

PRESENCIA DE ÓXIDOS DE MN EN PERFILES LATERÍTICOS DEL YACIMIENTO PUNTA GORDA, HOLGUÍN, CUBA

Arturo Rojas Purón ⁽¹⁾, **Rômulo Simões Angélica** ⁽²⁾, **Gerardo Orozco Melgar** ⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Geología del ISMM, Moa, Holguín, Cuba. E-mail: artrojaspuron@ismm.edu.cu

⁽²⁾Departamento de Petrología y Geoquímica, Centro de Geociencia de la Universidad Federal de Pará, Belem, Brasil. E-mail: angelica@ufpa.br

RESUMEN

Se determina la presencia de óxidos de Mn en dos perfiles lateríticos enriquecidos en manganeso del yacimiento de Punta Gorda en Moa, Cuba, empleando técnicas de Difracción de Rayos -X (DRX), Análisis Térmico Diferencial (ATD), Fluorescencia de Rayos -X (FRX) y Técnicas de Espectroscopía Infrarroja (IR). Donde se identifica a la litioforita como la forma mineralógica principal de presentarse los óxidos de manganeso que existe en estos perfiles lateríticos, definida según los reflejos difractométricos: 0,471 nm y 0,474 nm; 0,943 nm y 0,976 nm, y con una baja cristalinidad, según evidencian los termogramas con picos endotérmicos alrededor de los 500 °C. Las muestras manganíferas se localizan en el horizonte de ocre medio de estas cortezas, con contenidos de MnO de 1,98 hasta 9,9 % en el perfil más maduro (L-48), en tanto para el otro perfil (M-47) el material manganífero posee contenido de un 1,35 a 1,59 % de MnO.

INTRODUCCIÓN

Los depósitos lateríticos cubanos representan las mayores reservas de níquel en el Caribe (Dalvi y otros, 2004; Galí y otros, 2006). Estos yacimientos son mayoritariamente de tipo óxido (Brand y otros, 1998; Gleeson y otros, 2003), donde el yacimiento Punta Gorda es uno de los principales (Figura 1), formado a partir de rocas básicas y ultrabásicas pertenecientes al macizo ofiolítico Moa-Baracoa, (Iturralde Vinent, 1996; y otros, 1998, Lavaut, 1998). En él han sido detectados contenidos apreciables de manganeso y cobalto (Vera, 2001) que llevan a la necesidad de conocer las formas mineralógicas de los óxidos de manganeso en estos perfiles lateríticos.

Los óxidos de manganeso han sido reconocidos como importantes colectores de microelementos (Co, Ni, Cu y Zn), donde los aspectos mineralógicos relacionados con la presencia y distribución de estos metales resultan de una gran utilidad en la solución de muchos problemas tanto tecnológicos (Manceau y otros, 1992), como en los suelos (Liu y otros, 2002; Quantin y otros, 2002; Negra y otros, 2005) y las plantas (Guest y otros, 2002).

Además se le reportan otros usos como el efecto estabilizador que pueden tener los óxidos de Mn en los suelos contaminados por el plomo (Hettiarachchi y otros, 2002; Hettiarachchi y otros, 2003) y en la disminución de la concentración de los clorofenoles, altamente tóxicos, en los sistemas naturales (Pizzigallo y otros, 1994).

Efectos negativos también ocasionan los óxidos de Mn, como es el caso de su influencia en el estado de oxidación del Cr en los suelos, de una forma estable Cr³⁺ a formas móviles más tóxicas Cr⁶⁺ (Kim y otros, 2002; Weaver y Hochella, 2003).

Por otra parte, es necesario destacar el papel de fases minerales portadoras de Co, además de Ni, que desempeñan los óxidos de Mn en los perfiles lateríticos (Sobol, 1968; Manceau y otros, 2002; Labrador y otros, 2006), debido a la interacción que existe entre los óxidos de manganeso y el cobalto en la superficie terrestre, como resultado de la oxidación del Co²⁺ a Co³⁺ para formar especies menos solubles, con la consecuente reducción de los iones Mn⁺³ o Mn⁺⁴ a Mn⁺² de especies más solubles (Manceau y otros, 1997).

El estudio mineralógico de los óxidos de Mn en los perfiles lateríticos resulta difícil por la baja cristalinidad y poca cantidad en que se encuentran (Chukhrov y otros, 1989; Manceau y otros, 1992), lo que explica porque algunos investigadores a la hora de referirse a estas especies minerales la designen de forma genérica asbolitas (Oliveira y otros, 2001) o simplemente óxidos de manganeso (Quintana y otros, 1985; Laverov, 1985), sin definir sus formas mineralógicas.

La identificación de las formas mineralógicas de los óxidos de Mn en los perfiles lateríticos ha transitado conjuntamente con los estudios relacionados con las formas de distribución del Co y Ni en estos perfiles (Schellmann, 1978; Kunhel y otros, 1978; Oliveira y otros, 1990; Almaguer y Zamarsky, 1993), pero sin una definición plena de las fases minerales de Mn. Son los trabajos de Chukhrov y otros (1980a) y Chukhrov y otros (1980b) referido a las asbolanas de Ni y Co y Chukhrov y otros (1989) con los óxidos de Mn en condiciones hipergénicas, los que han podido establecer la presencia de fases minerales de manganeso. Donde Manceau y otros (1987) distinguen diferencias cristalógicas del Ni y Co en la litioforita y asbolana de Nueva Caledonia. Pero como lo exponen Manceau y otros (1992) estos tipos de minerales poseen una complejidad estructural propia de los minerales de baja temperatura, con defectos estructurales como resultado de una cristalización no equilibrada bajo la cinética y condiciones termodinámicas de la superficie terrestre, constituyendo una necesidad la identificación de las formas mineralógicas de estos óxidos de Mn como un importante primer paso para entender las condiciones y mecanismo de su formación.

En Cuba es Sobol (1968) quien valora inicialmente los óxidos de Mn presentes en los perfiles lateríticos, al estudiar la distribución del níquel y cobalto en los minerales de la pulpa limonítica, pero sin definir las fases de óxidos de Mn que portan estos metales. Lo mismo sucede cuando Quintana (1985) declara minerales de Mn, sin identificar la forma mineralógica de estas fases presente en el material laterítico de la mina Moa. Un estudio más detallado lo realizan Voskresenskaya y Cordeiro (1986) cuando identifican, en el material ocroso, a un óxido de Mn como elizabetinskita (muy parecida a la litioforita) en el yacimiento Levisa, Nicaro. Rodríguez y otros (2001) reportan la presencia de un óxido de Mn, en este caso identificado como ernieniquelita ($\text{NiMn}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) portador de níquel en el yacimiento San Felipe, Camagüey.

El presente trabajo pretende determinar la presencia y las formas mineralógicas de los óxidos de Mn en dos perfiles lateríticos enriquecidos en cobalto y manganeso, localizados al suroeste del yacimiento Punta Gorda de la región de Moa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Definición de la zona de estudio en el yacimiento Punta Gorda

Teniendo en cuenta la íntima asociación geoquímica que existe entre el Mn y el Co (Schellmann, 1978; Manceau y otros, 1992) resulta lógico emplear para la localización de los sectores más enriquecidos en manganeso aquellos que lo son para el cobalto. En este sentido los resultados de Vera (2001) permitieron establecer los sectores prospectivos para el estudio de las fases de óxidos de Mn, localizados al suroeste del yacimiento Punta Gorda, figura 2, dentro de los cuales se encuentran los perfiles de estudios L-48 y M-47, donde existen las mayores concentraciones de Co y por ende de Mn en el yacimiento Punta Gorda.

Vera (2001) valora la distribución del Fe, Ni y Co en la zona laterítica de estos perfiles, figura 3. El hierro como elemento predominante en esta zona se encuentra como promedio en un 37 %, alcanzando hasta un 50 % como máximo. En tanto el níquel se encuentra en un contenido promedio de 0.994 %, pudiendo alcanzar valores hasta de 1.6 %. El cobalto se presenta con contenidos entre 0.01 y 0.32 % en la zona laterítica de este yacimiento, con un contenido promedio de 0.08 %, donde puede alcanzar un máximo de 0.5 %.

Especialmente los contenidos más elevados de cobalto en la corteza se localizan hacia el extremo sur – suroeste del depósito (Vera, 2001), constituyendo este sector del yacimiento el más adecuado para la detección e identificación mineralógica de los óxidos de Mn, ubicándose dentro del mismo los perfiles lateríticos en estudio (Figura 2).

Materiales

Se estudiaron muestras de la corteza de intemperismo de dos perfiles lateríticos (L-48 y M-47) enriquecidos en manganeso del yacimiento Punta Gorda. En ambos perfiles, en sentido vertical, se reconocen dos zonas principales: **zona laterítica** a la que pertenecen los horizontes de concreciones ferruginosas (designada por C, correspondiente al escombro); ocre (se designan OS para el ocre superior, OM, para el ocre medio, OI, para el ocre inferior); y la **zona silicatada**, constituida por las serpentinitas alteradas (SA, saprolita) y serpentinitas duras (S), Figura 3. Ellos exhiben diferentes potencias de los horizontes lateríticos de acuerdo a la intensidad de la meteorización que han tenido, siendo el primero un típico perfil maduro (L-48), en tanto el segundo (perfil M-47) es representativo de uno menos maduro o inmaduro.

Métodos de Investigación

La separación granulométrica se realizó mediante la tamización por vía húmeda, empleando los tamices: 1,6; 0,83; 0,417; 0,074 y 0,045 mm. Para los análisis químicos se empleó un espectrómetro secuencial de Florescencia de Rayos X, Phillips PW 1480 utilizando radiación de rayos X con Rn tipo PW2182/00, con un régimen de 3000w y 100Kv al vacío con colimador fino. La microscopía óptica ordinaria se realizó con un microscopio binocular tipo TECHNIVAL, modelo AXIOLAB POL de la CARL ZEISS, valorándose las características físicas más sobresalientes de las muestras. La Difracción de Rayos – X según método policristalino utilizando el difractor de la PHILIPS, modelo PW 3710, con radiación de $\text{CuK}\alpha 1$. En el proceso de lectura e interpretación de los difractogramas se empleó los softwares APD (PHILIPS) y además se utilizó el Xpert HighScore 1b, 2002, con la base de datos de la ICDD (Internacional Center for Diffraction Data) de 1998. En 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 Ensayos Térmicos (ATD, TG, DTG, T) se ejecutaron con el modelo PL - STA Thermal Science, con analizador térmico simultáneo STA 1000/1500, de la Stanton Rederoff Ltd. Teniendo una velocidad de calentamiento de 20 °C/minuto, temperatura inicial y final variando de 25 °C a 1100 °C, respectivamente. En las Técnicas de Espectroscopía Infrarroja (IR) las muestras fueron preparadas con bromuro de potasio (KBr) como dispersante. Se empleó el espectrofotómetro modelo 1760 X FT-IR, de la Perkin Elmer, con registros de banda espectral de 4 000 a 400 cm^{-1} , con mediciones de cada 4 cm^{-1} . Los datos fueron obtenidos y procesados por el software Spectrum FT-IR 2.0, de la Perkin Elmer.

RESULTADOS

Granulometría

La granulometría del material laterítico de la corteza ferroniquelífera del yacimiento Punta Gorda se corresponde con la de otros perfiles lateríticos de la región de Moa (Rojas, 2001), en los cuales predomina la fracción de grano fino, menor de 0,045 mm, sobre todo en la parte superior del perfil que alcanza de un 50 a un 65 % en peso de la muestra, teniendo a la clase o fracción granulométrica medianamente gruesa (- 0,417 + 0,074 mm) como la segunda fracción en importancia en estos horizontes lateríticos representando de un 15 a un 25 % en peso, figura 4.

El material serpentinitico alterado (horizonte SA) de estos perfiles se compone principalmente por las clases granulométricas menor de 0,045 mm, y la más gruesa, mayor de 1,6 mm, representando cada una, aproximadamente, un 30 % en peso de la muestra. La clase

medianamente gruesa (+ 0,0417 – 0,074 mm) constituye la tercera fracción en importancia, representando 18 % en peso de la muestra.

La diferencia granulométrica principal entre el material laterítico y el serpentinitico, está en la proporción en que se encuentran en ellas la clase granulométrica más fina (menor de 0,045 mm) y las más gruesas (mayores de 0,83 mm). Así tenemos que en las lateritas, la más fina se encuentran entre un 50 a un 65 %, y en las serpentinitas alteradas está en un 30 %; en tanto las fracciones gruesas, en los ocre, están en el orden de un 5 a un 10 %, y en la saprolita es de un 29 % en peso.

Composición química de los perfiles lateríticos

La zona laterítica de los perfiles L-48 y M-47 está compuesta por materiales esencialmente ferrosos, con contenidos de Fe_2O_3 próximo a un 70 %; teniendo además como componente mayoritario el aluminio (alrededor de un 10 % de Al_2O_3). En estos ocre los contenidos de SiO_2 y MgO son bajos, encontrándose de 1 a 2 % el primero y de 0.2 a 0.4 % el segundo.

El perfil maduro (L-48) se diferencia del otro, en esta zona laterítica, por tener una variación más gradual del hierro hacia la parte inferior, y su mayor contenido de aluminio, que aumenta hacia la parte superior, donde llega alcanzar hasta un 20 % de Al_2O_3 .

En los horizontes inferiores de materiales silicatados, como era de esperar, abunda la sílice (35 a 41 % de SiO_2) y el magnesio (32 a 36 % de MgO). En esta zona inferior la variación del contenido de hierro tiene ciertas diferencias por perfil, pues en el perfil maduro disminuye más gradualmente, de un 70 % en el horizonte de ocre inferior, a un 35 y 14 % en el horizonte saprolítico, hasta un 9 % de Fe_2O_3 en la serpentinita dura. En tanto en el perfil menos maduro, tiene un contenido próximo al 70 % en el ocre inferior y bruscamente pasa a la zona silicatada con un contenido alrededor de un 9 %, lo que refleja una menor intensidad de la meteorización en este perfil. El aluminio disminuye su contenido en profundidad (8 a 6 % de Al_2O_3 en el ocre inferior hasta 0,6 % en las serpentinitas duras).

Estos son perfiles lateríticos con contenidos anómalos de manganeso y cobalto, sobre todo en el perfil maduro L-48, donde existe una apreciable concentración de estos metales en el horizonte de ocre medio. En este horizonte del perfil maduro se destaca un material de color amarillo parduzco oscuro (muestra Mn3) que posee un 9,9 % de MnO y 1,02 % de Co_3O_4 y hacia la parte inferior este material amarillo parduzco posee porciones rojo parduzca (muestra Mn14) con contenidos de 1,98 % de MnO y 0,28 % de Co_3O_4 . Para el perfil inmaduro existe también en el horizonte de ocre medio un material amarillo parduzco con porciones negra (muestra Mn8) que posee contenidos de 1,35 % de MnO y 0,34 % de Co_3O_4 . Además se destaca en este horizonte, pero próximo al ocre inferior, un material amarillo ligeramente parduzco (muestra Mn19) con 1,59 % de MnO y 0,32 % de Co_3O_4 .

La tendencia de distribución del níquel en estos perfiles de Punta Gorda es parecida a los de otros de su tipo ya conocida (Zeissinki, 1969; Brand y otros, 1998; Gleeson y otros, 2004). Donde el perfil maduro es más rico en níquel tanto en la zona laterítica (2,20 % de NiO) como en la silicatada (2,43 % de NiO). El cromo se concentra, como es habitual, en la parte superior de estos perfiles.

En el caso de los elementos minoritarios se destaca el calcio con contenidos significativos en los horizontes de ocre superior (0,2 %) y serpentinita inalterada (0,3 %) del perfil L-48. En tanto el perfil M-47 mantiene un contenido alrededor de 0.01 a 0,02 % de CaO a través de todo el perfil.

El potasio expone un contenido anómalo sólo en el horizonte de ocre medio (muestra Mn3) del perfil maduro, lo que puede estar asociado a los elevados contenidos en esta muestra de Mn, Al y Co.

De los elementos trazas, el bario y el zinc tienen contenido anómalo en la muestra enriquecida en manganeso y cobalto (muestra Mn3), además hacia la parte inferior (muestra Mn16) del perfil L-48. En el otro perfil sus máximos valores están también en muestras de alto manganeso y cobalto (muestras Mn8 y Mn19).

Composición mineralógica de los perfiles lateríticos

Mineralógicamente la zona laterítica del perfil maduro (L-48) está compuesta predominantemente por goethita ($\text{Fe O}(\text{OH})$), además es notable la gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), sobre todo en la parte superior del perfil, con ciertas cantidades de hematita (Fe_2O_3), maghemita (Fe_2O_3) y la cromita (FeCr_2O_4). Es significativo para este perfil la existencia de un material amarillo parduzco oscuro localizado en el horizonte de ocre medio (muestra Mn3), identificado como un óxido de Mn que está entre las fases de asbolana ($(\text{Co}, \text{Ni}) \text{Mn}_2\text{O}_4 (\text{OH})_2 \text{H}_2\text{O}$) y litioforita ($(\text{Al}, \text{Li}) \text{Mn O}_2 (\text{OH})_2$) según los reflejos difractométricos: 0,958 nm, 0,475 nm; 0,323 nm y 0,244 nm, estimándose en una cantidad del orden de un 5 % según cálculos mineralógicos por difracción de rayos - X.

Los termogramas de las muestras de estos horizontes superiores, figura 5, exponen tres picos endotérmicos notables: uno alrededor de los 68 °C producto de la pérdida de agua no estructural, lo que evidencia una humedad elevada para estas muestras. Otro entre los 300 y 350 °C atribuible a la deshidroxilación de la goethita, como fase mineralógica predominante, que dependiendo de la cristalinidad que presente así será a la temperatura en que se produzca el pico endotérmico. Y finalmente otro pico endotérmico próximo a los 473 °C, que se hace significativo en la muestra rica en manganeso (Mn3), que es atribuible al proceso de oxidación de la fase de Mn, litioforita, ya reportado para estos tipos de yacimientos en la zona de Nicaro por Voskresenskaya, y Cordeiro (1986) como elizabestinkista ($\text{Mn}, \text{Co}) \text{O}(\text{OH})$.

Hacia la parte inferior del perfil, zona silicatada, es predominante la fase de serpentina, tipo lizardita ($(\text{Mg}, \text{Ni})_6 (\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$), junto con la enstatita ($\text{Mg}_2 (\text{Si}_2\text{O}_{10})$), figura 6. El comportamiento térmico de estas muestras, figura 7, exponen los endotérmicos a los 69 °C y próximo de 300 °C ya conocidos y descritos anteriormente. Se detecta cierta cantidad de goethita en la serpentinita alterada (Mn5) por la presencia de este último pico endotérmico. Además se observan picos endotérmicos entre 620 y 640 °C, atribuibles a la deshidroxilación de los silicatos de Mg del grupo de la serpentina. La presencia del piroxeno enstatita se detecta según el pico endotérmico a los 714 °C y el exotérmico a los 820 a 830 °C provocado por la recristalización de este mineral refractario.

El perfil M-47 presenta una zona laterítica con una composición parecida a la anterior, pero difiere de ella por la menor cantidad de gibbsita que en general posee, sólo en el ocre superior es significativa esta fase. Aquí las fases de óxidos de Mn están en cantidades menores que el perfil anterior, donde en la muestra más enriquecida (Mn8) se identifica como una litioforita según los reflejos: 0,471 nm ; 0,953 nm; 0,338 nm.

Las curvas de análisis térmico diferencial (ATD) de las muestras de esta zona, figura 8, exponen tres acentuados picos endotérmicos: uno alrededor de los 65 °C, ya conocido, el otro propio de la deshidroxilación de la goethita a los 300 °C y finalmente el que presenta la muestra enriquecida en manganeso (Mn8) a los 452 °C, de poca intensidad, que es atribuible a la oxidación de la fase de manganeso.

La zona silicatada de este perfil se compone principalmente de antigorita ($Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$), con enstatita y olivino ($(Mg, Fe)_2(SiO_4)$) alrededor de un 13 %. Por encima de estas rocas aparecen serpentinitas meteorizadas níquelíferas (1,43 % de NiO).

Los termogramas de las muestras pertenecientes a los horizontes de esta zona silicatada del perfil M-47 son muy parecidos a los que expone la muestra Mn11, figura 9, la cual presenta un fuerte pico endotérmico próximo a los 65 °C, por la pérdida del agua no estructural, otro endotérmico intenso cerca de los 640 °C, debido a la deshidroxilación de la fase de serpentina y finalmente el exotérmico a los 828 °C debido a la recristalización de la enstatita.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los perfiles lateríticos estudiados del yacimiento Punta Gorda poseen contenidos elevados de Mn y Co, figura 10, que llegan ser significativo en el horizonte de ocre medio tanto en su parte superior (muestras Mn3 y Mn8) como inferior (muestras Mn14 y Mn19) de cada perfil. Mineralógicamente la más enriquecida en manganeso (muestra Mn3) está compuesta por goethita, figura 11, en un 78 %, además contiene gibbsita (12 %) y hematita (inferior a un 5 %). En esta muestra se presentan los reflejos difractométricos: 9,71 nm; 4,75 nm atribuibles a la existencia de los óxidos de Mn: litioforita (Al, Li) $MnO_2(OH)_2$ (ajustada según tarjeta 41-1378 PDF) y/o asbolana (Co, Ni) $Mn_2O_4(OH)_2 \cdot H_2O$ (43-1459 PDF). La existencia de estas fases de Mn ha sido reportada por Manceau y otros (1987) en yacimientos parecidos en Nueva Caledonia, además en suelos de Japón (Tokashiki y otros, 2003; Vidhana y otros, 2004) y Brasil (Neaman y otros, 2004) en los cuales también se presentan con baja cristalinidad y poca cantidad, lo que exige un minucioso trabajo de preparación de muestras y el uso combinado de varias técnicas analíticas.

La muestra Mn14, presenta también a la goethita como fase predominante (62,6 %), con gibbsita en muy buena cantidad (23,6 %). Es significativo en esta muestra el contenido de hematita que llega a un 7,79 %. Aquí se define mejor la fase de óxidos de Mn tipo litioforita (Al, Li) $MnO_2(OH)_2$ según los reflejos difractométricos: 0,966 nm; 0,472 nm, 0,191 nm.

Las muestras Mn8 y Mn19 tienen una composición parecida, figura 12, con la goethita como predominante, pero con poca cantidad de gibbsita (inferior a un 5 %). La Mn8 posee cromita ($Fe^{+2}Cr_2O_4$) según los reflejos difractométricos: 0,252 nm; 0,295 nm; 0,147 nm, en tanto la Mn19 presenta la maghemita (Fe_2O_3) según: 0,252 nm; 0,296 nm; 0,160 nm. En estas muestras la fase de óxidos de Mn detectada sin dificultad es la litioforita, según los reflejos: 0,953 nm; 0,472 nm; 0,191 nm para la Mn 8 y en la Mn 19 están: 0,943 nm; 0,474 nm; 0,191 nm.

De modo que para estas muestras enriquecidas en manganeso presentan a la goethita como fase mineral predominante en paragénesis con gibbsita, en el perfil maduro (L-48), donde la litioforita es el óxido de Mn más frecuentemente detectado, caracterizado por una baja cristalinidad, que se deduce por su incompleto cuadro difractométrico y la ocurrencia de los picos endotérmicos a temperaturas más baja que las reportadas para estos minerales en yacimientos cubanos parecidos (Voskresenskaya y Cordeiro, 1986). La distribución de esta fase de óxido de Mn (litioforita) a través de los perfiles lateríticos, de acuerdo a las determinaciones difractométricas, tiene plena correspondencia con los contenidos de Mn y Co (figura 10).

CONCLUSIONES

Los perfiles lateríticos estudiados poseen elevados contenidos de manganeso y cobalto, sobre todo en el perfil maduro L-48, existiendo una apreciable concentración de estos metales en el horizonte de ocre medio, particularmente en su parte superior e inferior. Las muestras manganíferas en este perfil maduro se caracterizan por el color amarillo parduzco oscuro, con contenido de va desde 1,98 hasta 9,9 % de MnO y de 0,28 a 1,02 % de Co_3O_4 . En tanto en el

perfil menos maduro (M-47) el material amarillo parduzco rico en manganeso posee menores contenidos de estos metales, que va desde 1,35 a 1,59 % de MnO y de 0,32 a 0,34 % de. El perfil maduro (L-48) posee un mayor contenido de aluminio, que alcanza un máximo en el horizonte de ocre superior de hasta un 20 %.

La litioforita es el principal mineral de óxido de manganeso que existe en estos perfiles lateríticos, presentándose de grano negro, brillo semimetálico, no magnético, de aspecto botroidal a masivo, con los reflejos difractométricos : 0,471 nm y 0,474 nm; 0,943 nm y 0,976 nm.

Los termogramas de estas muestras enriquecidas en manganeso exponen tres picos endotérmicos, uno alrededor de los 60 y 70 °C, debido a la pérdida del agua no estructural que posee la muestra, luego un intenso pico endotérmico, alrededor de los 300 a 315 °C, el más significativo, producto del proceso de deshidroxilación de la fase mineral predominante, la goethita, y un pico endotérmico medianamente intenso que puede ser atribuible a la presencia de las fases de óxidos de manganeso, que dada la baja cristalinidad que presenta estas fase ocurre próximo a los 500 °C, pero siempre por debajo de esa temperatura, 450 a 470 °C.

La fracción granulométrica de concentración para el Mn y Co y las fases de óxidos de Mn es la fracción menor de 0,83 mm y mayor de 0,074 mm.

El contexto mineralógico asociado a las fases de óxidos de Mn está representado por la goethita, como fase mineral predominante, con menores contenidos de hematita, maghemita y gibbsita.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a CAPES, por financiar y haber permitido la Beca Posdoctoral según CAPES/MES-CUBA, en la Universidad de Pará, Belem, Brasil. Además a la Dra. Jacinta Enzweiler del Instituto de Geociencias. Universidad Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, Brasil, por su apoyo personal en esta investigación. Al Departamento de Geología del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba, por su apoyo en los trabajos de muestreo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almaguer A, Zamarsky V.: 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. *Revista Minería y Geología* No. 2/93. 17-23. 10.1993.
- Beukes, J. P., Giesecke, E. W., Elliot, W. : Nickel retention by goethite and hematite. *Minerals Engineering*. Vol. 13. No. 14-15. pp 1573-1579. 2000.
- Becquer, C; Quantin, S; Rotte-Capet, J; Granbaja, C; Mustin, C ; Herbillon, A.J: Sources of trace metals in Ferralsols in New Caledonia. *British Society of Soil Science. European Journal of Soil Science*. 1-14. 2005.
- Blume, H. P. and U. Schwertmann: Genetic Evaluation of Profile Distribution of Aluminum, Iron, and Manganese Oxides . *Soil Sci. Soc. Am. J.* 33: 438-444. 1969.
- Brand N.W., Butt C.R.M., Elias M: Nickel laterites: Classification and features. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 81-88. 1998.
- Carvalho-e-Silva, Maria Luiza, Ramos, Aline Yvette, Tolentino, Helio Cesar Nogueira, Enzweiler, Jacinta, Netto, Silvania Maria, do Carmo Martins Alves, Maria: Incorporation of Ni into natural goethite: An investigation by X-ray absorption spectroscopy. *American Mineralogist*. 2003. 88: 876-882.
- Chukhrov F.V. , Gorshkov A. I., Vitosvkaya I.V., Drits V.A., Sivtsov A.I. and Dikov Yu.P. y otros (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., Sivtsov A.I. and Rudnitskaya Ye. S. (1980b). Crystallochemical nature of Co - Ni asbolan. *AN SSSR, Izvest. Ser. Geol.* 6, 73-81. (Trans. Internat. Geol. Erv. 24, 598-604 (1982)).
- Chukhrov, F. P., Gorshkov, V. A., Drits, V. A. : Supergenic manganese Hydrous oxides. 208 p. Nauka. Moscow. 1989.
- Dalvi, Ashok D.; W. Gordon Bacon; Robert C. Osborne: The Past and the Future of Nickel Laterites. PDAC

2004. International Convention. Trade Show & Investors Exchange. March 7-10. 2004.
- Da Silva E. F., De Oliveira S. M. B.; Fonseca E.C.: Extracción química selectiva secuencial sobre el estudio de la distribución del Co, Cr, Zn y Ni en muestras del yacimiento Punta Gorda. *Geochimica Brasiliensis*. 14. 1. 41-50. 2000.
- De Carvalho e Silva, M. L. M., Oliveira S. M. B: As fases portadoras de níquel do minerio laterítico de níquel do vermelho, Serra dos Carajas (PA). *Revista Brasileira de Geociencias*. Vol. 25. pp. 69-78. 1995.
- De Carvahlo M. L. M., Silva E., Partiti C. S. M., Enzweiler J., Petit, S., Netto, S. M., Oliveira, S. M. B.: Characterization of Ni-containing goethites by Mosbauer Spectroscopy and other techniques. *Hyperfine Interactions*. 00: 1-18. 2002.
- 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 laterítico tipo óxido: yacimiento Punta Gorda (Cuba Oriental). *Macla*, 6, 197-199.
- Gleeson S. A, R. J. Herrington, J. Durango, C. A. Velásquez, And G. Koll: The Mineralogy and Geochemistry of the Cerro Matoso S.A. Ni Laterite Deposit, Montelíbano, Colombia. *Economic Geology*. Vol. 99, pp. 1197–1213. 2004.
- Gleeson S. A, Butt C. R. M, Elias M. Nickel laterites: A Review. *SEG Newsletter* 54, 11-18. 2003.
- Guest, Christopher A, Darrell G. Schulze, Ian A. 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 (2002).
- Hettiarachchi, Ganga M. and Gary M. Pierzynski : In Situ Stabilization of Soil Lead Using Phosphorus and Manganese Oxide: Influence of Plant Growth . *J. Environ. Qual.* 31: 564-572. 2002.
- Hettiarachchi, Ganga M. ; Gary M. Pierzynski, Fredrick W. Oehme, Osman Sonmez, and James A. Ryan: Treatment of Contaminated Soil with Phosphorus and Manganese Oxide Reduces Lead Absorption by Sprague–Dawley Rats. *J. Environ. Qual.* 32: 1335-1345. 2003.
- Iturralde-Vinet, M. A.: Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution. No 1. 1996.
- Kim, Jae Gon ; Joe B. Dixon, Charles C. Chusuei and Youjun Deng. *Soil Science Society of America Journal* 66:661-670. Oxidation of Chromium (III) to (VI) by Manganese Oxides. *DIVISION S-9 - SOIL MINERALOGY*. 2002.
- Kunhel R.A, Roorda, H.J; Stenmas, J.J.S.: Distribution and partition of elements in nickeliferous laterites. *Bulletin du B.R.G.M. (Paris). section 2. No.3. Geologie Appliquee Chimique des Mines*. 191-206. 1978.
- 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 Copa, W.: Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental. *revista Minería y Geología*. Vol. 15. pp 9-16. 1998.
- Liu, F. C. Colombo, P. Adamo, J. Z. He and A. Violante. Trace Elements in Manganese-Iron Nodules from a Chinese Alfisol . *Soil Science Society of America Journal* 66:661-670 (2002). *DIVISION S-9—SOIL MINERALOGY*.
- Manceau A, Llorca S, Calas G. : Cristal chemistry of Co and Ni in lithiophorite and asbolane from New Caledonia. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, London, 51 (1): 105-113. 1987.
- Manceau A, Gorshkov, A. I., Drits V. A.: Structural chemistry of Mn, Fe, Co and Ni in manganese hydrous oxides: Part I. Information from XANES spectroscopy. *Am. Mineral.* 77: 1173-1144. 1992.
- Manceau, Alain, Drits, Victor A., Silvester, Ewen, Bartoli, Celine, Lanson, Bruno Structural mechanism of Co (super 2+) oxidation by the phyllo-manganate buserite. *American Mineralogist* 82: 1150-1175. 1997.
- Manceau A, Tamura, N., Marcus, M. A., MacDowell, A. A., Celestre, R. S., Sublett, R. E., Sposito, G., Padmore, H. A.: 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. 2002.
- 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. Elsevier.
- Negra, Christine, Donald S. Ross, and Antonio Lanzirotti : Soil Manganese Oxides and Trace Metals: Competitive Sorption and Microfocused Synchrotron X-ray Fluorescence Mapping. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 353-361. 2005.
- Oliveira, S.M.B. : Estado actual de conocimiento de los minerales lateríticos de Ni en Brasil y el Mundo. *Rev. IG, Sao Paulo*, 11(2), 49-57, jul-dez. 1990.
- Oliveira, S.M.B; de Moya Partini, C.S., Enzweiler, J: Ochreous laterite: a nickel ore Punta Gorda, Cuba. *Journal South American Earth Science*. 34. 307 –317. 2001.

- Peacock, Caroline L., Sherman, David M. Crystal-chemistry of Ni in marine ferromanganese crusts and nodules *American Mineralogist*. 92: 1087-1092. 2007.
- Pizzigallo, M. D. R.; P. Ruggiero, C. Crecchio, and R. Mininni: Manganese and Iron Oxides as Reactants for Oxidation of Chlorophenols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 444-452. 1994.
- Proenza, J; Melgarejo, J. C.; Gervilla, F; Lavaut, W; Rodríguez, G.: Cromititas podiformes en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). *Acta Geológica Hispánica*, V 33. 1998.
- Quantin, C., T. Becquer, J. H. Rouiller and J. Berthelin: Redistribution of Metals in a New Caledonia Ferralsol After Microbial Weathering. *Soil Science Society of America Journal* 66:1797-1804 (2002). DIVISION S-2—SOIL CHEMISTRY.
- Quintana Puchol R: Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento Moa: análisis fásico-mineralógico. *revista Minería y Geología* 1/85. 1985.
- Rodríguez, Joelis; Ileana Cabrera, José A. Alonso, Bárbara Martín (2001): Acerca del primer hallazgo del mineral Erniequelita $NiMn_3O_7 \cdot 3H_2O$ en Cuba. *TECNOMAT/2001*.
- Rojas Puron, A.L.: Evidencias a favor de que la goethita es la principal portadora de níquel en los horizontes lateríticos de las cortezas ferroniquelíferas. *Revista Minería y Geología*. 21-31. VOL. 18. NO. 3-4. 2001.
- Schellmann W. 1978: Behaviour of Nickel, Cobalt and Chromium in ferruginous lateritic Nickel Ores. *Bulletin du B.R.G.M. (Paris)*. section 2. No.3. *Geologie Appliquée Chimique des Mines*. 275-282.
- Sobol S.I.: Composición de las lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación de minerales por ácidos sulfúrico en autoclaves. *Revista Tecnológica*. No. 5 y 6. 17-23. 1968.
- Strnad I.: Desarrollo del conocimiento geológico y del aprovechamiento de las menas niquelíferas. *Revista Tecnológica*. 24-3. 1968.
- Tokashiki, Y, Hentona, T., Shimo, M., Vindhana Arachchi, L.P.: Improvement of the successive selective dissolution procedure for the separation of birnessite, lithiophorite, and goethite in soil manganese nodules. *Soil Science Society American Journal*. 67. 837-843. División S-5- Pedology. 2003.
- Vera Sardiñas, L.O.: 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. ISMM, Moa. 111 p. 2001.
- Vindhana Arachchi, L.P., Tokashiki, Y: Mineralogical characteristics and micromorphological observations of brittle soft Fe/Mn concretions from Okinawan soils. *Clays and Clay Mineral*. Vol. 52. No. 4. 462-472. 2004.
- Voskresenskaya, N, Cordeiro, C: Hallazgo de Elizabetinskita en las formaciones ocosas de la corteza de intemperismo del yacimiento Levisa, Holguin. *revista Minería y Geología* 3/86. pp 53-62. 1986.
- Weaver, Robert M., Hochella, Michael F., Jr. The reactivity of seven Mn-oxides with $Cr^{3+}aq$: A comparative analysis of a complex, environmentally important redox reaction. *American Mineralogist*. 88: 2016-2027. 2003.
- Yongue-Fouateu, R.T. Ghogomu, J. Penaye, G.E. Ekodeck, H. Stendal, F. Colin: Nickel and cobalt distribution in the laterites of the Lomie´ region, south-east Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*. (revision para su publicación). 2006.
- Zeissinki, H.E. 1969. The mineralogy and Geochemistry of a nickeliferous laterite profile (Greenvale, Queensland, Australia), *Mineralium Deposita* 4, 132-152.

Anexo: Figuras

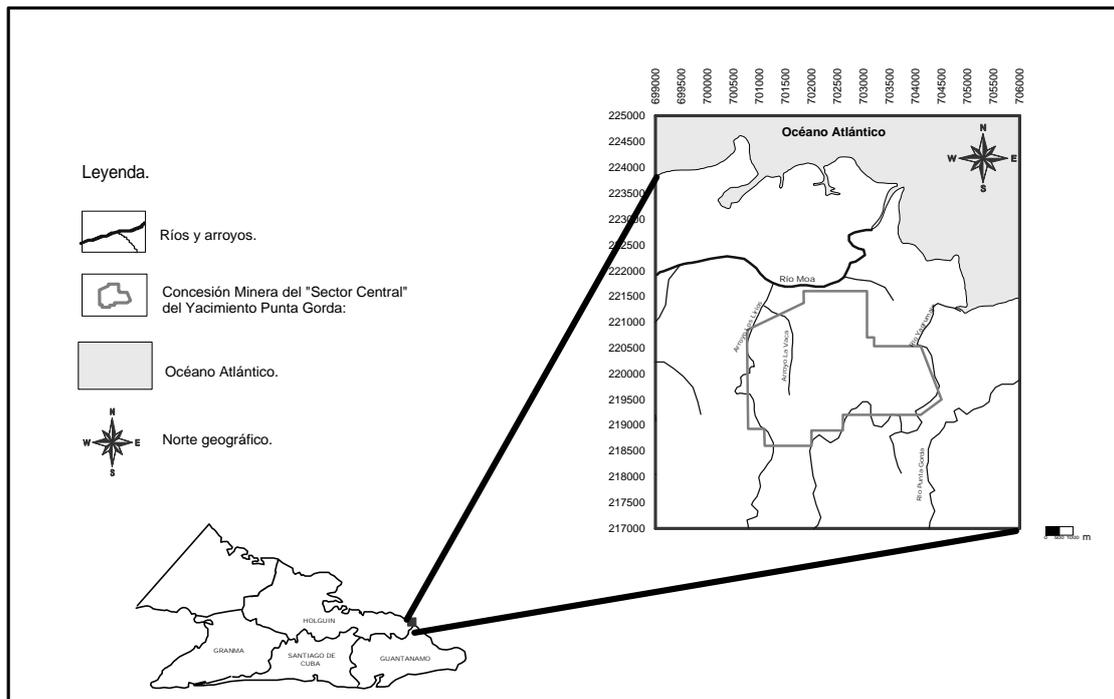


Figura 1.- Mapa de ubicación geográfica del yacimiento Punta Gorda, Holguín, Cuba. (según de Dios, 2002).

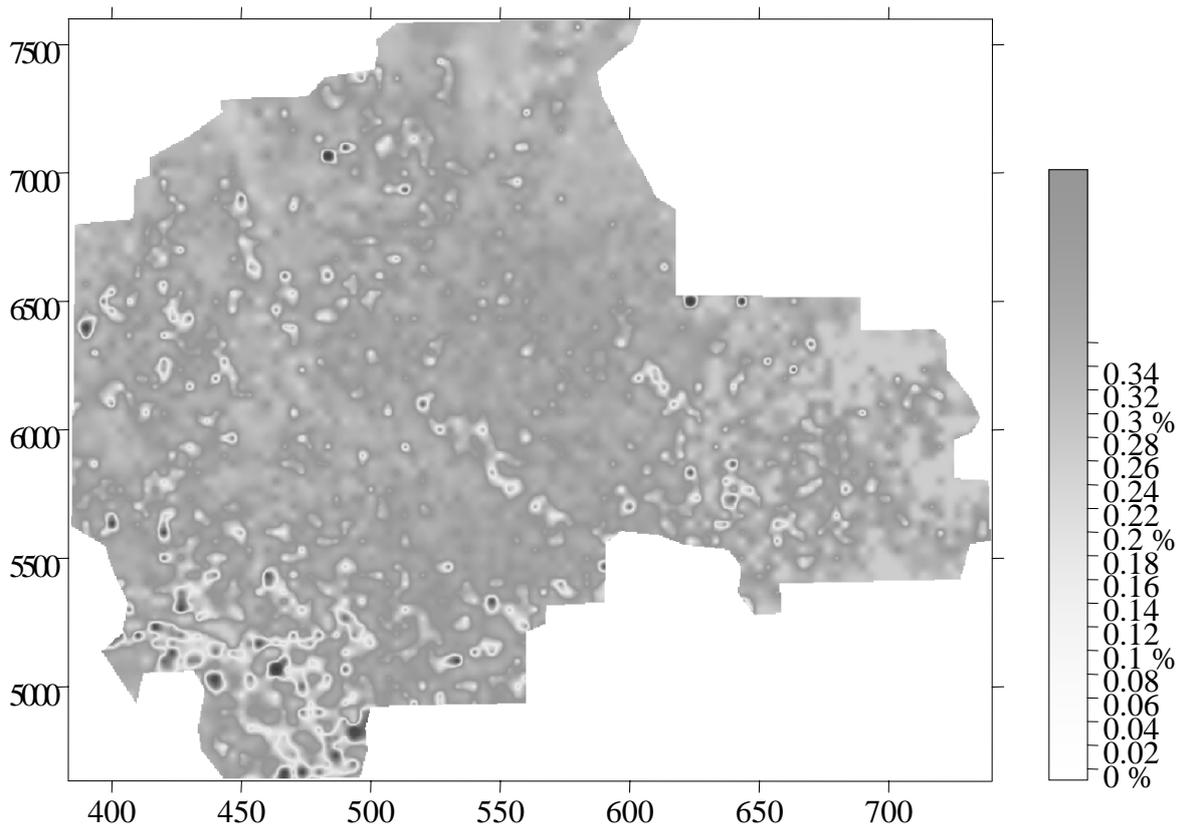


Figura 2.- Distribución espacial del cobalto en la mena niquelífera del yacimiento Punta Gorda (según Vera Sardiñas, 2001).

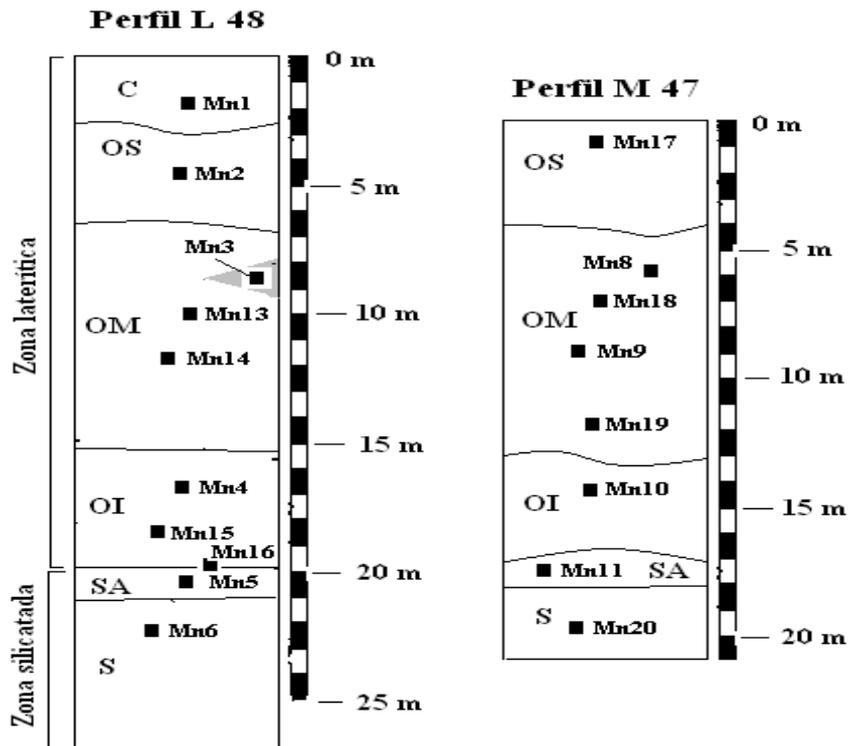


Figura 3.- Esquema de los perfiles lateríticos L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. Observaciones: Horizontes: C: concreciones ferruginosas; OS: ocre superior; OM: ocre medio; OI: ocre inferior; SA: serpentinita alterada; S: serpentinita inalterada o roca madre. (■) Mn1: toma de muestra. Dibujo no está realizado a escala.

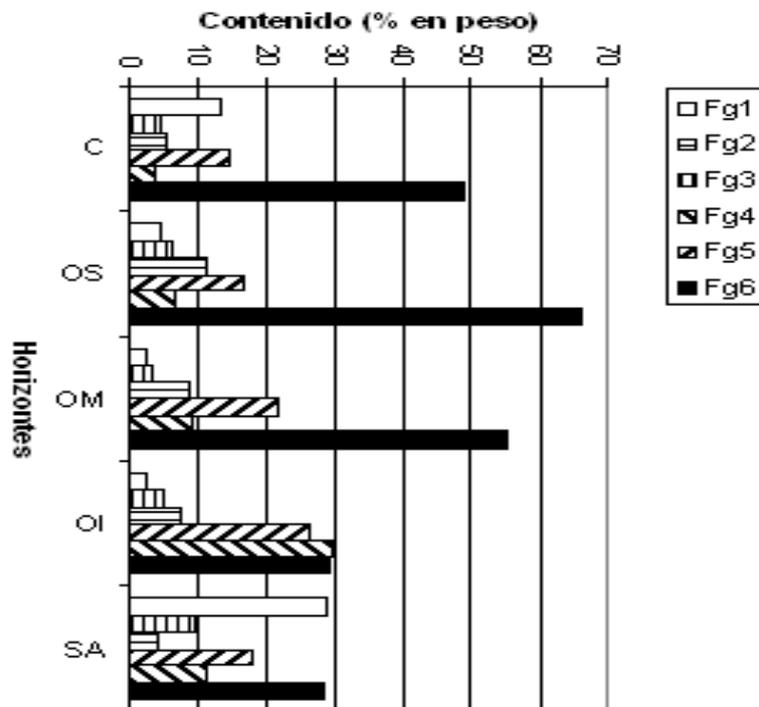


Figura 4.- Distribución de la granulometría a través del perfil laterítico en Moa (tomado de Rojas, 2001). Fracciones granulométricas: Fg1: (+ 1.6 mm); Fg2: (-1.6 + 0.83 mm); Fg3:(-0.83 +0.417 mm); Fg4: (- 0.417 + 0.074 mm); Fg5: (-0.074 + 0.045 mm); Fg6: (- 0.045 mm).

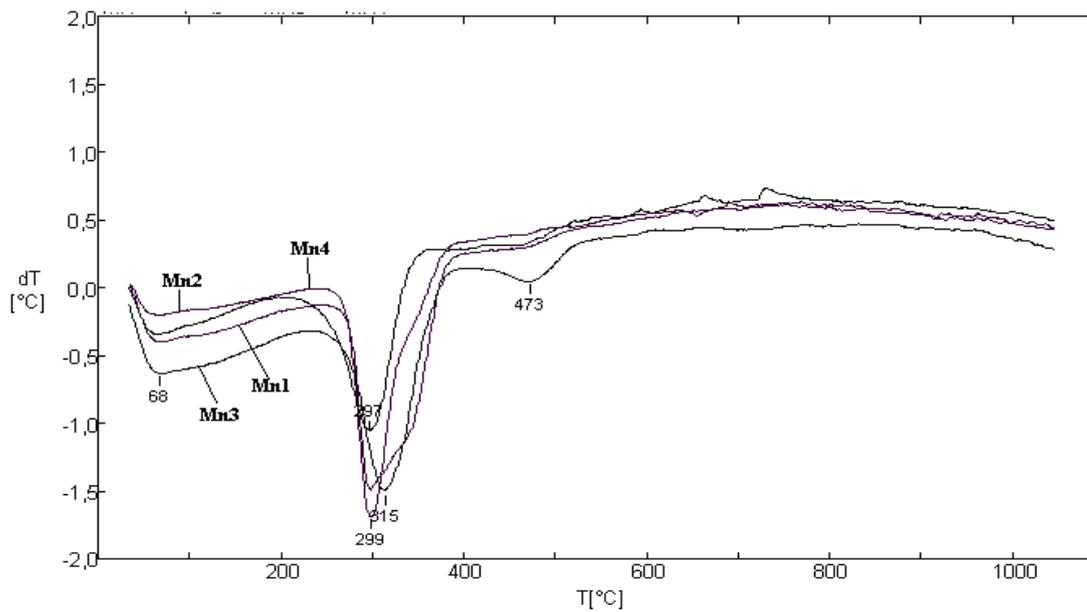


Figura 5.- Termogramas de muestras de los horizontes de la zona laterítica del perfil L-48. Mn1: muestra de concreciones ferruginosas. Mn2: muestra del ocre superior. Mn3: muestra de ocre medio. Mn4: muestra de ocre inferior.

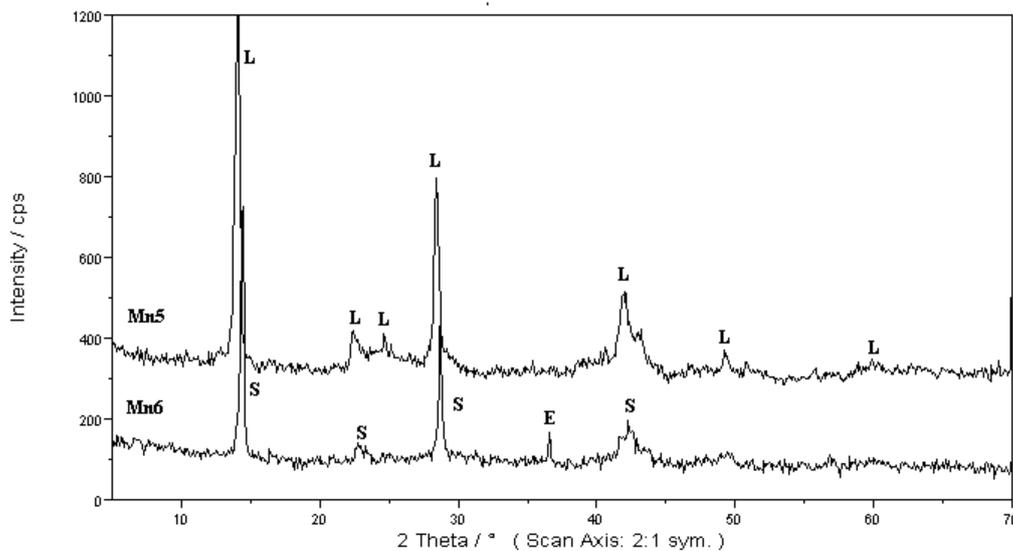


Figura 6.- Difractogramas de muestras de los horizontes de serpentinita alterada (Mn5) y serpentinita inalterada (Mn6) de la zona silicatada del perfil L-48. Minerales: L: lizardita; S: serpentina; E: enstatita.

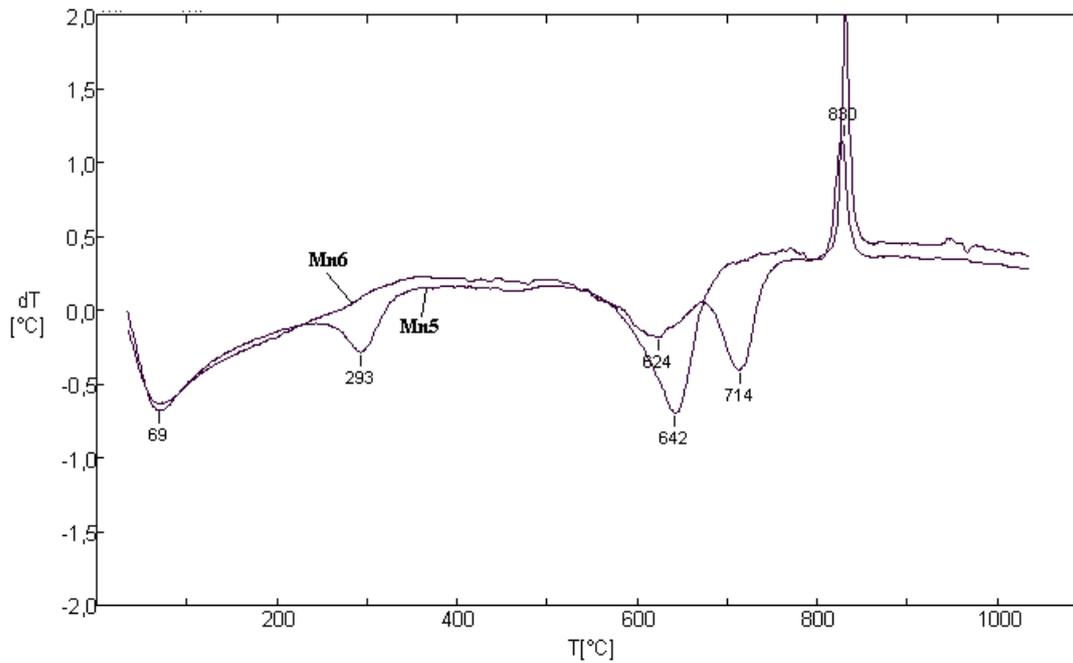


Figura 7.- Termogramas de muestras de la zona silicatada del perfil L-48
Muestras: Mn5: horizonte de serpentinitas alteradas. Mn6: horizonte de serpentinitas no alteradas

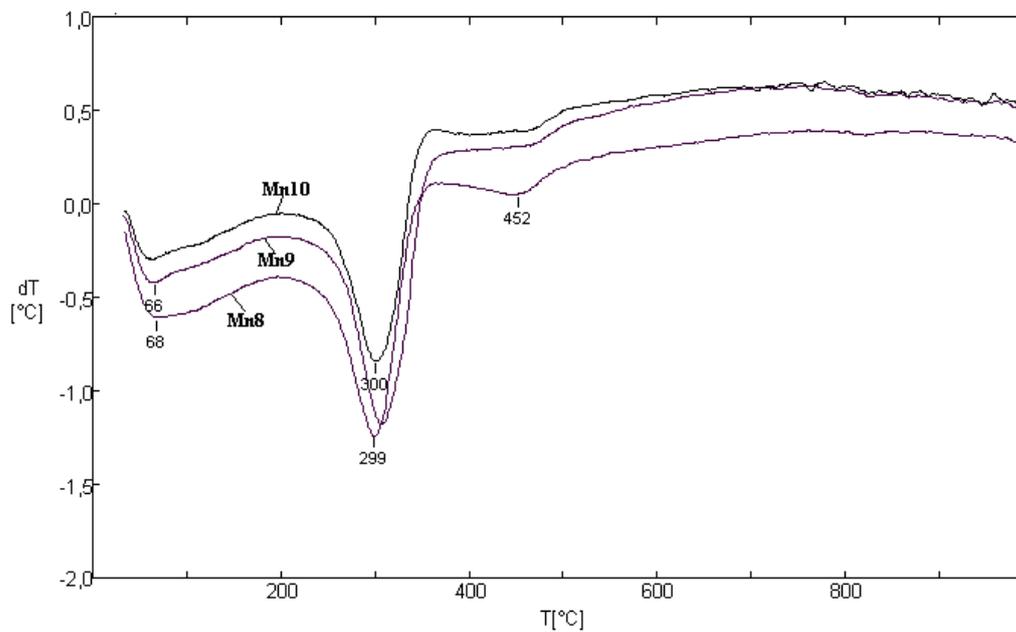


Figura 8.- Termogramas de muestras de la zona laterítica del perfil M-47 según los horizontes de ocre medio (Mn8 y Mn9) y ocre inferior (Mn10).

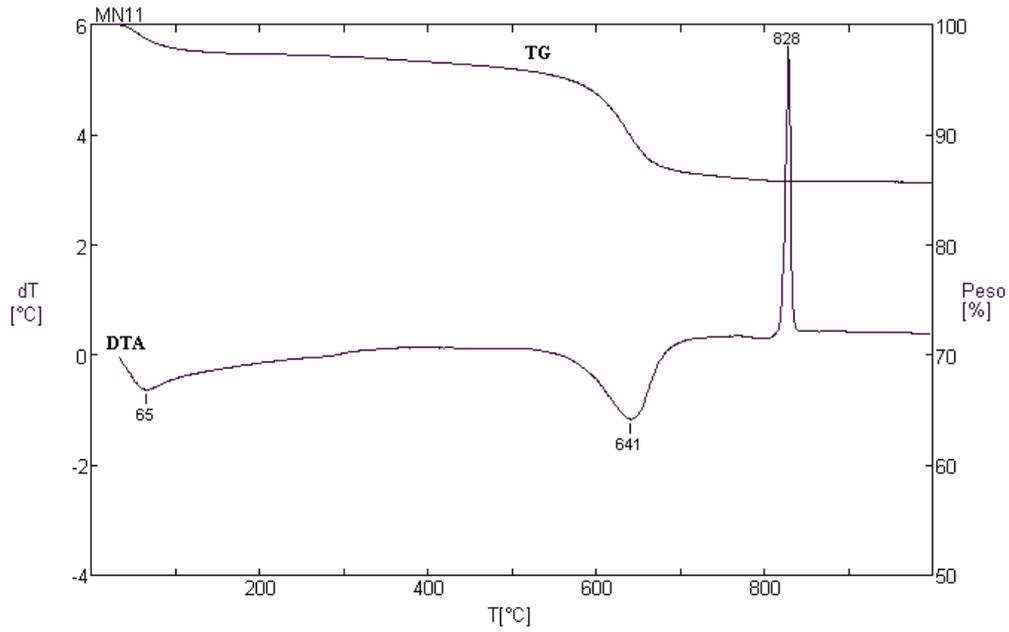


Figura 9.- Termograma de la muestra Mn11 de la zona silicatada del perfil M-47.
 DTA: curva de de análisis térmico diferencial, TG: curva termogravimétrica.

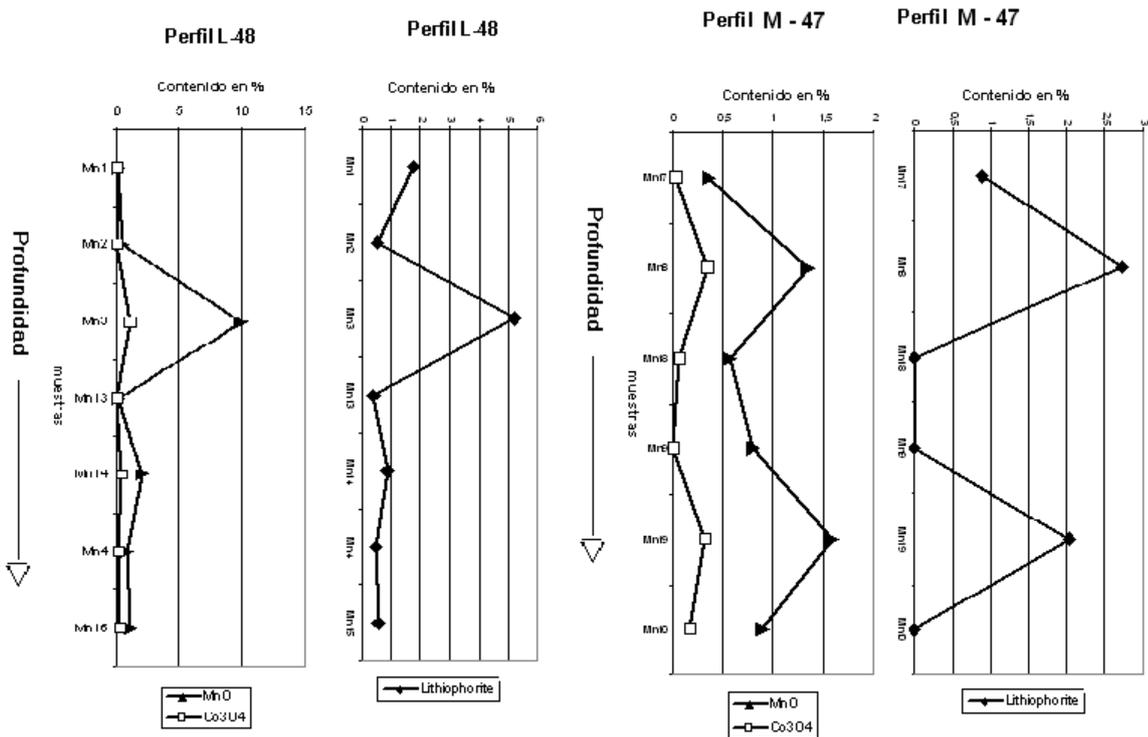


Figura 10.- Distribución de la litioforita y los contenidos de Mn y Co a través de los perfiles lateríticos L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda.