metals: Competitive Sorption and Microfocused Synchrotron X-ray Fluorescence Mapping. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:353-361.
- OLIVEIRA, S. M. B; DE MOYA PARTINI, C. S. & ENZWELIELER, J.** 2001: Ochreous laterite: a nickel ore Punta Gorda, Cuba. *Journal South American Earth Science* 34:307-317.
- PIZZIGALLO, M. D. R.; RUGGIERO, P.; CRECCHIO, C. & MININNI, R.** 1994: Manganese and Iron Oxides as Reactants for Oxidation of Chlorophenols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:444-452.
- PROENZA; J. A.; TAULER, E.; MELGAREJO, J. C.; GALI, S.; LABRADOR, M.; MARRERO, N.; PEREZ-NELO, N.; ROJAS-PURON, A. L. & BLANCO-MORENO, J. A.,** 2007. Mineralogy of oxide and hydrous silicate Ni-laterite profiles in Moa Bay area, northeast Cuba. In: Andrew, C.J., et al. (Ed.), *Mineral Exploration and Research: Digging Deeper*, 2. Irish Association of Economic Geology 1389-1392.
- PROENZA, J.; MELGAREJO, J. C.; GERVILLA, F.; LAVAUT, W. & RODRÍGUEZ, G.** 1998: Cromititas podiformes en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). *Acta Geológica Hispánica* 33:153-177.
- QUANTIN, C.; BECQUER, T.; ROUILLER, J. H. & BERTHELIN, J.** 2002: Redistribution of Metals in a New Caledonia Ferralsol After Microbial Weathering. Division S-2—Soil Chemistry. *Soil Science Society of America Journal* 66:1797-1804.
- QUINTANA-PUCHOL, R.** 1985: Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento Moa: análisis fásico-mineralógico. *Minería y Geología* 3(1):94-104.
- RODRÍGUEZ, JOELIS; Ileana Cabrera; José A. Alonso; Bárbara Martín.** 2001: Acerca del primer hallazgo del mineral ernieniquelita  $NiMn_3O_7 \cdot 3H_2O$  en Cuba. En: Convención Metánica. La Habana, Cuba, julio.
- ROJAS-PURON, A. L.** 2001: Evidencias a favor de que la goethita es la principal portadora de níquel en los horizontes lateríticos de las cortezas ferroniquelíferas. *Minería y Geología* 18(3-4):21-31.
- ROQUÉ-ROSELL, J.; MOSSELMANS J. F. W; PROENZA, J. A; LABRADOR, M; GALÍ, S.; ATKINSON, K. D. & QUINN, P. D.** 2010: Sorption of Ni by "lithiophorite-asbolane" intermediates in Moa Bay lateritic deposits, eastern Cuba. *Chemical Geology* 275:9-18.

- SCHELLMANN W.** 1978: Behaviour of Nickel, Cobalt and Chromium in ferruginous lateritic Nickel Ores. Section Geologie Appliqueé *Chimique des Mines Bulletin du B.R.G.M.* 2(3):275-282.
- SOBOL, S. I.** 1968: Composición de las lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación de minerales por ácidos sulfúrico en autoclaves. *Revista Tecnológica* 5-6:17-23.
- TOKASHIKI, Y.; HENTONA, T.; SHIMO, M. & VINDHANA ARACHCHI, L. P.** 2003: Improvement of the Succesive selective dissolution procedure for the separation of birnessite, lithiophorite, and goethite in soil manganese nodules. División S-5- Pedology. *Soil Science Society American Journal* 67:837-843.
- VERA-SARDIÑAS, L. O.** 2001: *Procedimiento para la determinación de las redes racionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa.* Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 111 p.
- VIDHANA, L. P. & TOKASHIKI, Y.** 2004: Mineralogical characteristics and micromorphological observations of brittle soft Fe/Mn concretions from Okinawan soils. *Clays and Clay Mineral* 52 (4):462-472.
- VOSKRESENSKAYA, N. & CORDEIRO, C.** 1986: Hallazgo de elizabetinskita en las formaciones ocrosas de la corteza de intemperismo del yacimiento Levisa, Holguín. *Minería y Geología* 4(3):53-62.
- ZEISSINKI, H. E.** 1969: The mineralogy and geochemistry of a nickeliferous laterite profile (Greenvale, Queensland, Australia), *Mineralium Deposita* 4:132-152.

**Arturo Rojas-Purón**

Profesor Auxiliar. Doctor en Ciencias Geológicas.  
Departamento de Geología del ISMM, Moa, Holguín, Cuba.

[artrojaspuron@ismm.edu.cu](mailto:artrojaspuron@ismm.edu.cu)

**Rômulo Simões-Angélica**

Profesor Titular. Doctor en Ciencias Geológicas. Departamento  
de Petrología y Geoquímica, Centro de Geociencia de la  
Universidad Federal de Pará, Belem, Brasil

[angelica@ufpa.br](mailto:angelica@ufpa.br)

**Gerardo Orozco-Melgar**

Profesor Titular. Doctor en Ciencias Geológicas.  
Departamento de Geología del ISMM, Moa, Holguín, Cuba.

[gavorozco@ismm.edu.cu](mailto:gavorozco@ismm.edu.cu)