



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

Título: Caracterización mineralógica de los óxidos de manganeso en perfiles lateríticos por Microscopía Electrónica.

Diplomante: Simon Haingura Tobias.

Tutores: Dr. C. Arturo Rojas Purón

Moa, 2011

Agradecimientos

En la confección de este trabajo de diploma me han ayudado muchas personas.

Quiero dejar constancia de particular agradecimiento a las siguientes:

Dr. Rojas Arturo Puron, profesor y tutor del presente trabajo, quien me ha brindado su apoyo en todo momento. Si no fuera por usted todo no iba a ser igual. Usted merece toda mi gratitud por haber ayudado en cuando hacía falta.

El departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa cuyos integrantes me ayudaron con sus críticas y sugerencias.

A mis compañeros de aula, en especial a Hanler Ramírez Duran por hacer me comprender que todo se puede.

A mis amigos Shilongo, Mohato, Max, Petrus, Amukende, Aminu, los Botsuanos, Caribeños, Mozambiqueños, Namibios, Saharauis, los demás Africanos, todo el edificio 4 y a todas mis amigas, quienes compartieron momentos buenos y malos conmigo, Muchas gracias compañeros, Uds. me hicieron más fuerte todavía,

A todos lo que hicieron este trabajo sea terminado.

A todos Muchas Gracias

Dedicatoria

A mi padre y madre por haberme hecho lo que soy hoy; por su cariño, dedicación y comprensión y sobre todo por su amor incomparable,

A mis hermanas Kaino, Martha y Amanda y hermanito Lasarus, quienes siempre han mostrado su cariño; ustedes son mi inspiración y por eso doy todo en la vida para hacerles feliz.

Pensamiento

“ Los científicos exploran lo que existe, los ingenieros crean lo que nunca ha existido”.

Anónimo

“ La universidad es donde se aprende como aprender.”

Sócrates (425 A.J.C)

Resumen

Se presentan los resultados de un estudio de caracterización mineralógica de los óxidos de Mn de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda del municipio de Moa, Holguín. Se caracterizan química-mineralógicamente dos perfiles lateríticos enriquecidos en Mn, mediante técnicas de Fluorescencia de Rayos X, Difracción de Rayos X y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).

Al valorar las características química de los perfiles lateríticos, las muestras manganíferas, se localizan en el horizonte de ocre medio de estas cortezas. El perfil (L-48) posee los contenidos más alto de MnO (de 1,98 hasta 9,9 %) y de Co_3O_4 (entre 0,28 a 1,02 %), en tanto en el otro perfil (M-47) el material manganífero contiene entre un 1,35 a 1,59 % de MnO y de 0,32 a 0,34 % de Co_3O_4 .

La goethita es la fase mineral predominante, existiendo además en contenidos menores la hematita, maghemita y gibbsita. El perfil L-48 posee una mayor cantidad de gibbsita, en correspondencia con los altos contenidos de aluminio (20 % de Al_2O_3) que tiene en su horizonte de ocre superior. La litioforita es el principal mineral de óxido de manganeso que existe en estos perfiles lateríticos. Los óxidos de Mn son de baja cristalinidad y se presentan físicamente de forma entremezclada con otras fases minerales.

Con los resultados de MEB, se pudo confirmar la presencia de óxidos de Mn en los perfiles lateríticos estudiados, se evidenciaron por granos y fracciones de las muestras enriquecidas en Mn. Además se establecieron las correlaciones entre Mn y micro elementos (como el Ba, Co, Ni y los elementos del grupo del Pt y Au) en los granos y fracciones de las muestras analizadas.

Abstract:

The results of the mineralogical characteristic study of manganese oxide of the laterites profiles from Punta Gorda deposit, site in Moa, Holguin, Cuba.

The chemical –mineralogical characterization of two profiles enriched in Mn was done using X-Rays Fluorescence (XRF), using X-Rays Diffractions techniques (XRD) and Scanning Electronic Microscope.

By evaluating chemical characteristics of the laterites profiles; the samples enriched in Mn are found in the limonite horizon of the weathered crust. The profile L-48 possess high contents of MnO (from 1,98 to 9,9%) and the content of Co_3O_4 which vary from 0,28 to 1,02%, while the profile M-47 the manganiferous material contain between 1,35 to 1,59% of MnO and 0,32 to 0,34 of Co_3O_4 .

Goethite is the predominant mineral phase with small amount of hematite, Maghemite and gibbsite. The profile L-48 has high quantity of gibbsite; it is in correspondence with high content of alumina (20% of Al_2O_3) in limonite horizon. Lithiophorite is the main ore of manganese oxide existing in these laterites profiles.

From the results of scanning electronic microscope by studying the morphology of the mineral grains and the point chemical composition, the presence of manganese oxides in the grains of the studied samples of the laterites profiles were confirmed. And also the determined correlations between Mn and micro elements (Ba, Co, Ni, Au and platinum group elements) in the grains and fractions of the studied samples were established.

Índice

Agradecimientos.....	II
Dedicatoria.....	III
Pensamiento.....	IV
Resumen.....	V
Abstract.....	VI
Indice.....	VII
Introduccion	1
Fundamentacion teorica y estado actual del tema	4
Capitulo I. Localización, Rasgos Fisiográficos y Geológicos de la región de estudio.....	10
1.1. Aspectos físico- geográficos de la región de Moa.....	10
1.1.1. Ubicación geográfica.....	10
1.1.2. Aspectos climatológicos	11
1.1.3. Red fluvial.....	12
1.1.4. Vegetación.....	12
1.1.5. Relieve.....	12
1.1.6. Principales rasgos económicos de la región.....	13
1.2 Características geológicas de la región de Moa.....	13
1.2.1. Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa.....	15
1.3. Características Geológicas del yacimiento Punta Gorda.....	18
1.3.1. Tectónica del yacimiento.....	19
1.3.2. Condiciones Hidrogeológicas.....	20
1.4. Características generales de los perfiles lateriticos del mundo.....	21

1.5. Generalidades sobre la mineralogía de las cortezas ferroniquelíferas. Presencia de los óxidos de Mn en los perfiles lateríticos.....	24
1.5.1. Características de las menas de los yacimientos hipergénicos de níquel, y cobalto en Cuba.....	24
Capítulo II. Materiales y Métodos de investigación empleados	28
2.1. Generalidades sobre los métodos de investigación utilizados.....	28
2.2. Muestreo y Materiales utilizados.	28
2.3. Métodos de investigación utilizados	33
Capítulo III. Interpretación y Discusión de los resultados	34
3.1. Características químicas de los perfiles lateríticos.....	34
3.2. Resultados de Difracción de Rayos – X.....	38
3.3. Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos.....	53
3.4. Presencia de los óxidos de manganeso en los perfiles lateríticos en el nordeste oriental cubano	59
3.5. Interpretación de los resultados.....	72
Conclusiones.....	75
Recomendaciones.....	76
Bibliografía.....	77
Anexos.....	85

Introducción

Los depósitos lateríticos cubanos representan las mayores reservas de níquel laterítico en el Caribe (Dalvi y otros, 2004; Galí y otros, 2006), con ciertos contenidos de cobalto. Estos yacimientos son mayoritariamente del tipo de óxidos (Brand y otros, 1998; Gleeson y otros, 2003, en los cuales las fases minerales de óxidos de Mn no han sido identificadas plenamente, existiendo sólo unos pocos trabajos referidos a estas fases.

El yacimiento Punta Gorda es uno de los principales depósitos lateríticos del nordeste oriental cubano, formado a partir de rocas básicas y ultrabásicas pertenecientes al macizo ofiolítico Moa- Baracoa, (Iturralde Vinet, 1996; Proenza 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 presentarse los óxidos de manganeso en estos perfiles lateríticos, pues actualmente se explota la mena oxidada de níquel con el fin de obtener óxido de níquel y sulfuros de Ni y Co.

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; Quintín y otros, 2002; Negrá y otros, 2005) y las plantas (Guest y otros, 2002).

Estos óxidos de Mn son minerales que se caracterizan por encontrarse en poca cantidad, tanto en los suelos (Blumer y Schwertmann, 1969; Kim y otros, 2002; Liu y otros, 2002) como nódulos marinos (Peacock y otros, 2007) y perfiles lateríticos (Manceau y otros, 1992). Además de presentarse pobremente cristalizados, haciendo de interés los rasgos de su estructura cristalina (Manceau y otros, 1987).

Otra dificultad lo constituye los aspectos de la cristalografía de los elementos minoritarios, ya que su número atómico está muy próximo al Mn, por lo que ellos no pueden ser fácilmente diferenciados por métodos de Rayos – X, teniéndose que emplear técnica de Microscopía Electrónica de Barrido con la cual se han obtenido buenos resultados.

El presente trabajo constituye una caracterización mineralógica de las fases de óxidos de manganeso presentes en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín por microscopía electrónica. El conocimiento mineralógico de estos perfiles permitirá, en un futuro, completar la identificación de las fases minerales de óxidos de Mn en estas cortezas ferroniquelíferas y además permitirá valorar la correlación de determinados elementos minoritarios asociados al Co y Mn presentes en los horizontes lateríticos.

Problema: Insuficiente conocimiento acerca de las formas mineralógicas de los óxidos de manganeso en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

Objeto de estudio: Las fases minerales de óxidos de manganeso presentes en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

Objetivo general: Caracterizar las formas mineralógicas en que se encuentran los óxidos de manganeso (Mn), presentes en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda mediante la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

Objetivos específicos:

- Determinación de la composición química y mineralógica de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.
- Analizar de forma cualitativa y cuantitativa las fases minerales presentes en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

- Correlacionar los elementos minoritarios asociados al Co y Mn presentes en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.
- Determinar la morfología de los granos minerales de óxidos de Mn, presentes en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda mediante MEB.

Hipótesis: Si se determinan las características químicas y los minerales presentes en los perfiles lateríticos enriquecidos en Mn, se puede establecer las formas mineralógicas de los óxidos de manganeso en el yacimiento Punta Gorda.

Principales resultados a obtener:

- Características geológicas generales de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín.
- Características físicas del material enriquecido en Mn presente en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín.
- Composición química de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín.
- Composición mineralógica general de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín.
- Confirmación de las formas mineralógicas de los óxidos de manganeso, mediante la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), en perfiles lateríticos enriquecidos en Mn del yacimiento Punta, Moa, Holguín.
- Establecimiento de las correlaciones entre los macro y micro elementos asociados a los óxidos de Mn presentes en los perfiles del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. A partir de los datos de Microscopía Electrónica,

Fundamentación de la caracterización mineralógica de los óxidos de Mn en perfiles lateríticos por Microscopía Electrónica y estado actual del tema.

1.1 Base teórica de la investigación.

El estudio de las fases minerales de óxidos de manganeso en los horizontes lateríticos de la corteza de intemperismo del yacimiento Punta Gorda se enmarca en la esfera de la Mineralogía de las Lateritas, particularmente en el estudio de la distribución de los óxidos de manganeso dentro de los diferentes minerales que componen el material laterítico, así como en las fracciones granulométricas en que tienden a concentrarse dicho metal.

La investigación se realiza teniendo en cuenta el comportamiento de los óxidos de manganeso a través de los perfiles lateríticos, además de su distribución en las distintas clases granulométricas, considerando las leyes y principios geoquímicos que rigen el desarrollo de las cortezas de intemperismo.

Al establecer la presencia y distribución del manganeso en las lateritas, se adentra en la problemática de la forma de existencia de este metal en los minerales oxidados que componen los horizontes superiores de los perfiles de alteración intempérica, permitiendo considerar algunos aspectos cristaloquímicos que presentan los minerales portadores, que pueden influir favorablemente en la inclusión del manganeso en su red cristalina. Por otra parte, aporta nuevos elementos para una interpretación más completa de la génesis y evolución de los procesos de meteorización de las menas níquelíferas de minerales oxidados.

Se parte de la consideración de que:

- a) La distribución del manganeso es desigual entre los distintos minerales que componen el material laterítico de la corteza de intemperismo.
- b) El grado de madurez de la corteza de intemperismo determina las características físicas, químicas y mineralógicas del material laterítico.

1.2. Estado actual de los estudios en cortezas de meteorización níquelíferas

Para el desarrollo de una investigación sólida y fundamentada, aclarando la fundamentación teórica del presente, se consultó numerosos trabajos anteriores desarrollados en Cuba Oriental y el resto del mundo, principalmente sobre la geoquímica y mineralogía de las cortezas níquelíferas. Así, esta revisión bibliográfica, abarca:

- La meteorización química y sus factores.
- La geoquímica y mineralogía de productos de la meteorización.
- Los productos de meteorización química sobre diferentes rocas.
- La metodología por evaluar los perfiles de meteorización con respecto a los óxidos de los elementos mayores.
- La distribución de elementos mayores en las cortezas de la meteorización.
- La clasificación y cuantificación de los procesos y productos de la meteorización.
- La comparabilidad entre métodos cuantitativos de análisis de fases, técnicas analíticas.

1.2.1. Trabajos antecedentes relacionados con los óxidos de Mn en cortezas de meteorizaciones níquelíferas

Moa por su valor económico ha sido una de las regiones más investigadas del país desde el punto vista geológico, por ubicarse en ella importantes yacimientos cromíferos y ferroníquelíferos. La mayoría de estos trabajos se han dirigido fundamentalmente a la prospección y exploración de yacimientos minerales.

Los depósitos lateríticos cubanos representan las mayores reservas de níquel laterítico en el Caribe (Dalvi y otros, 2004; Galí y otros, 2006), con ciertos contenidos de cobalto. Estos yacimientos son mayoritariamente de tipo óxido (Brand y otros, 1998; Gleeson y otros, 2003), en los cuales las fases minerales de óxidos de Mn no han sido identificadas plenamente, existiendo sólo unos pocos trabajos referidos a estas fases.

Así tenemos que Sobol (1968) al estudiar la distribución del níquel y cobalto en los minerales de la pulpa limonítica, sólo utiliza el término de fases de Mn, sin definir dichas fases al referirse a los óxidos de Mn que portan estos metales.

Lo mismo sucede cuando Quintana (1985) declara minerales de Mn, sin identificar la forma mineralógica, al tratar las fases de óxidos de Mn 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. Ha sido costumbre por algunos investigadores que al valorar la mineralogía de los depósitos lateríticos traten a los óxidos de Mn como asbolanas o asbolitas (Olivera y otros 2001) reflejando la necesidad de precisar aún más las formas mineralógicas de estas fases.

El trabajo de Rojas y otros (2007) en Geociencia, La Habana, titulado distribución fraccional de metales y minerales en lateritas de balance de yacimiento Punta Gorda, donde se determinó que el manganeso se distribuye granulométricamente de forma similar al cobalto. Su concentración tiene en lugar en tres clases granulométricas: en la más gruesa (mayor de 8mm) donde el MnO alcanza contenidos de 2,9%, en clase media con 2% y en clase fina con 3,67%. En nuestra opinión este trabajo de Rojas y otros abre nuevo camino para nuestra investigación por la íntima relación que existe entre cobalto y manganeso si se estudia las áreas más perspectivas en cobalto se puede determinar la forma de las fases de óxidos de Mn en los perfiles lateríticos.

Cuenca (2009) realizó un estudio para determinar la presencia de óxidos de Mn en perfil lateríticos del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín; donde reportó que las fases de óxidos de Mn que existen en material lateríticos aparecen en forma de fases de litioforita y asbolana.

1.2.2. Trabajos relacionados con la geología regional y lateritas en general

Las investigaciones en la región se remontan a los trabajos de levantamiento geológico realizados por **Adamovich y Chejovich**, que constituyeron un paso fundamental en el conocimiento geológico del territorio oriental y esencialmente para las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas. En 1961-1962, estos investigadores, realizaron trabajos de levantamiento geológico a escala 1:50000, el cual abarcó el área del yacimiento La Delta. Como resultado elaboraron un mapa geológico sobre la base de interpretaciones fotogeológicas y marchas de reconocimiento geológico en el cual fueron limitadas las zonas de cortezas de intemperismo.

En **1965 V. Kenarev** realiza trabajos de prospección, revisión y exploración en el yacimiento de cromitas Delta II, Narcizo I - II en la región de Moa, con los cuales se estableció el estado actual de los yacimientos y se evaluaron las categorías de reservas.

V.M. Ogarkov en 1967 realiza trabajos de búsqueda para níquel en los yacimientos del macizo Moa - Baracoa, fundamentalmente en la zona del río Moa. En los mismos se calcularon las reservas para níquel.

En el período 1972-1976 se realizó el levantamiento geológico de la antigua provincia de oriente a escala 1: 250 000 por la brigada cubano - húngara de la Academia de Ciencias de Cuba, siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba oriental. El mapa e informe final de esta investigación constituyó un aporte científico a la geología de Cuba al ser la primera interpretación geológica regional de ese extenso territorio basada en datos de campos, obteniéndose resultados interesantes expresados en los mapas geológicos, tectónicos y de yacimientos minerales, columnas y perfiles regionales así como el desarrollo de variadas hipótesis sobre la evolución geológica de la región.

Paralela a estas investigaciones se desarrollan trabajos fotogeológicos sobre diferentes áreas del territorio por especialistas del Centro de Investigaciones Geológicas, entre los que se encuentran la caracterización de la corteza de intemperismo del sector occidental de las hojas cartográficas de Moa y Palenque desarrollados por **V. Teleguin** quien realiza una clasificación de las fracturas que afectan al substrato serpentinitico y el levantamiento fotogeológico de Farallones a escala 1: 50 000 desarrollado por R. Pérez donde se realizó un estudio detallado de las distintas formaciones geológicas del área de estudio y su caracterización geomorfológica, así como el conjunto de tareas que la antigua Empresa Geológica de Oriente realiza en la búsqueda y categorización de las reservas lateríticas.

En el periodo 1980-1985 el Departamento de Geomorfología de la propia institución y en colaboración con la Facultad de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa desarrolló el tema de investigación Análisis Estructural del Macizo Mayarí - Baracoa donde se analiza por primera vez de forma integral para todo el nordeste de Holguín el grado de perspectividad de las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas en dependencia de las condiciones geólogo - geomorfológicas para lo cual fueron aplicados métodos morfométricos y trabajos de fotointerpretación. La deficiencia fundamental de la investigación consistió en el escaso de trabajo de campo realizado para las comprobaciones, utilizándose en sustitución de estas los informes de estudios geológicos realizados en la valoración o categorización de los yacimientos lateríticos.

En **1989 F. Quintas**, realizó el estudio estratigráfico del extremo oriental de Cuba donde propone las asociaciones estructuro- formacionales que constituyen ese extenso territorio así como las formaciones que las integran, realizando la reconstrucción paleogeográfica del Cretácico al Paleógeno, intervalo cronológico de mayor complejidad para la geología de la región oriental.

Recientemente en el 2008 fueron realizados trabajos de evaluación de los recursos limoníticos en el yacimiento, estos trabajos constituye la Base sobre la cual fue realizada la investigación.

Aspectos científicos novedosos a lograr:

- El estudio se enfoca sobre la base de la forma de existencia de los óxidos de manganeso en los perfiles lateríticos y su distribución en los horizontes lateríticos y en las distintas fracciones de muestras, considerando las leyes y principios geoquímicos que rigen el desarrollo de las cortezas de intemperismo;
- Define las principales fases minerales de óxidos de manganeso en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, contribuyendo a enriquecer el conocimiento sobre un tema de singular importancia para el procesamiento metalúrgico de los minerales oxidados portadores de manganeso;
- En el análisis de los óxidos de manganeso y de las características físicas del material laterítico no debe olvidarse que las lateritas son materiales provenientes de las cortezas de intemperismo, la cual posee una evolución geoquímica muy peculiar.

Aporte científico

Caracterización de las formas mineralógica de existencia de los óxidos de manganeso y su distribución en los perfiles lateríticos.

Capítulo I. Localización, Rasgos Físico-Geográficos y Geológicos de la región de estudio

Introducción

Los yacimientos minerales de menas residuales de níquel desarrollados sobre litologías ultramáficas y máficas del complejo ofiolítico, constituyen las principales reservas de menas de hierro, níquel y cobalto en Cuba.

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, geomorfológicos; los que originaron potentes cortezas de intemperismo, las cuales poseen horizontes o capas, que difieren entre sí desde el punto de vista químico y mineralógico, entre otros parámetros.

1.1 Aspectos físico- geográficos de la región de Moa.

1.1.1 Ubicación geográfica.

El yacimiento Punta Gorda se encuentra dentro del municipio de Moa, ubicado en el extremo oriental de la provincia de Holguín. Geográficamente se encuentra limitado al norte por el Océano Atlántico, la carretera de Punta Gorda y la parte baja del curso del río Moa, al sur por la línea convencional que lo separa de los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Este, por el oeste está limitado con el yacimiento Moa Oriental, separado de este por el límite natural del arroyo Los Lirios y el cañón del río Moa y por el este se separa del yacimiento Yagrumaje Norte por el río Yagrumaje, ubicándose en la margen izquierda del mismo [figura 1.1]

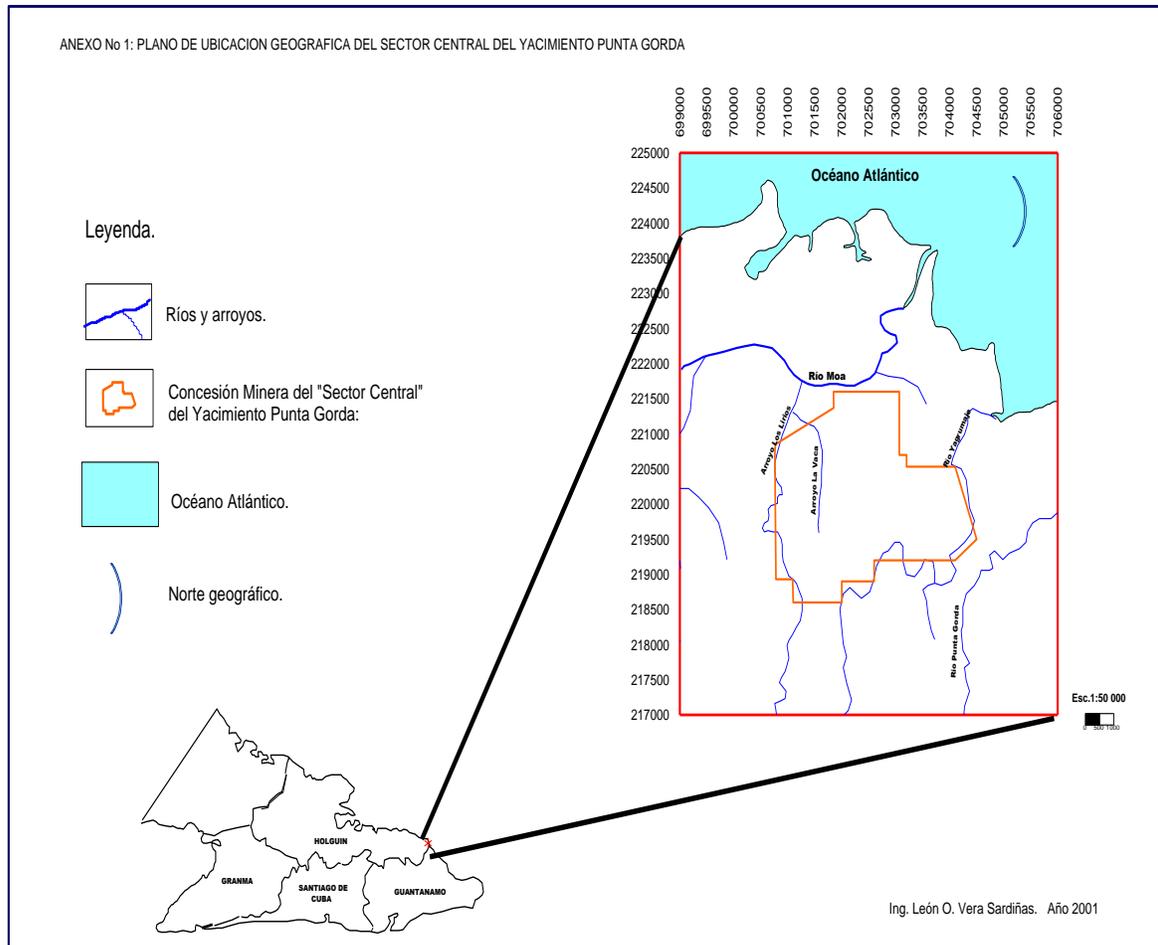


Figura 1.1 Mapa de ubicación geográfica del área de estudio

1.1.2. Aspectos climatológicos

El clima de la zona es subtropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos, seco y húmedo. La temperatura media anual es de 25°C , siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los más fríos enero y febrero, el promedio de precipitaciones anuales entre 1 800-3 000 mm/año siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los meses más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual varía entre los 1 880 y 7 134 mm.

1.1.3. Red fluvial

La red fluvial está representada por los ríos Moa (al norte), sus afluentes arroyo Los Lirios (al oeste), arroyo la vaca (área central) y el río Yagrumaje (al este y sur). La fuente de alimentación principal de estos ríos y arroyos, son las precipitaciones atmosféricas, desembocando las arterias principales en el Océano Atlántico, formando deltas cubiertos de sedimentos palustres y vegetación típica de manglar. La mayor parte del yacimiento está ocupado por la zona de divisorias entre el río Yagrumaje y el arroyo La Vaca, presentando un relieve suavemente ondulado que alcanza una altura de 174 m hacia el sur disminuyendo su altura hasta 20 m al norte y nordeste. La divisoria del río Yagrumaje presenta cotas que van de 174 m hasta 134 m con una cima plana a suavemente ondulada.

1.1.4. Vegetación

La vegetación se caracteriza por la existencia de bosques de *Pinus cubensis* en las cortezas lateríticas y donde hay menores potencias de las mismas, matorrales espinosos, típicos de las rocas ultramáficas serpentinizadas. Las zonas bajas litorales, están cubiertas por una vegetación costera típica entre la que se destacan los manglares.

1.1.5. Relieve

El área de estudio se relaciona, desde el punto de vista regional, con el desarrollo de sistemas de arcos insulares y cuenca marginal durante el mesozoico, y a su extinción a fines del Campaniano Superior- Maestrichtiano. Debido a procesos de acreción tectónica, se produce la obducción del complejo ofiolítico, según un sistema de escamas de sobrecorrimiento, sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas. Relativo a la morfotectónica, el yacimiento Punta gorda se encuentra ubicado en el Bloque El Toldo, el cual ha manifestado los máximos levantamientos relativos de la región (Rodríguez, 1998). La litología está representada por rocas del complejo máfico y ultramáfico de la secuencia ofiolítico, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas.

1.1.6. Principales rasgos económicos de la región

Económicamente la región de Moa está dentro de las más industrializadas del país; cuenta con dos plantas procesadoras de menas de níquel actualmente en producción, la Comandante Ernesto “Che Guevara” y la Comandante “Pedro Soto Alba”, con capacidades de diseño original de 30 000 y 24 000 t de concentrado de Ni + Co al año respectivamente. Esta producción constituye el segundo rubro exportable del país. Además de estas industrias existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y la minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Goetdebeche”, Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), así como otros centros industriales de menor tamaño, vinculados a la actividad económica del territorio. La agricultura no tiene un peso fundamental dentro de la vida económica de la región. En la actualidad se realizan esfuerzos para su desarrollo. También la ganadería se encuentra incipientemente desarrollada. En la zona se encuentran los yacimientos de cromo Merceditas, Amores y Los Naranjos, pero no están en producción. También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geominera Oriente, la Presa Nueva Mundo, el Tejar de Centeno, el combinado lácteo y otros.

1.2. Características geológicas de la región de Moa

El área de estudio se enmarca dentro de la región oriental de Cuba, la cual desde el punto de vista geológico se caracteriza por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del “neautóctono” (Iturralde-Vinent, 1996a, 1996b, 1996c, 1998; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a, 2000a, 2000b). En los macizos rocosos de Mayarí y Sagua-Moa-Baracoa afloran fundamentalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales, y a los arcos de islas volcánicos del Cretácico y del Paleógeno (Cobiella, 1988, 1997, 2000; Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1995, 1996, 1998; Proenza, 1997, Proenza y otros, 1999c; 2000a, 2000b).

Las ofiolitas septentrionales en la región de estudio están enmarcadas dentro de la llamada faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde-Vinent, 1994, 1996a, 1996b, 1998). Sus principales afloramientos están representados por los Macizo Mayarí-Cristal y Moa-Baracoa (Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a).

Desde el punto de vista tectónico la región se caracteriza por su gran complejidad, predominando las estructuras disyuntivas de direcciones NW y NE (Rodríguez, 1998a, 1998b). El área de estudio se caracteriza desde el punto de vista geológico por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y del “Neautoctono” (Iturralde Vinent, 1996).

En la región de estudio se pueden reconocer seis unidades tectónico-estratigráficas (UTE) principales:

- 1) Rocas de afinidad ofiolíticas.
- 2) Materiales volcánicos Vulcano-sedimentarios asociados al arco de islas Cretácico.
- 3) Materiales asociados a cuencas transportadas del Campanéense Tardío al Daniense.
- 4) Rocas volcánicas y Vulcano-sedimentarias pertenecientes al arco de islas del terciario.
- 5) Materiales asociados a cuencas transportadas del Eoceno Medio al Oligoceno.
- 6) Materiales asociados a un estadio neoplatafórmico “Neautoctono” desde el Oligoceno al Reciente (Iturralde, 1999^a, y 1998, Proenza et al. 2000).

Como se observa en el mapa geológico de la región de estudio, las rocas de afinidad ofiolíticas son las de mayor distribución en el área, enmarcándose dentro de la llamada faja ofiolíticas Mayarí- Baracoa (Iturralde Vinent. 1994. 1996 y 1998.). Estas ofiolitas han sido interpretadas como representativas de un sistema de cuencas de retroarco-mar marginal, ubicado paleogeográficamente entre la Plataforma de Las Bahamas y el Arco de las Antillas Mayores (Iturralde Vinent, 1994, 1996b, 1998; Cobiella, 2000).

La faja ofiolítica constituye un cuerpo alóctono tabular con una longitud de 170 Km. Geomorfológicamente dividido en diferentes apartes por el valle del río Sagua de Tánamo y las Montañas del Purial. Posee un espesor que en ocasiones sobrepasa los 1 000 metros (Iturralde Vinent 1996, 1998).

La secuencia de piso a techo está compuesta por peridotitas con texturas de tectonitas, “acumulados ultramáficos”, acumulados máficos, diques de diabasas y secuencias efusivas-sedimentarias. Estas ofiolitas se disponen en forma de escamas tectónicas, cabalgando las rocas Vulcano-sedimentarias del arco de Islas del Cretácico, las cuales están cubiertas transgresivamente por secuencias flyschoides y olistostrómicas del Maestrichtiano al Paleoceno (Fm. Mícara, y la Fm. Picota).

En ocasiones las ofiolitas están cubiertas por materiales Vulcanógeno-sedimentarios procedentes del Arco de Islas del Paleógeno y por secuencias terrígenas - carbonatadas más jóvenes (Quintas, 1989; Iturralde Vinent 1998; Proenza, 1997; Cobiella, 1997, 2000).

1.2.1 Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa

Este macizo de rocas de afinidad ofiolítica, se ubica en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupando un área de 1 500 Km² (Proenza et al. 1999). En esta faja se han descrito varios niveles mantélicos (Jurásico-Cretácico temprano) como corticales (Hauteriviano-Campaniano) (Iturralde Vinent, 1996).

Según Proenza et al. (2003) y Marchesi et al. (2003), en el macizo Moa-Baracoa se pueden reconocer los niveles mantélicos, niveles de gabros bandeados inferiores y niveles volcánicos discordantes.

Sin embargo, los niveles de gabros superiores y de diques de diabasas de una secuencia ofiolítica ideal no afloran. Las diabasas descritas en la región aparecen fundamentalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo (Torres, 1987).

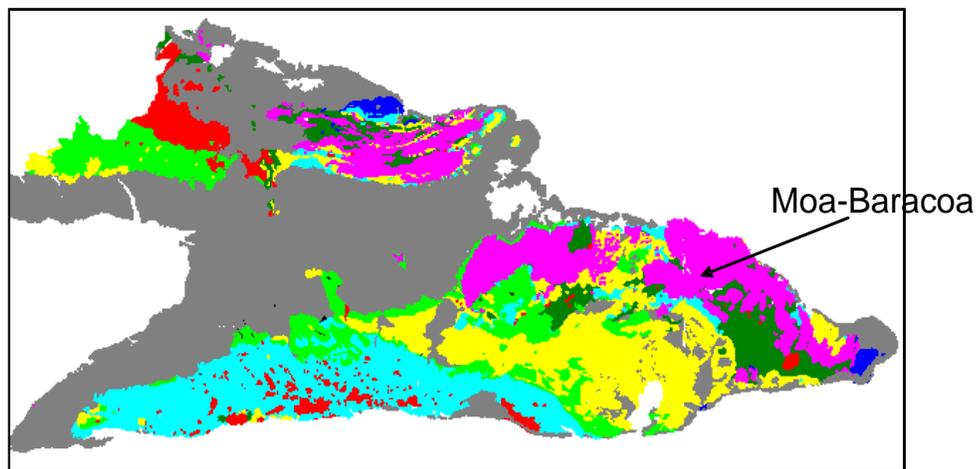
La secuencia mantélica tiene un espesor de paleomanto superior a 2,2 Km. Y los niveles de gabros bandeados de aproximadamente 300 metros (Proenza et al. 2003).

El complejo ultramáfico, desde el punto de vista petrológico, se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado de dunitas; también se han descrito dunitas plagioclásicas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas (García y Fonseca, 1994; Proenza y otros, 1999).

Los cumulos de gabros forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de estos cuerpos oscila entre 1 y 3 kilómetros de ancho por 10 y 15 kilómetros de longitud. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Los gabros muchas veces están cubiertos por mantos de rocas ultramáficas (Fonseca y otros, 1985), aunque Ando y otros (1989) plantean que en algunos sectores el contacto es transicional. Los principales tipos petrológicos son: gabros olivínicos, gabronoritas, gabros, anortosita y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985; Torre, 1987; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999).

El complejo vulcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico (Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999; 2000) y está representado por la Fm. Quiviján (Iturralde Vinent, 1996; 1998), la cual incluye basaltos amigdaloides y porfídicos (algunas veces con estructuras de almohadillas), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de cherts y calizas (Quintas, 1989).

Bajo de las Ofiolitas de la región de estudio subyacen, a través de una falla subhorizontal rocas Vulcano - sedimentarias del Arco de Islas del Cretácico. Aunque en otras regiones los cuerpos ofiolíticos aparecen cubiertos por materiales Vulcano-sedimentarios pertenecientes al arco de Islas del Paleógeno (Fm. Sabaneta) y por secuencias terrígenas-carbonatadas más jóvenes (Quintas, 1989; Iturralde Vinent, 1996). Los principales afloramientos de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa están representados por los macizos Mayarí-Cristal y Moa-Baracoa (Proenza, 1998; Proenza et al., 1999).



Asociaciones Estructuro Formacionales de la región oriental de Cuba

■ Unidad continental	■ Cuencas superpuestas de 1ra generación
■ Ofiolitas	■ Cuencas superpuestas de 2da generación
■ Arco volcánico del Cretácico	■ Intusivos
■ Arco volcánico del Paleógeno	■ Cobertura Neógeno-Cuaternaria

Figura 1.2. Mapa geológico de la región del área de estudio.

1.3. Características Geológicas del yacimiento Punta Gorda

En el yacimiento Punta Gorda se encuentran tres grandes conjuntos litológicos: el basamento, la corteza de meteorización lateríticos y lateritas redepositadas.

En el basamento se revela una alta complejidad tectónica y mediana complejidad litológica. La litología que predomina es la peridotita serpentizada en mayor o menor grado.

De acuerdo a estudios anteriores y a las observaciones de campo, las peridotitas presentes son harzburgitas de color azul verdoso oscuro, con contenido variable de piroxenos rómbicos y olivino.

En menor grado aparecen piroxenos monoclinicos. Tanto los piroxenos como el olivino han sido transformados a minerales del grupo de la serpentina, siendo ocasional la presencia de relictos de los minerales primarios (Quintas et al, 2002; Almaguer et al, 2005).

En el área se localizan fajas de serpentinita foliada, esquistosa y budinada, que coinciden con las zonas de contacto entre mantos tectónicos imbricados. Las fajas deformadas están completamente cortadas y desplazadas por varios sistemas de fallas más jóvenes.

Las budinas, fundamentalmente son de peridotitas, que se presentan fracturadas y rodeadas por serpentinitas esquistosas. Estas fajas se orientan preferentemente al N60°E.

Se observan algunas tendencias distributivas entre las áreas con peridotitas y las que contienen las fajas de micromelanges (serpentinitas foliadas y budinadas), presentándose dos áreas relativamente pequeñas con predominio de peridotitas: al sudoeste y centro norte, mientras que, ocupando la porción central y el borde oriental y norte del yacimiento se alternan las peridotitas con fajas de micromelanges.

La zona central se caracteriza por presentar la forma de un gran arco cóncavo hacia el norte. Las fajas foliadas contenedoras de gabro, aunque ocupan áreas relativamente pequeñas, producen una corteza contaminada, caracterizada por el aumento de sílice y alúmina y la disminución de hierro, níquel y cobalto.

Corteza de meteorización. Está desarrollada principalmente sobre peridotitas de tipo harzburgitas serpentinizadas en distinto grado y por serpentinitas, las cuales ocupan la mayor parte del yacimiento y en menor grado por material friable producto del intemperismo químico de gabro olivínico, plagioclasita y anfibolita, ubicado el primero hacia las zonas este y norte del yacimiento y los otros dos tipos de corteza hacia la parte este del depósito mineral.

También pueden presentarse algunos horizontes calcáreos con gran contenido de fauna. Internamente esta secuencia presenta varios ciclos erosivos-acumulativos, marcado por discordancias erosivas intraformacionales. Por lo general estos depósitos están estratificados, pudiéndose observar estratificación paralela y cruzada. El buzamiento de las secuencias es suave hacia el norte y nordeste.

1.3.1. Tectónica del yacimiento

El área de yacimiento se encuentra limitado por dos grandes fallas regionales que pasan por los valles de los ríos Moa y Cayo Guam (De Dios Leyva, 2000). Por otro lado, el área central del yacimiento se encuentra bajo la influencia de una falla de primer orden que se corresponde con el río Moa, a partir de ella se desarrollan en el yacimiento toda una serie de fracturas de segundo orden, entre los que se destacan las que se encuentran en los arroyos “Los Lirios”, “La Vaca” y el río “Yagrumaje” ; a partir de las cuales, y en forma de plumajes, se desarrollan una serie de pequeñas fracturas a todo lo largo y ancho del área del yacimiento. Estas fracturas tienen carácter premineral, ya que en caso contrario hubieran afectado seriamente el cuerpo mineral presente en el yacimiento, en cuestión (Cuencas et al, 2009).

Discontinuidades Submeridionales con el azimut de buzamiento de 20° a 340° : El período de su formación es del Cretácico Superior, cuando tuvo lugar la intrusión de gabroides. Por esas fracturas la región fue dividida en grandes bloques separados, que posteriormente se desplazaron unos con relación a otros.

Discontinuidades de dirección nordeste: Están desarrolladas ampliamente y con frecuencia son desplazadas por las dislocaciones del grupo siguiente.

Discontinuidades de dirección noroeste: También se manifiestan en todas partes. Por lo visto la mayoría de estos son más jóvenes. (Post - miocénicas).

1.3.2. Condiciones Hidrogeológicas

Las aguas subterráneas del yacimiento Punta Gorda siguen la morfología del terreno, con flujos predominantes hacia el norte en la mayor parte del área, pudiendo tener sentido diferente y hasta opuesto hacia los principales cursos de aguas superficiales. El gradiente varía entre 0.03° y 31.7° (De Miguel, 1997, 2004; Blanco et al, 2004).

Las rocas acuíferas (serpentinitas agrietadas), presentan un importante flujo por la zona del contacto con la corteza impermeable, donde se produce el movimiento lateral del agua, mientras que en las lateritas, con algunas excepciones (en los OIC y redepósitos), el movimiento del agua es fundamentalmente de ascenso capilar, que varían entre 0.0 m a 25.5 m, correspondiendo los mayores valores al corte completo, inalterado aun por el laboreo minero.

La profundidad de las aguas subterráneas se encuentra entre 0 y 27.4 m, correspondiente el nivel 0 a los cursos de aguas corrientes superficiales y a las excavaciones mineras que han descubierto las aguas subterráneas (De Miguel et al, 1998; De Miguel, 2004; Blanco et al, 2004).

Permeabilidad y potencial acuífero:

- Lateritas: En sentido general la permeabilidad en estas secuencias está entre 0.006 y 0.21 m/días, correspondiendo los valores más altos a los horizontes de ocre inestructurales con perdigones y los más bajos a los ocre estructurales.
- Serpentinitas; Bajo este concepto se consideran a todas las ultramafitas serpentinizadas, serpentinitas e incluso pequeños cuerpos de gabro y/o diabasas presentes en el yacimiento de forma subordinada, incluyendo además las rocas lixiviadas. En sentido general la permeabilidad en estas secuencias está entre 0.004 y 0.430 m/días, aunque en zonas de intensa trituración, se pueden encontrar valores anómalos mayores de 2.00 m/días.

Los valores de la potencia acuífera se manifiestan entre 0 y 27.6 m. Los más bajos corresponden a los drenes naturales y a la zona explotada. Los valores más altos corresponden a las áreas más elevadas del yacimiento.

1.4. Características generales de los perfiles lateríticos del mundo

Se realizó la búsqueda y recopilación bibliográfica de todas las informaciones que existen sobre las lateríticas del mundo. Las investigaciones efectuadas en diferentes regiones donde se localizan los yacimientos de menas lateríticas de hierro, níquel y cobalto han demostrado que la combinación de la composición de las rocas ultramáficas, las condiciones climáticas, fenómenos estructurales y la migración selectiva de los elementos químicos que entran en el proceso de laterización han originado perfiles los que se han caracterizado tanto desde el punto de vista mineralógico, geoquímico y estructural, se ha concluido con la existencia de tres perfiles lateríticos: [figura 2.3].

- Perfil de lateritas oxidadas
- Perfil de lateritas arcillosas
- Perfil de lateritas silicatadas

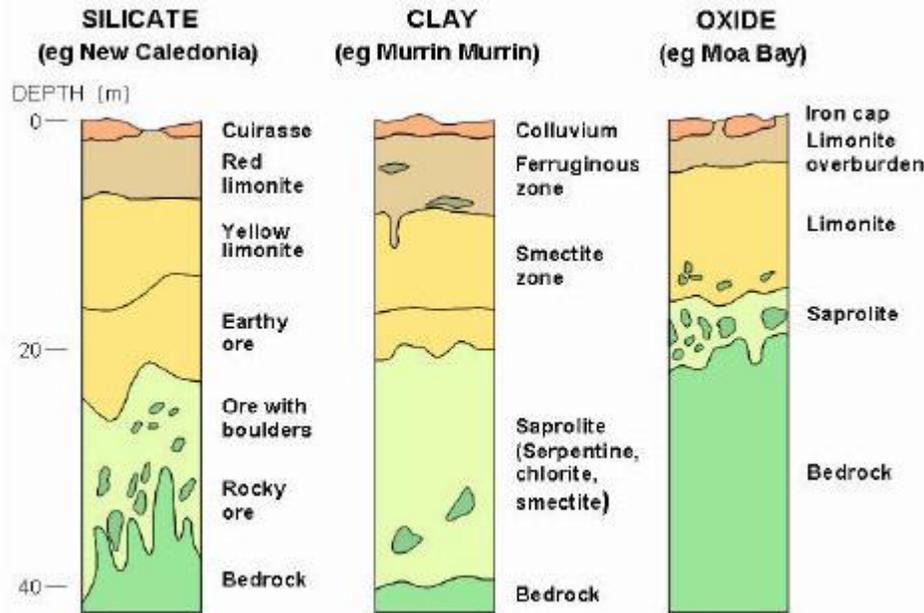


Figura 1.3: Comparación esquemática de los principales tipos de perfiles lateríticos. (tomado de José N - Muñoz, 2004).

➤ Perfil de lateritas oxidadas

El perfil laterítico de menas oxidadas de níquel y cobalto son representantes típicos de los productos más acabados del proceso de lateritización de las menas residuales de Fe-Ni-Co, en este perfil la mineralogía se caracteriza por la existencia de óxidos de Fe, Mn, Al, Cr y otros minerales secundariamente.

El olivino es el más común de los minerales, que aporta Ni, Co, Mn a las lateritas, el Mg^{2+} que está en solución migra del perfil laterítico, en cambio el Fe^{2+} es oxidado y precipitado a hidróxido de hierro, que en las primeras etapas forma compuesto de baja cristalización que después al recrystalizarse pasa a goethita con contenidos industriales de Ni.

En este tipo de perfil, el Ni y el Co liberado a partir de la destrucción de la red del olivino, pasan a solución, los contenidos de Ni y Co en las goethitas alcanzan valores de 1.5% y de 0.1%, respectivamente, los valores iniciales de ambos metales en la red del olivino es tan solo de 0,3% (3000ppm) para el Ni y de 0,02% para el Co (200ppm).

Otra característica de este perfil es la absorción del Ni y el cobalto por minerales de Mn en particular de la asbola – m (Co, Ni) $O.MnO_2.nH_2O$ – en casos específicos los contenidos de Ni y Co alcanzan valores de 12% y 8,5% respectivamente. Desde el punto de vista mineralógico este perfil se caracteriza por el predominio de fases oxidadas y en menor grado la presencia de smectitas, minerales del grupo de la serpentina y fase de minerales silicatados.

➤ **Perfil de lateritas arcillosas**

El perfil laterítico con predominio de minerales arcillosos, se desarrolla en condiciones climáticas menos severas que las condiciones climáticas desarrolladas en las latitudes tropicales, en los climas templados en las latitudes medias.

La lixiviación de la sílice no ocurre con tanta intensidad y se combina con pequeñas cantidades de Al y Fe, formando smectitas como la nontronita, en vez de minerales oxidados de hierro. La nontronita juega un papel similar al que desarrolla la goethita en los perfiles de menas oxidadas, es decir fija los cationes Ni^{2+} en la estructura de las arcillas y en sustitución del Fe^{2+} .

Las arcillas nontroníticas poseen contenidos desde 1,0 – 1,5% en las menas lateríticas. Se ha podido verificar que la sílice sobrante de la formación de las smectitas pasa a formar nódulos de ópalos o de calcedonia dentro de los horizontes arcillosos, los perfiles lateríticos arcillosos se desarrollan en áreas muy amplias con relieve bajos que limitan los desplazamientos de las aguas subterráneas, generalmente estos horizontes arcillosos ricos en Ni, pueden estar cubiertos por capa de óxidos ricos en Fe y pobres

en Ni. Ejemplos de yacimientos lateríticos de perfil arcilloso los localizamos en Murria en Australia y en Brasil.

➤ **Perfil de lateritas silicatadas**

Las menas lateritas silicatadas se caracterizan por un amplio desarrollo del horizonte saprolítico donde la concentración del Ni en los minerales del grupo de la serpentina y también en las smectitas y en la garnierita – la garnierita es un término que recoge a una mezcla de silicatos hidratados de Ni- Mg con baja grado de cristalización, acompañados de serpentina, talco y cloritas – llegando a hasta contenidos del 5% de Ni, como promedio el contenido de Ni es 2-3% Ejemplos típicos de este perfil laterítico se localizan en Nueva Caledonia.

1.5. Generalidades sobre la mineralogía de las cortezas ferroniquelíferas. Presencia de los óxidos de Mn en los perfiles lateríticos

1.5.1. Características de las menas de los yacimientos hipergénicos de níquel y cobalto en Cuba.

Los horizontes lateríticos están compuestos básicamente por óxidos e hidróxidos de Fe (goethita, espinela, maghemita y hematita), los cuales representan de un 75 % a un 85 % en estos horizontes.

En el corte laterítico pueden estar presentes fases minerales de hidróxidos de Al (gibbsita) y en menor cantidad minerales de Mn (asbolanas), sílice (en forma amorfa) y minerales del grupo de las serpentinas (antigorita y lizardita).

En la tabla 1.5 se puede apreciar un resumen de las principales fases minerales por horizonte en el perfil laterítico en los yacimientos de Moa (Rojas Purón, 1994), pudiéndose extrapolar esta composición mineralógica para los yacimientos Nicaro y Pinares de Mayarí. En esta tabla se nota claramente que la goethita constituye la fase mineral predominante en el material laterítico, sobre todo en el horizonte de ocre medio.

Tabla 1.1: Composición mineralógica de las cortezas lateríticas de los yacimientos cubanos. Rojas Purón, 1994.

Fases Minerales	Contenido por horizonte en %			
	Concreciones ferruginosas	Ocres	Serpentinita alterada	Serpentinita dura
Goethita	60	69	18	5
Espinelas	8	10	2	3
Hematita	7	5	-	-
Minerales de Mn	2.5	3	-	-
Gibbsita	15	8	2	-
Cuarzo	2.5	2.5	2	-
Esmectitas	-	-	3	-
Nepouita	-	-	8	3
Enstatita	-	-	2	5
Cloritas	2.5	2.5	5	3

Es característica en los depósitos ferroniquelíferos la presencia de la paragénesis magnetita - maghemita, hecho que indica la transformación de los minerales de Fe en el ambiente intempérico; la maghemita es una fase metaestable en transición a las fases de la hematita (Sobol, 1968); la hematita (Fe_2O_3), es propia de un ambiente netamente oxidante, se localiza principalmente en la zona superior del perfil laterítico, detectándose por el aspecto oolítico y la coloración pardo - rojiza.

Las asbolanas y litioforita constituyen las principales fases representantes de los minerales de Mn en estos perfiles lateríticos. Ellas se encuentran en muy poca cantidad y tienden a concentrarse en la zona de ocre medio y superior (ocre estructural e inestructural sin perdigones). En estos perfiles también se ha detectado la presencia de elisabentinskita (aunque en poca cantidad), como una de las fases minerales de Mn presentes en el material laterítico.

En el material laterítico se destaca con frecuencia el cuarzo y probablemente sílice amorfa en pequeñas cantidades (alrededor de un 3 a un 5 %).

Los minerales del grupo de la serpentina (antigorita, lizardita y crisotilo) constituyen las principales fases minerales de los horizontes serpentínicos, además de las cloritas (clinocloro, schuchardita), esmectitas (principalmente nontronita), así como la presencia de la fase nepouita, observable en el material serpentínico lixiviado, de color verde claro presente particularmente en las grietas y fisuras de las serpentinitas.

Dentro de los minerales serpentínicos el más abundante en los perfiles lateríticos es la lizardita, que suele presentarse con una coloración verde a verde grisáceo, asociado a fibras de crisotilo asbesto y antigorita, difíciles de diferenciar unos de otros por rayos- x (Bientz, 1990).

De lo visto respecto a la composición mineralógica de los perfiles lateríticos se puede concluir que muchos de los componentes principales pueden presentarse en más de una forma mineralógica, por las numerosas fases minerales en que pueden aparecer, detectándose los compuestos ferrosos (Fe_2O_3 y FeO), óxidos de Mg y sílice (SiO_2). Vale señalar que el Fe puede presentarse en varias formas mineralógicas, desde goethita y hematita, hasta espinelas (magnetita y cromoespinelas), cada una de ellas con sus características cristalóquímicas específicas, lo que influye en la diferenciada forma de retención y afinidad que tienen cada una de estas fases minerales respecto al níquel. Algo parecido se observa con el magnesio y la sílice, los cuales se pueden presentar según varias formas minerales.

Es necesario resaltar además, que no existen formas mineralógicas propiamente de Ni en las menas oxidadas de estos yacimientos, lo que le confiere una enorme importancia a las fases minerales portadoras de este elemento. La nepouita constituye la fase mineral de Ni presente en estas cortezas, pero es un filosilicato que predomina en la zona de serpentinita lixiviada o alterada, estando en muy poca cantidad en el material laterítico (de un 5% o menos), hemos podido observar que ésta es relativamente abundante en el yacimiento San Felipe, Camagüey, fundamentalmente en la parte donde el intercambio hídrico es malo o por debajo del nivel freático, no siendo así en el resto de los yacimientos.

Los depósitos lateríticos de níquel se forman por oxidación progresiva de los minerales de la roca madre, siendo lixiviados los componentes solubles por las aguas subterráneas y acumulados los componentes relativamente insolubles junto con algunos de los minerales refractarios. La secuencia de minerales metaestables es remplazada por minerales estables en condiciones superficiales. El grado en que los minerales transicionales se desarrollan depende de la roca madre y de las condiciones de meteorización.

En las rocas ultrabásicas la mayor parte del níquel se encuentra en la estructura cristalina del olivino, mientras que el cobalto se encuentra preferentemente en la estructura cristalina de los piroxenos; esta es la consecuencia de que la relación níquel – cobalto sea mayor en dunitas que en piroxenitas, he aquí una razón más para el estudio de la composición de la roca madre, sobre todo si el proyecto minero a ejecutar se encuentra en la etapa de exploración preliminar.

La mayor parte de las rocas ultramáficas están serpentinizadas y el grado de alteración varía en rangos menores que ocupan solo las grietas, hasta un completo metasomatismo.

Capítulo II. Materiales y Métodos de investigación empleados

2.1 Generalidades sobre los métodos de investigación utilizados

Por las características físicas y la naturaleza de los minerales estudiados, se hizo necesario el uso de las técnicas instrumentales modernas de análisis tales como la Difracción de Rayos – X (DRX), la Microscopia Electrónica (ME) y óptica con sus múltiples métodos y variantes.

2.2 Muestreo y Materiales utilizados. Esquema de perfiles lateríticos. Tablas de descripción megascópicas de las muestras.

Materiales

Para obtener estos resultados se utilizaron 18 muestras de dos perfiles lateríticos L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda, representativas de los principales horizontes que componen la corteza de intemperismo del yacimiento según:

- Concreciones ferruginosas (C) (escombro).
- Ocre, distinguiéndose Ocre Superior (OS), Ocre Medio (OM) y Ocre Inferior (OI) (laterita níquelífera, LB).
- Serpentinitas Alteradas (SA) (serpentinita níquelífera) o zona saprolita.
- Serpentinitas Inalteradas o duras (S).

Para la evaluación de cada uno de los perfiles se tuvo en cuenta la potencia de los horizontes lateríticos y la intensidad de la meteorización, porque cada uno de estos perfiles presenta niveles evolutivos diferentes. El perfil L-48 es representante de un perfil maduro o perfil completo, en tanto el perfil M-47, está más próximo a un perfil laterítico inmaduro o menos maduro.

Para la realización de este trabajo se estudiaron muestras puntuales de 1 Kg, de la corteza de intemperismo de dos perfiles lateríticos (L-48 y M-47) del yacimiento Punta Gorda. En ambos perfiles están presentes los horizontes de concreciones ferruginosas (designada por C, correspondiente al escombros); ocre (se designan OS para el ocre superior, OM, para el ocre medio, OI, para el ocre inferior); serpentinitas alteradas (SA, saprolita) y serpentinitas duras (S, roca madre), (Figura 2.1). 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.

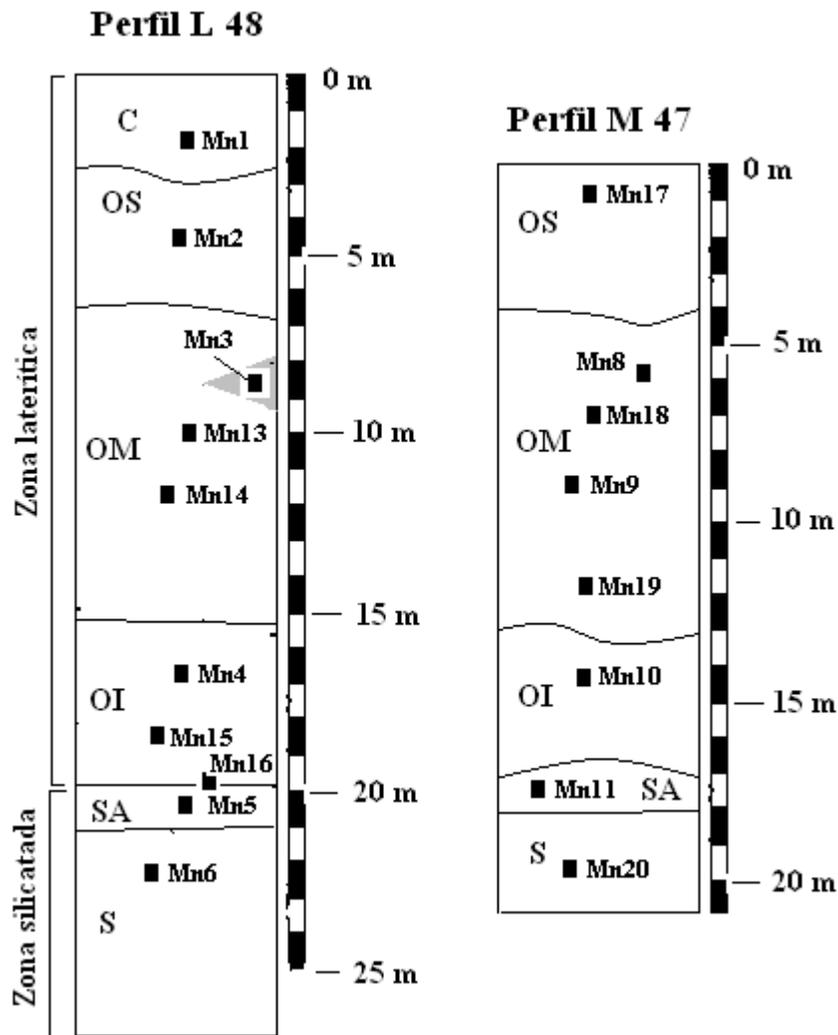


Figura 2.1: Esquema de los perfiles lateríticos, L-48 y M-47, del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. Observaciones: Horizontes: C: concreciones ferruginosas; OS: ocre superior; OM: ocre medio; OI: ocre inferior; SA: serpentinita alterada; S: serpentinita inalterada o roca madre. (—) Mn1: toma de muestra. Dibujo no está realizado a escala.

Tabla 2.1

Descripción megascópicas de las muestras para el perfil laterítico L-48

Componente física	Muestras									
	Mn1	Mn2	Mn3	Mn13	Mn14	Mn4	Mn15	Mn16	Mn5	Mn6
Color	Pardo rojizo	Pardo rojizo	Pardo amarillento	Amarillo parduzco	Pardo amarillento	Amarillo parduzco	Pardo rojizo	Pardo grisáceo	Gris verduzco	Gris oscuro con algo amarillento
Grado de fracturación	Material terroso	Material terroso con granos fracturados	Material terroso	Poco fracturado						
Granulometría estimada	Variable	Variable	Variable	Variable	fina	fina	fina	variable	media	fina
Grado de compactación	Deleznable	Deleznable	Medio	Deleznable	medio	medio	medio	Deleznable	compacto	Muy compacto
Horizonte que pertenece	Concreciones ferruginosas	Ocre superior	Ocre medio	Ocre medio	Ocre medio	Ocre inferior	Ocre inferior	Contacto entre OI y SA	serpentinita alterada	serpentinita inalterada
Foto de la muestra										

Tabla 2.2

Descripción megascópicas de las muestras para el perfil laterítico M-47.

Componente física	Muestras							
	Mn17	Mn8	Mn18	Mn9	Mn19	Mn10	Mn11	Mn20
Color	Pardo rojizo	Pardo amarillento	Pardo amarillento	Pardo amarillento	Amarillo parduzco	Pardo amarillento	Gris verduzco	Verde grisáceo
Grado de fracturación	Material terroso	Material terroso	Fracturada en forma laminar	Fracturada en forma laminar				
Granulometría estimada	fina	fina	variable	Variable	fina	variable	fina	variable
Grado de compactación	Deleznable	Deleznable	Deleznable o poco compacto	Deleznable	Deleznable	Deleznable	compacto	Compacto
Horizonte que pertenece	Ocre superior	Ocre medio	Ocre medio	Ocre medio	Ocre medio	Ocre inferior	Saprolita	Serpentinita inalterada
Foto de la muestra								

2.3 Métodos de investigación utilizados

Para los análisis químicos se empleó un espectrómetro secuencial de Fluorescencia de Rayos X, Phillips PW 1480 utilizando radiación de rayos X con Rn tipo PW2182/00, con un régimen de 3000w y 100 Kv al vacío con colimador fino. Este equipo pertenece al laboratorio de Difracción de Rayos – X del Centro de Geociencia de la Universidad federal de Pará (UFPa).

El procesamiento de las muestras por Difracción de Rayos – X se realizó en el Laboratorio del Instituto de Geociencia de la Universidad Federal de Pará, Belém, Brasil; según método policristalino utilizando el difractómetro de la PHILIPS, modelo PW 3710, con radiación de $\text{CuK}\alpha$. 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. El equipamiento pertenece al laboratorio de Difracción de Rayos – X del Centro de Geociencia de la Universidad federal de Pará (UFPa). Además de forma utilizando un difractómetro alemán del tipo HZG – 4 con radiación de $\text{CoK}\alpha$, régimen de procesamiento de 30 Kv, 20 mA, 2θ : 5 a 80° y generador de voltaje TUR M–62; para el registro y tratamiento de los datos roentgenométricos se emplearon los softwares ANALIZE para análisis cualitativos de los minerales y AUTOQUAN para estimación cuantitativos de los minerales, de la SEIFERT X - Ray Technology (Versión 2.26) del 2001, de procedencia alemana.

La Microscopía electrónica de Barrido se realizó con un microscopia de modelo LEO-1430 de la Carl Zeiss do Brasil, se trabajó con un Voltaje de 20 kv para imágenes de electrones retrodispersados, Voltaje de 10 kv para imágenes de electrones secundarios, Distancia de trabajo de 15 mm y una Corriente de haz de electrones = 90 mA. Las muestras fueron metalizadas con carbono.

Capítulo III. Análisis e Interpretación de los resultados obtenidos

Introducción

En el presente capítulo se presentan los principales resultados de la caracterización mineralógica de los óxidos de Mn en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

Esta caracterización abarca las características químicas en los diferentes horizontes, las principales fases minerales presentes en estas cortezas y presencia de los óxidos de Mn en estos perfiles lateríticos.

Los resultados se obtuvieron a partir de las interpretaciones sobre la base de datos de Fluorescencia de rayos-X, Difracción de rayos-X y Microscopia Electrónica de Barrido(MEB).

3.1. Características químicas de los perfiles lateríticos

Las tablas 3.1 y 3.2 muestran los resultados de la composición química de las muestras analizadas de los perfiles L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda. La zona laterítica de los perfiles L-48 y M-47 está compuesta por materiales esencialmente ferrosos, y alcanzan alrededor de un 70% de Fe_2O_3 ; presentan además contenidos significativos de aluminio (alrededor de un 10% de Al_2O_3), mientras que los contenidos de SiO_2 y MgO son bajos, alcanzándose de 1 a 2% de sílice y de 0.2 a 1.2% de óxido de magnesio.

Desde el punto de vista químico no existen diferencias notables entre los perfiles analizados, pero 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 la zona silicatada de los perfiles, se enriquece en sílice (35 a 41% SiO_2) y magnesio (32 a 36% de MgO). En esta zona de materiales silicatados la variación del contenido de hierro tiene ciertas diferencias por perfil, pues en el perfil L-48 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 % de Fe_2O_3 en el ocre inferior y bruscamente pasa a la zona silicatada con un contenido alrededor de un 9 % de Fe_2O_3 , 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 % de Al_2O_3 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 , 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 el horizonte de ocre inferior de la muestra Mn19 la presencia de un material amarillo ligeramente parduzco 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 conocido (Zeissinki, 1969; Brand y otros, 1998). Así tenemos que en la zona laterítica su contenido varía desde menos de 1 % de NiO en la parte superior, incrementándose en el ocre superior y medio donde alcanza entre 1,6 y 2 % de NiO, y finalmente los valores más altos en la zona silicatada alterada (2,4 a 2,8 % NiO). Puede señalarse que el perfil maduro es más rico en níquel tanto en las lateritas (2,20 % de NiO) como en las saprolitas (2,43 % de NiO). El cromo expone un comportamiento ya conocido para este metal, concentrándose para 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 % de CaO) y serpentinita inalterada (0,3 % de CaO) 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 contenidos anómalos 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 altos contenidos de manganeso y cobalto (muestras Mn8 y Mn19).

Tabla 3.1

Composición química de muestras del perfil L-48 del yacimiento Punta Gorda.

Componente	Contenido en %									
	Muestras									
	Mn1	Mn2	Mn3	Mn13	Mn14	Mn4	Mn15	Mn16	Mn5	Mn6
SiO ₂	1,32	1,6	1,7	1,6	1,5	2	1,9	24,8	35,9	40,9
TiO ₂	0,29	0,61	0,1	0,12	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	0
Al ₂ O ₃	10,7	20,2	8,4	8,9	7,9	6,8	8,1	3,7	1,6	0,6
Fe ₂ O _{3T}	68,5	57,5	59,5	72	73,2	71,7	72,1	35,7	14,5	8,6
MnO	0,11	0,39	9,91	0,14	1,98	0,83	1,08	0,57	0,12	0,1
MgO	0,26	0,41	0,21	0,46	0,74	0,42	1,14	18,5	32,3	35,9
CaO	0,01	0,22	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,02	0,28
Na ₂ O	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
K ₂ O	0,01	0,01	0,18	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01
P ₂ O ₅	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Co ₃ O ₄	0,05	0,04	1,02	0,03	0,28	0,1	0,17	0,1	0,02	0,01
Cr ₂ O ₃	3,53	2,88	1,63	2,92	2,44	2,54	3,58	2,04	0,74	0,39
NiO	0,93	0,54	2,2	1,04	0,95	1,62	1,37	2,81	2,37	1,69
P.F.(1000°C)	14	15,5	14,4	12,6	10,8	13,7	10,4	11,5	12,3	11,5

$(\mu\text{g g}^{-1})$

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 3.2

Composición química de muestras del perfil M-47 del yacimiento Punta Gorda.

Componente	/ Contenido en %							
	Muestras							
	Mn17	Mn8	Mn18	Mn9	Mn19	Mn10	Mn11	Mn20
SiO ₂	1,6	1,9	1,9	1,8	2	1,9	39,2	39,4
TiO ₂	0,35	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	13,7	7,2	8,6	7,3	8,3	6,2	2,6	0,9
Fe ₂ O _{3T}	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 ₂ O	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
K ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01
P ₂ O ₅	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Co ₃ O ₄	0,02	0,34	0,06	0	0,32	0,16	0,01	0,01
Cr ₂ O ₃	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

 $(\mu\text{g g}^{-1})$

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

3.2. Resultados de Difracción de Rayos – X (DRX)

3.2.1. Fases minerales identificadas en el Perfil L-48 según los análisis cualitativos y cuantitativos mediante las técnicas de DRX, utilizando software de Analyze para análisis cualitativos y Autoquan para estimación cuantitativos.

Muestra Mn1

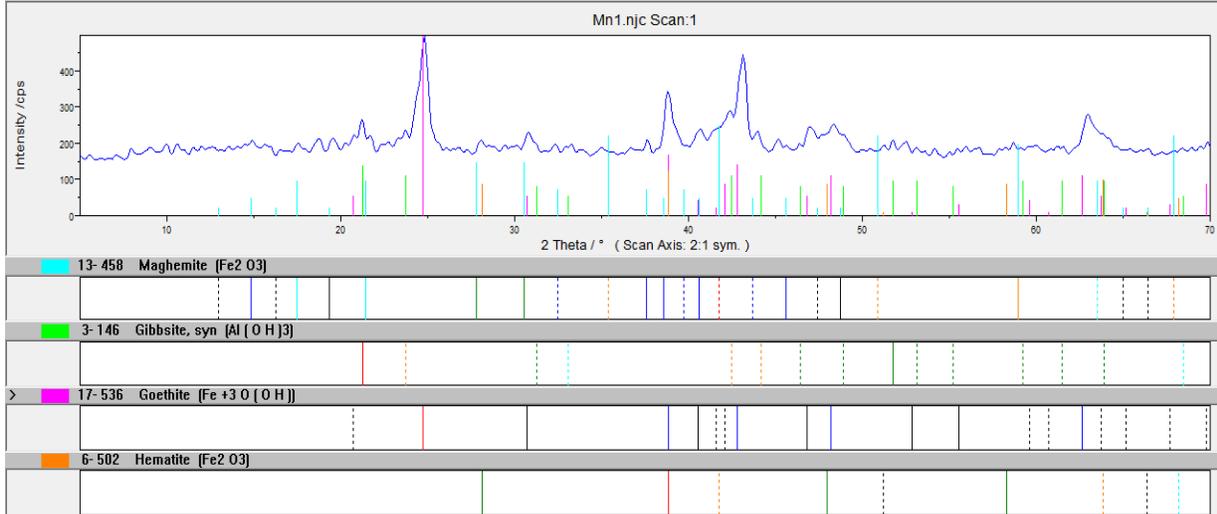
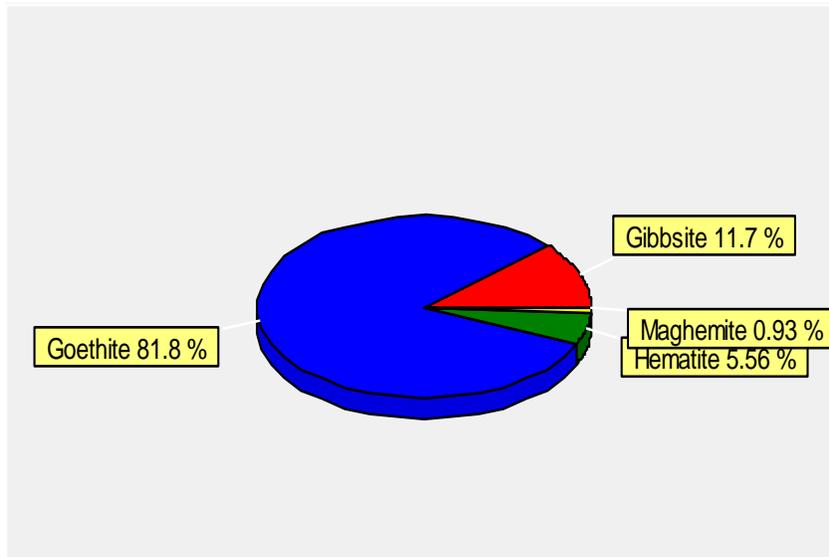


Figura 3.1 Difractograma de la muestra Mn1 de concreciones ferruginosas de la zona laterítica del perfil L-48.



Se puede apreciar como fase principal la goethita, con cantidades menores de gibbsita, hematita y maghemita.

El elevado contenido de gibbsita, según nuestro criterio, tiene su origen en la presencia de clorita $((\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3 (\text{OH})_6)$ en zonas silicatadas (serpentinitas alteradas e inalteradas) del perfil laterítico, porque la clorita es uno de los minerales de mayor contenido de Al_2O_3 en estas zonas, de manera que la desintegración de minerales del grupo de la clorita durante el proceso de meteorización favorece el enriquecimiento en hidróxido de aluminio $(\text{Al} (\text{OH})_3)$ que se encuentra concentrado en la parte superior del perfil laterítico en forma de gibbsita.

Muestra Mn 2

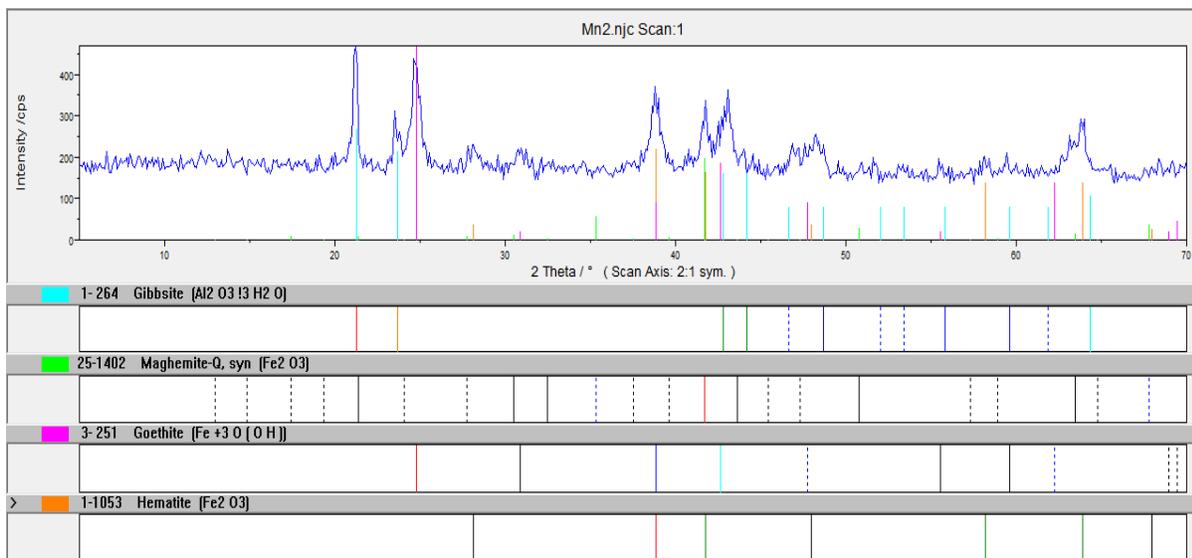
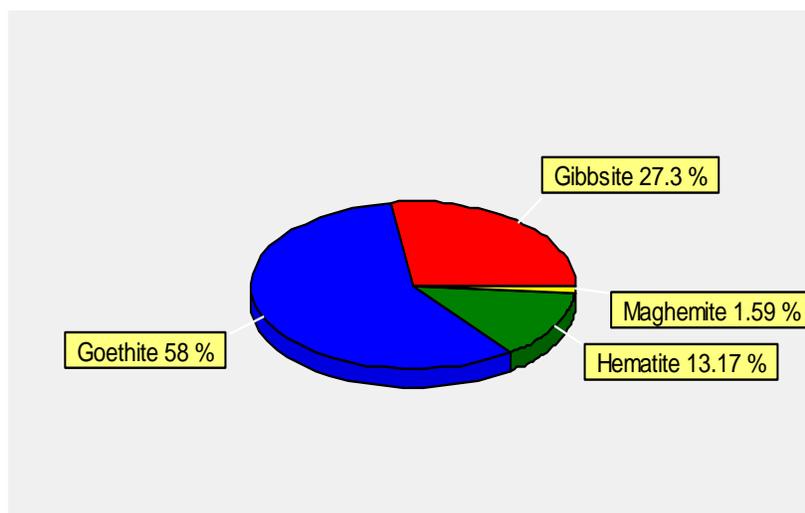


Figura 3.2. Difractograma de la muestra Mn2 de ocre superior de la zona laterítica .



Se observa la goethita como fase principal, con cantidades menores de gibbsita, hematita y maghemita.

El elevado contenido de gibbsita tiene una explicación semejante a la que se expresa en el caso anterior, es decir por la influencia de la desintegración del mineral clorita, presente abundantemente en esta zona del corte.

Muestra Mn3

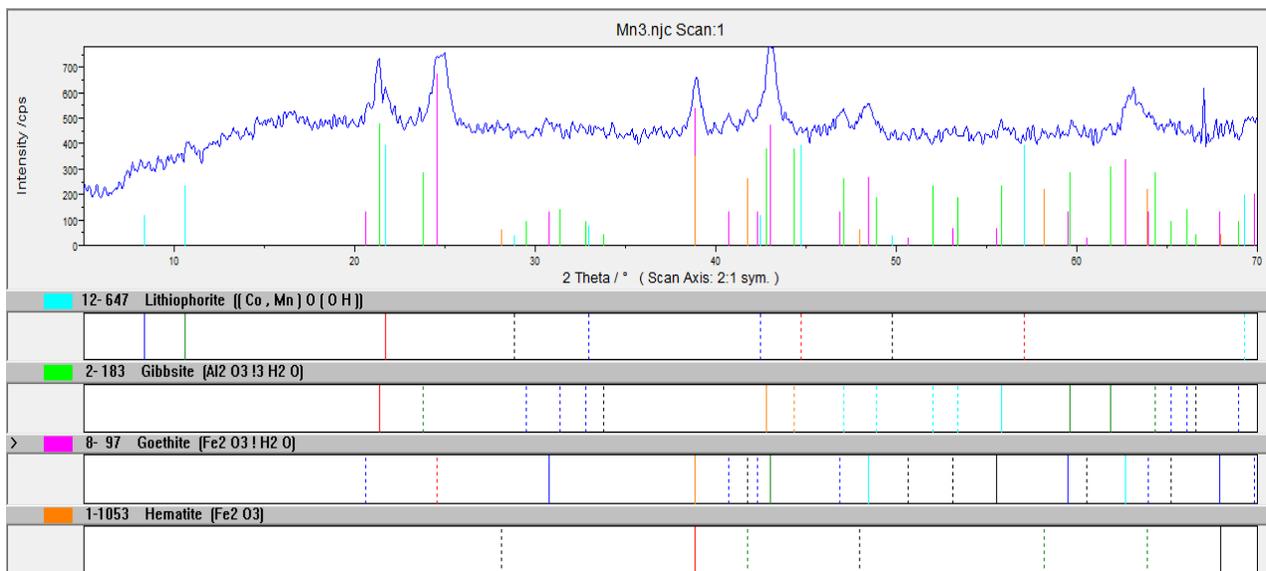
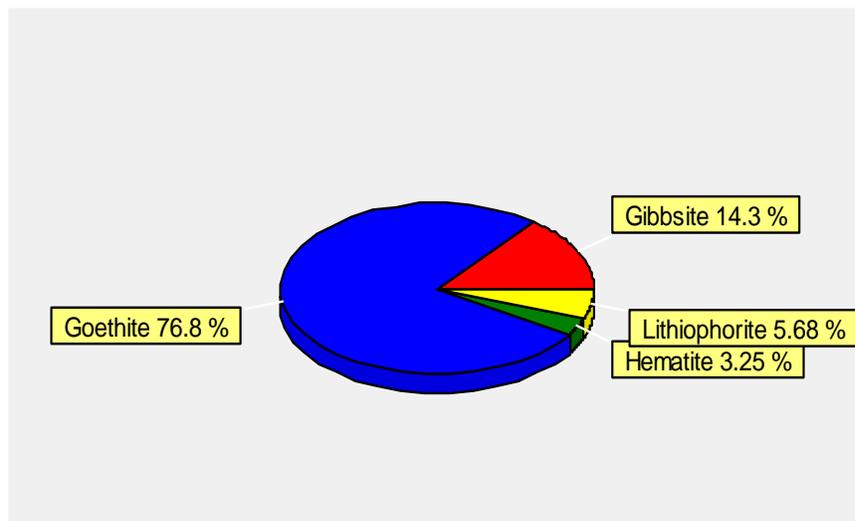


Figura 3.3. Difractograma de la muestra Mn3 de ocre medio de la zona lateritica.



Aparece la goethita como fase principal, con cantidades menores de gibbsita, hematita y litioforita. Dentro de las fases manganíferas se destaca la presencia de la fase de óxido de Mn, litioforita. Esta es la muestra más significativa para este tipo fase mineral de óxidos de Mn.

Muestra Mn13

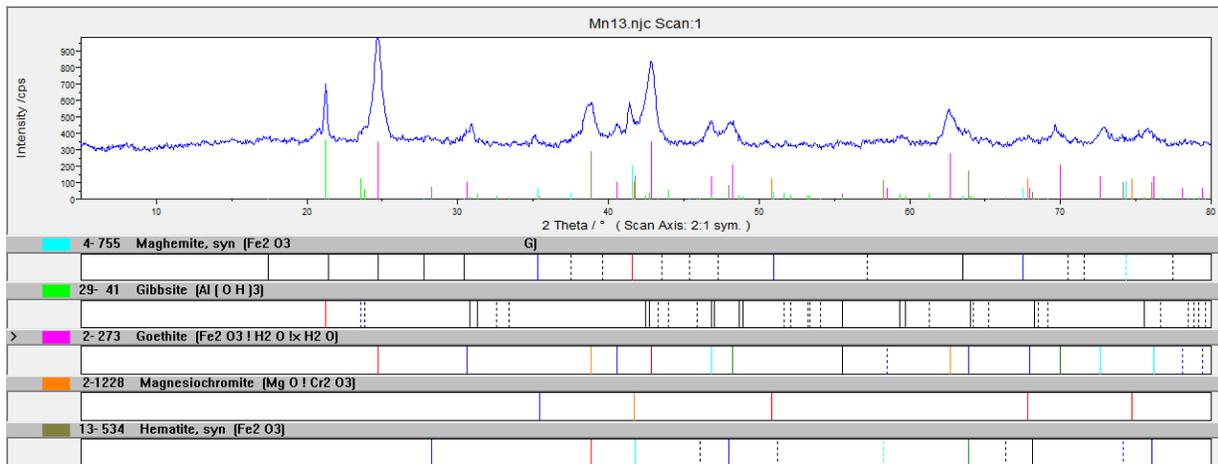
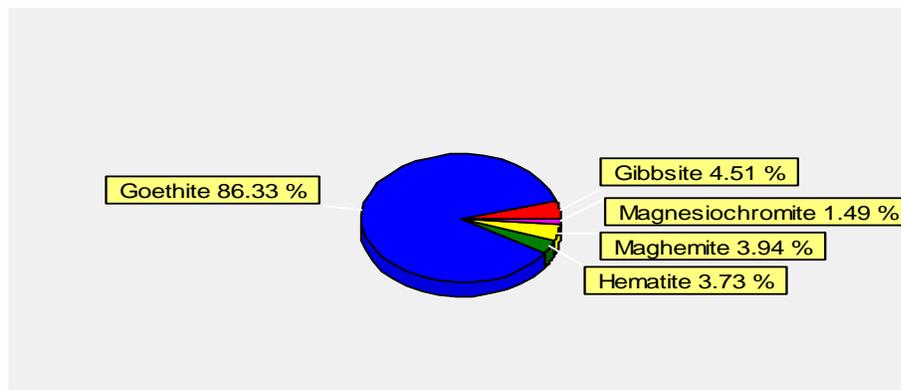


Figura 3.4. Difractograma de la muestra Mn13 de ocre medio de la zona laterítica.



Fase principal la goethita, con cantidades menores de gibbsita, hematita, maghemita y magnesiocromita.

Muestra Mn14

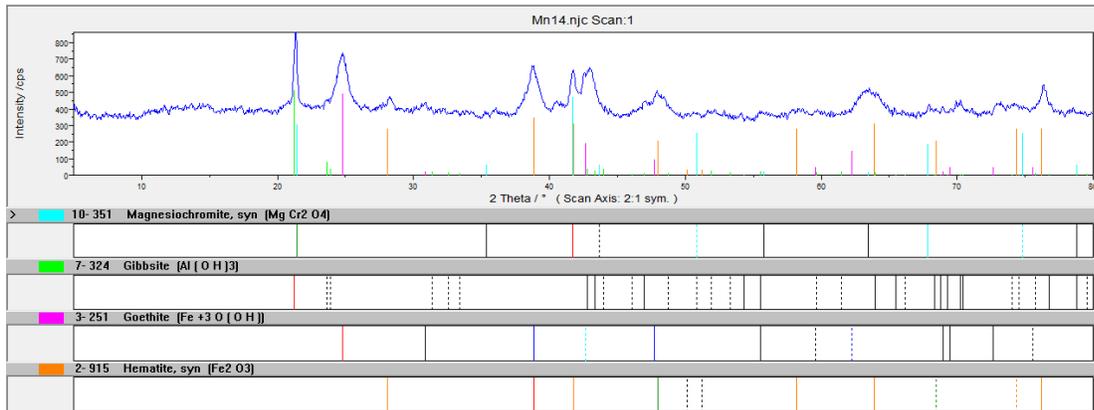
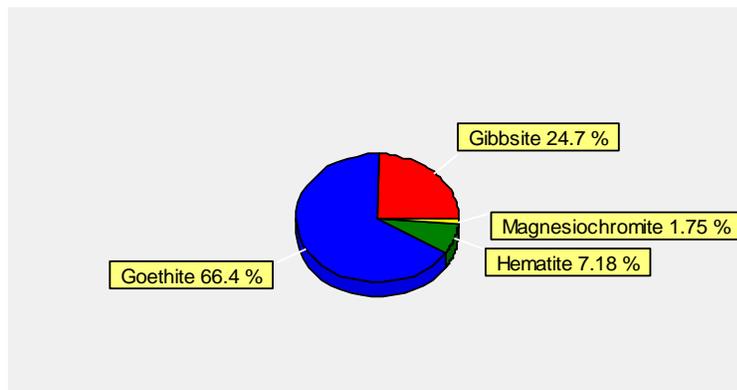


Figura 3.5. Difractograma de la muestra Mn14 de ocre medio de la zona lateritica.



La goethita sigue siendo la fase mineral principal y la gibbsita como fase secundaria, con cantidades menores de hematita, maghemita y magnesiocromita.

El elevado contenido de gibbsita tiene una explicación semejante a la que se expresa en los casos anteriores, es decir por la influencia de la desintegración del mineral clorita, presente abundantemente en esta zona del corte.

Muestra Mn4

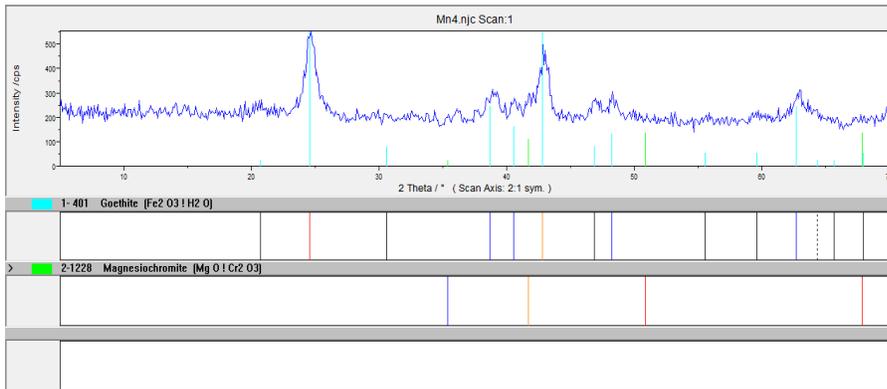
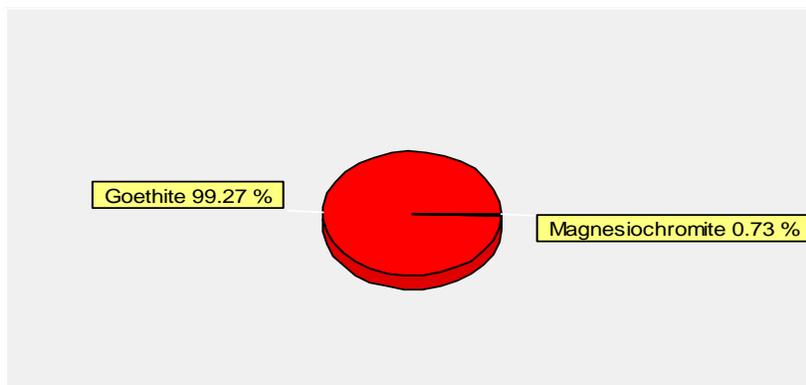


Figura 3.6. Difractograma de la muestra Mn4 de ocre inferior de la zona lateritica.



Es una muestra compuesta por material goethítico, por esto la goethita es la fase mineral más abundante con menor cantidad de magnesiocromita.

Muestra Mn15

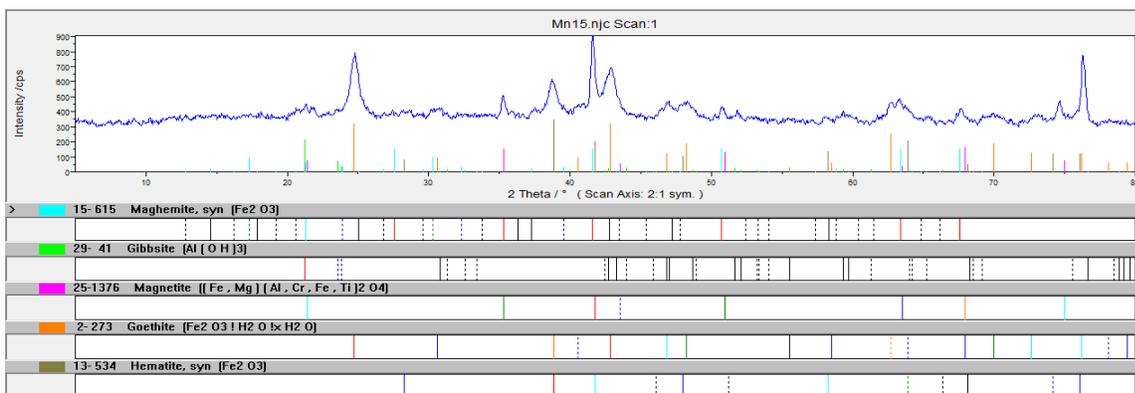
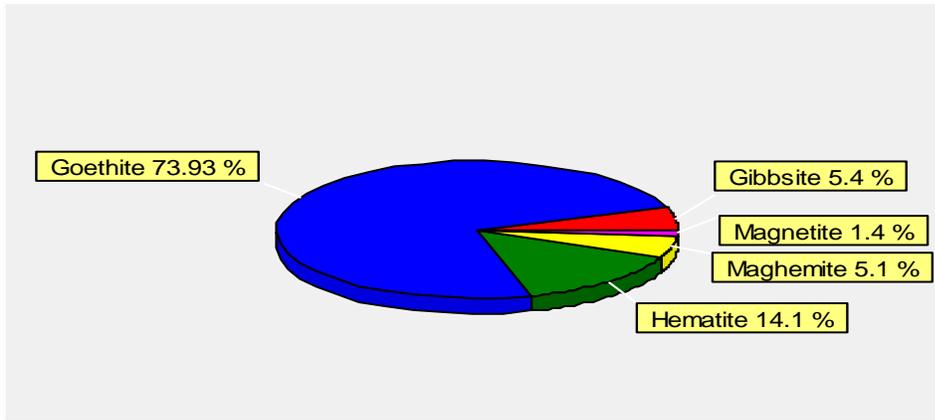


Figura 3.7. Difractograma de la muestra Mn15 de ocre inferior de la zona lateritica.



Fase principal es la goethita, con cantidades menores de gibbsita, hematita, maghemita y magnetita.

Muestra Mn16

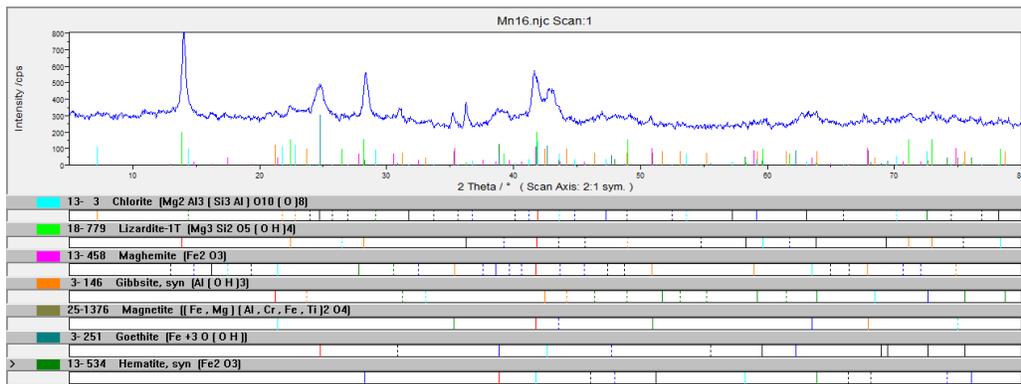
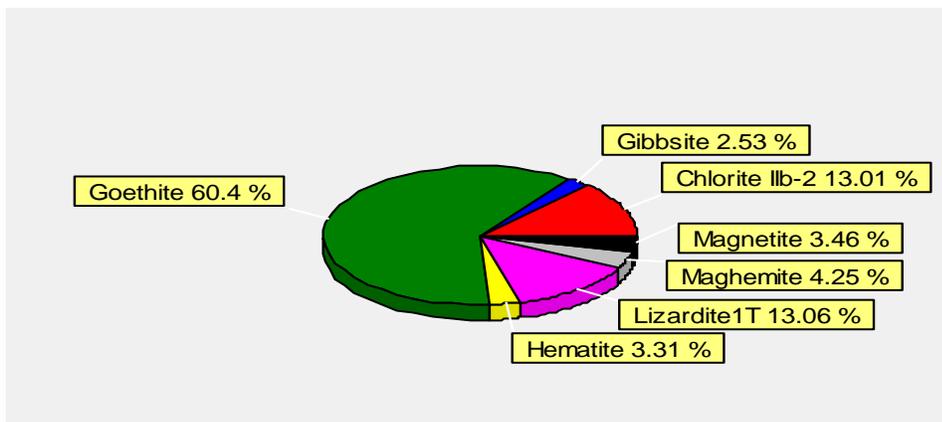


Figura 3.8. Difractograma de la muestra Mn16 de contacto entre ocre inferior y saprolita



Es una muestra que se tomó en el contacto entre zona laterítica y zona silicatada. La goethita sigue siendo la fase dominante con buenos contenidos de lizardita, clorita; y menores contenidos gibbsita, magnetita, hematita y maghemita.

Muestra Mn5

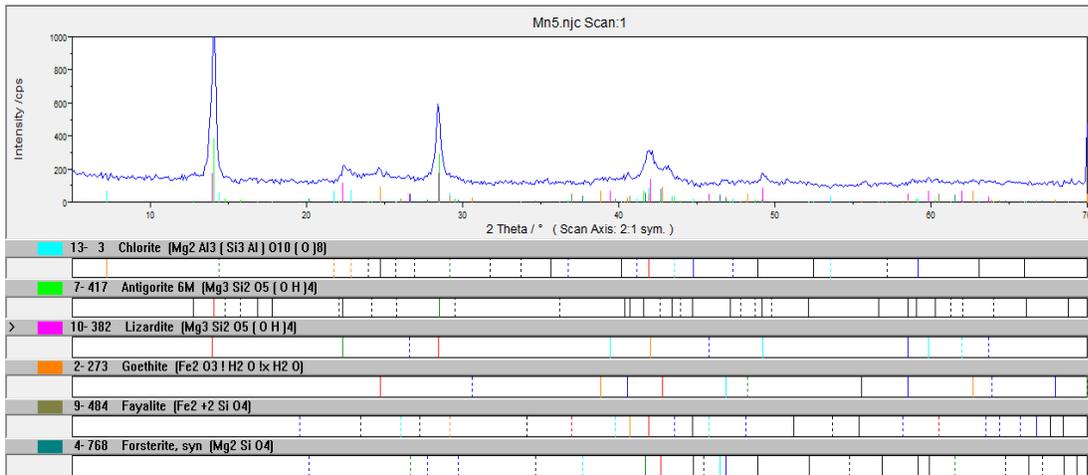
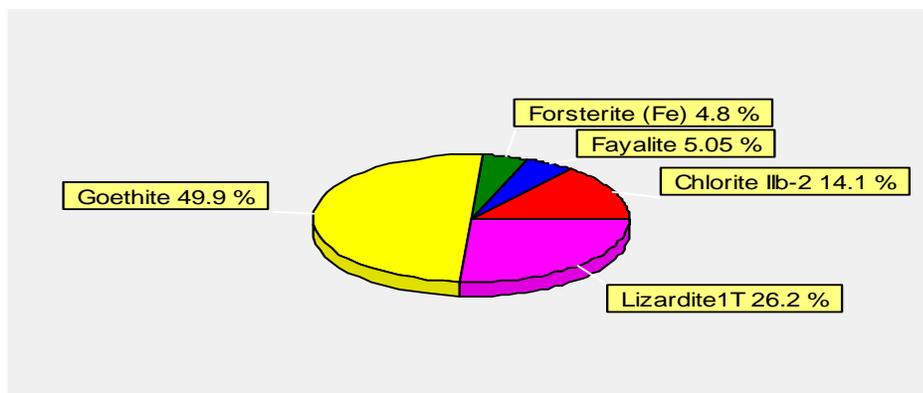


Figura 3.9. Difractograma de la muestra Mn5 de saprolita de la zona silicatada.



En esta muestra las fases principales son goethita, minerales de grupo de serpentina (lizardita) y clorita con menores cantidades de forsterita y fayalita.

Muestra Mn6

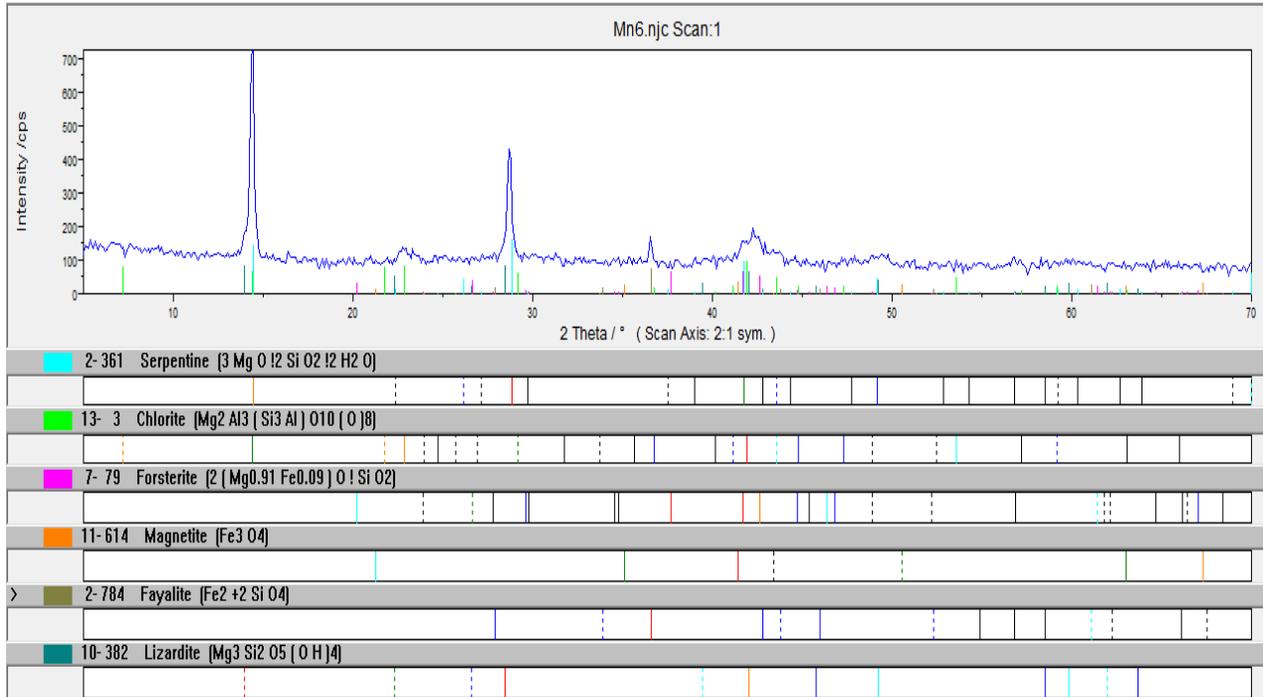
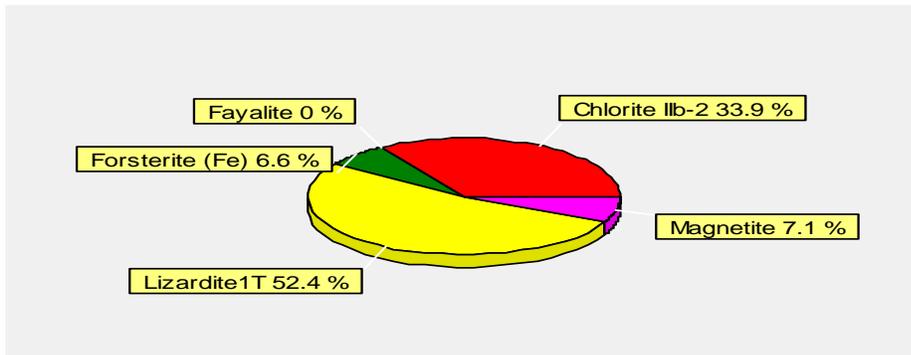


Figura 3.10. Difractograma de la muestra Mn6 de serpentinitas inalterada de la zona silicatada del perfil L-48.



En esta muestra se destacan los minerales del grupo de serpentina (lizardita) y clorita como las fases predominantes con menores cantidades de forsterita y magnetita.

3.2.2. Las fases minerales identificados del Perfil M-47 según los análisis cualitativos y cuantitativos por las técnicas de software de Analyze para análisis cualitativos y Autoquan para estimación cuantitativos.

Muestra Mn17

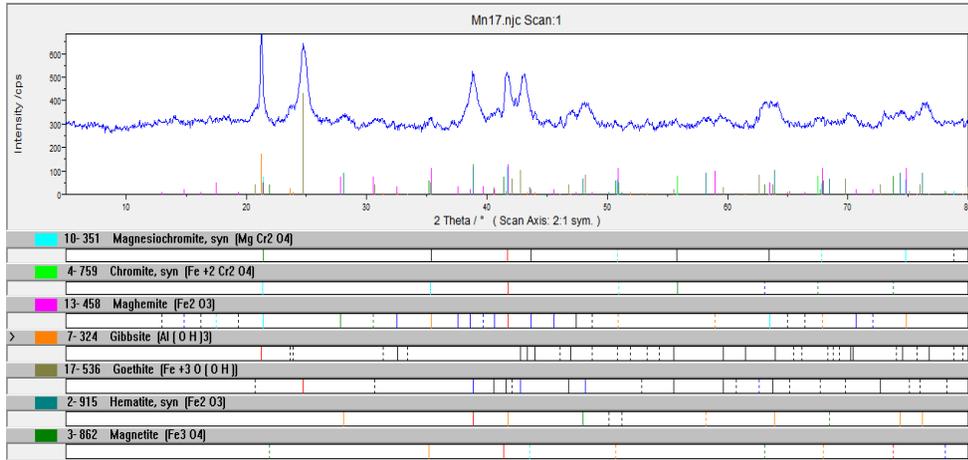
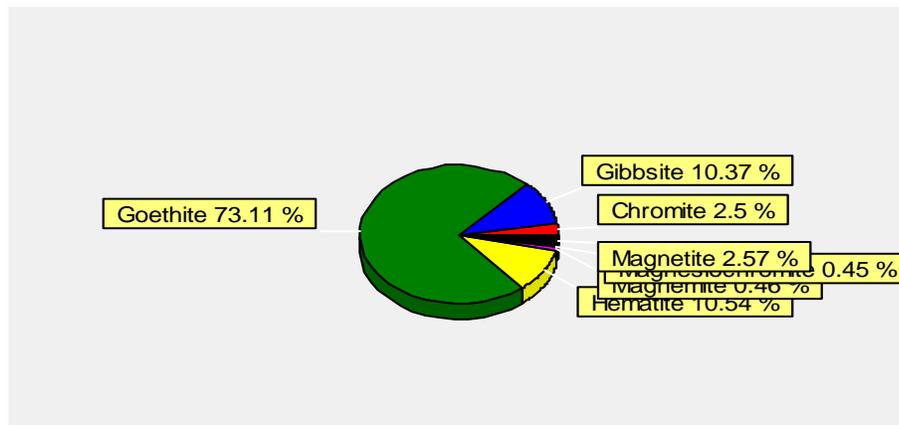


Figura 3.11. Difractograma de la muestra Mn17 de ocre superior de la zona lateritica del perfil M-47.



Se puede apreciar que la goethita es la fase mineral principal y la gibbsite como fase mineral secundaria con cantidades menores de hematita, maghemita, cromita, magnetita y magnesiocromita.

Muestra Mn8

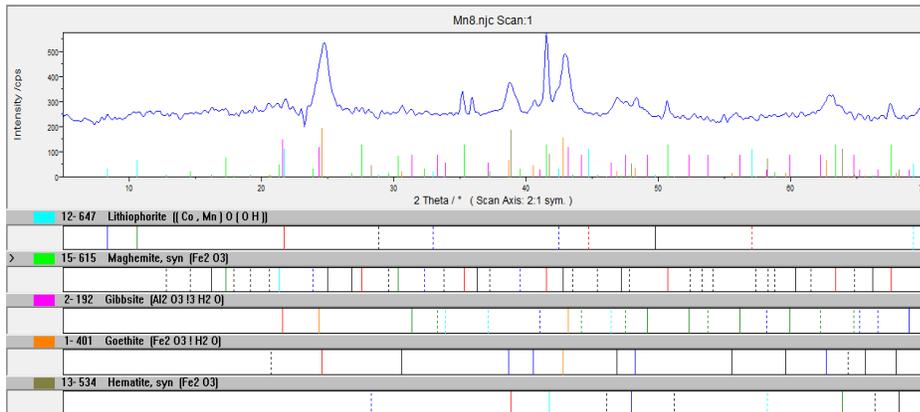
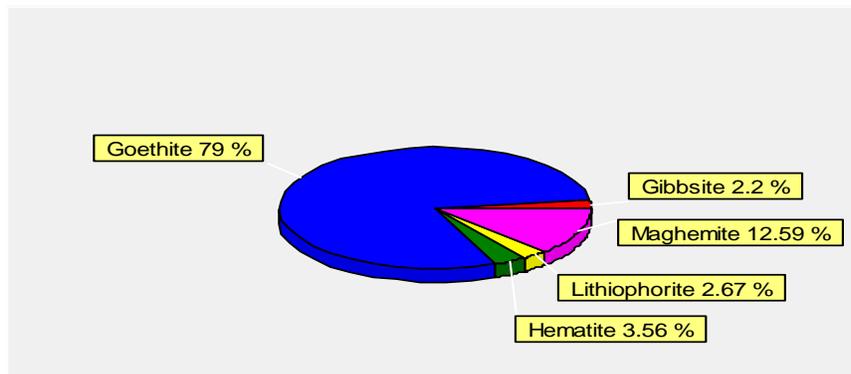


Figura 3.12. Difractograma de la muestra Mn8 de ocre medio de la zona laterítica.



Fase principal la goethita, con cantidades menores de gibbsita, hematita, maghemita y litioforita.

Dentro de las fases mangáníferas; se destaca la presencia de la fase de óxido de Mn, litioforita. Es la muestra más significativa para este tipo de fase mineral de óxidos de Mn.

Muestra Mn18

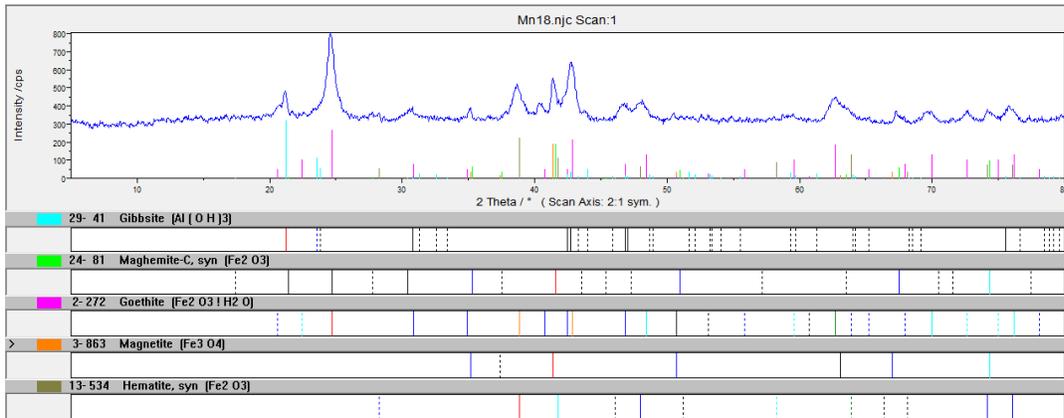
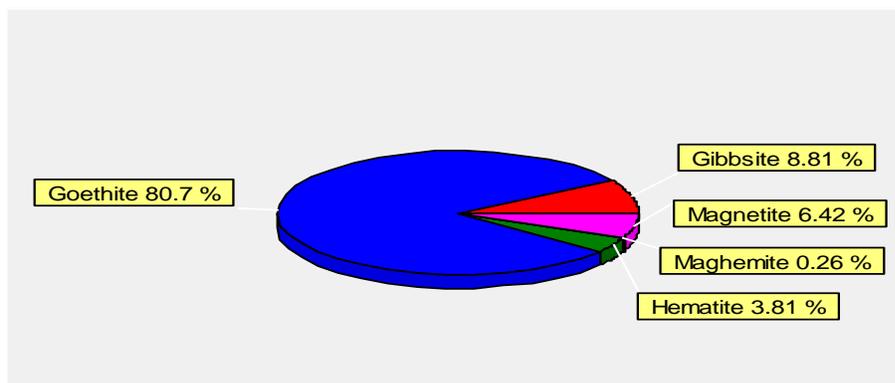


Figura 3.13. Difractograma de la muestra Mn18 ocre medio



Se observa la goethita como fase principal, con cantidades menores de gibbsita, hematita, maghemita y magnetita.

Muestra Mn9

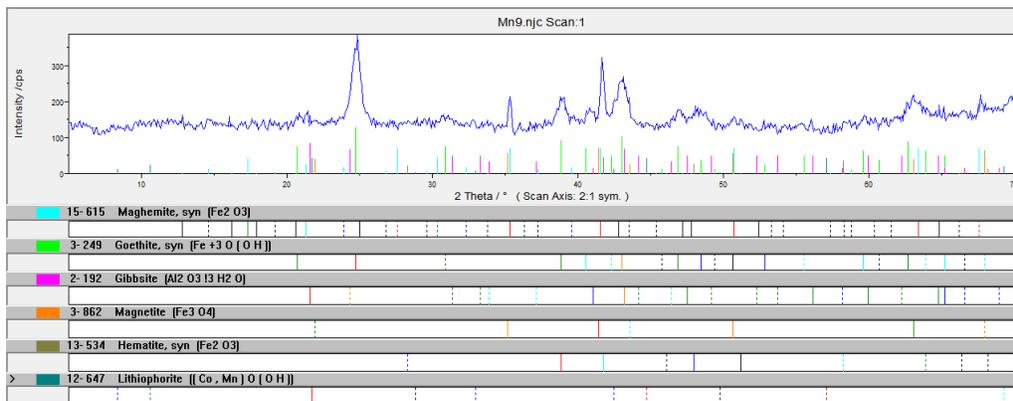
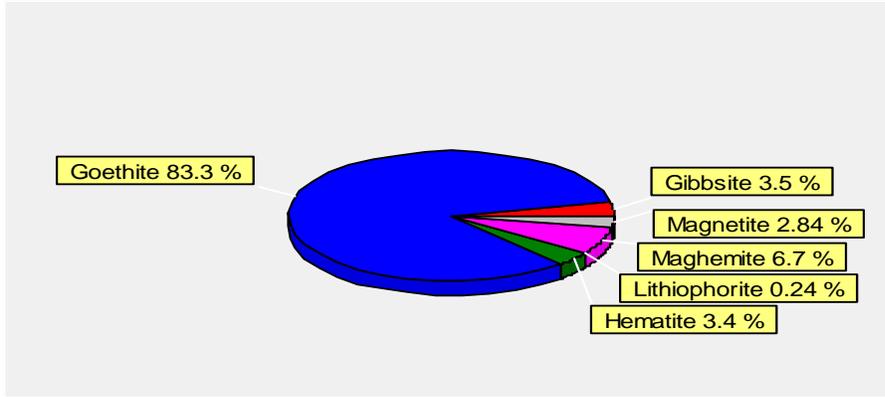


Figura 3.14. Difractograma de la muestra Mn9 de ocre medio



Fase principal la goethita, con cantidades menores de gibbsita, hematita, maghemita y magnetita.

Los óxidos de Fe, representados por magnetita-maghemita y hematita constituyen las fases minerales magnéticas de la muestra analizada, con cuadro difractométrico alrededor de 2,5 y 2,95 Å. Se reconoce físicamente como un material negro, brillo semimetálico, fina granulometría y predominantemente magnético.

Muestra Mn19

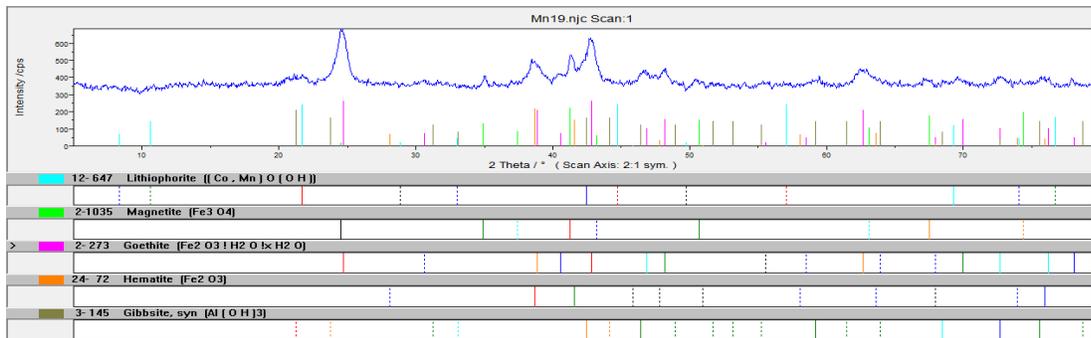
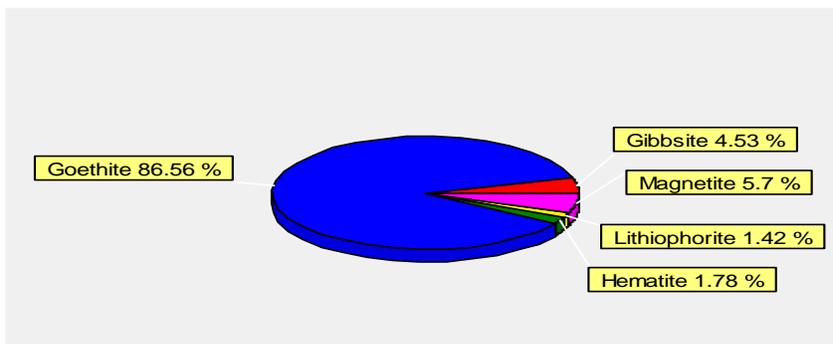


Figura 3.15. Difractograma de la muestra Mn19 de ocre medio.



Fase principal la goethita, con cantidades menores de gibbsita, hematita, magnetita y litioforita. Dentro de los minerales manganíferos la litioforita sigue siendo la fase mineral de óxidos de Mn más significativos para esta muestra.

Muestra Mn10

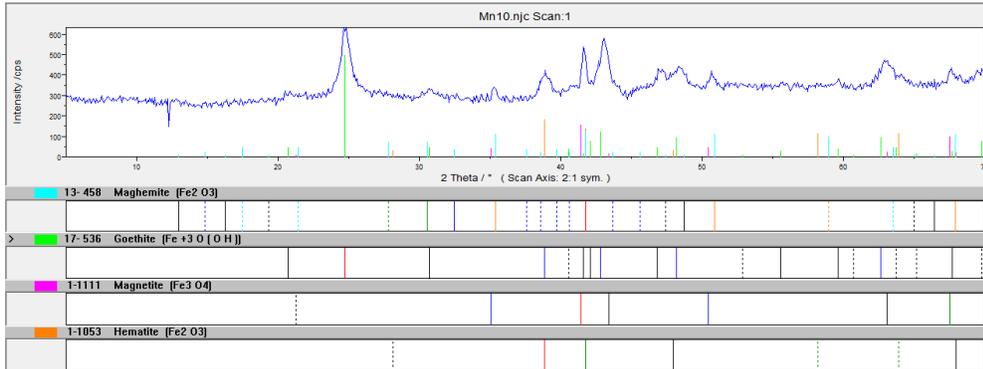
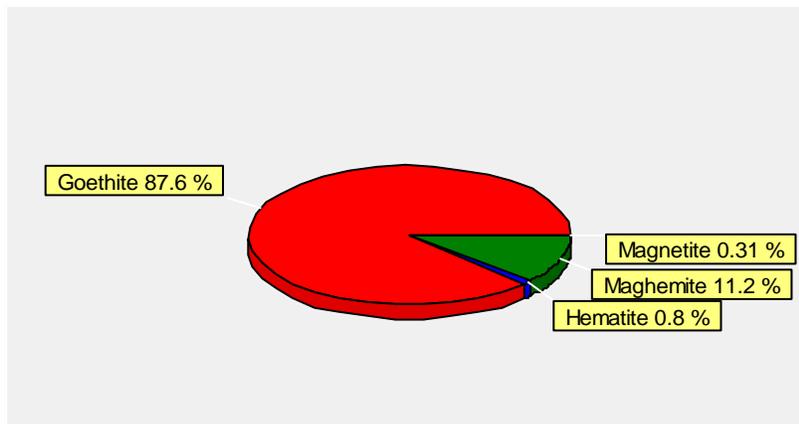


Figura 3.16. Difractograma de la muestra Mn10 ocre inferior



Fase principal es la goethita, con cantidades menores de hematita, maghemita y magnetita.

Muestra Mn 11

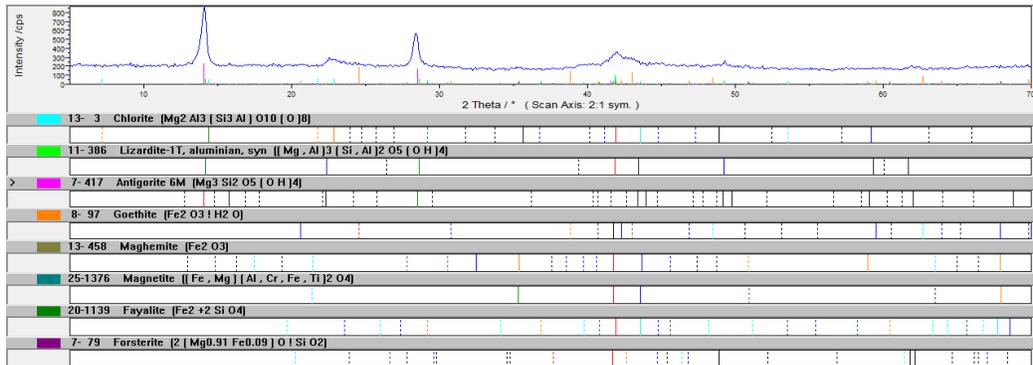
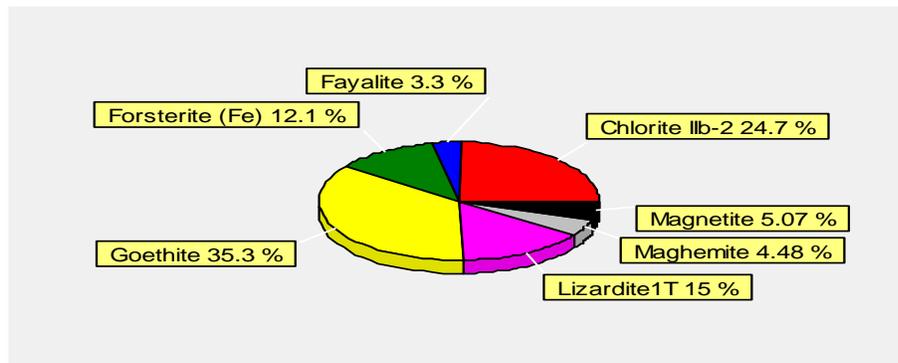


Figura 3.17. Difractograma de la muestra Mn11 de serpentinitas alteradas



Es una muestra que se tomó en la zona silicatada de serpentinita alterada. Se destacan las fases de goethita, clorita, lizardita y forsterita como fases principales con menores cantidades de magnetita, maghemita y fayalita como fases secundarias.

Muestra Mn20

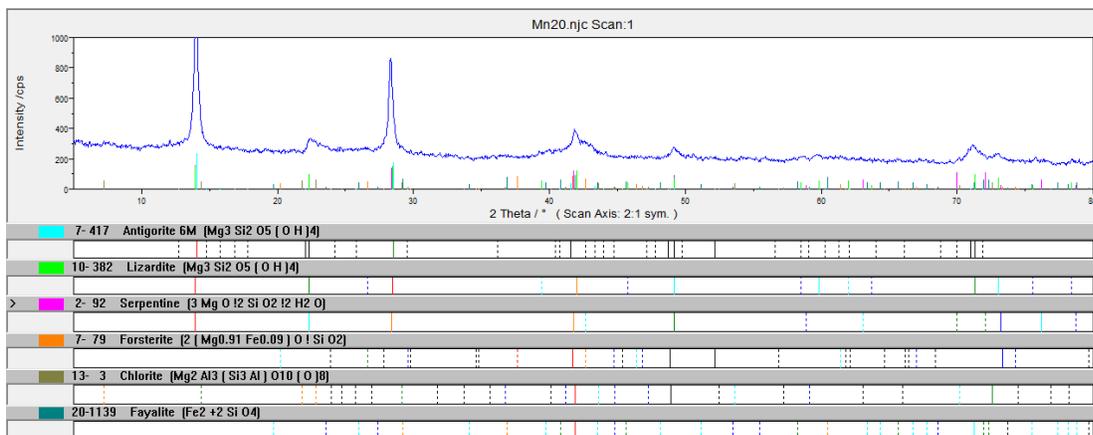
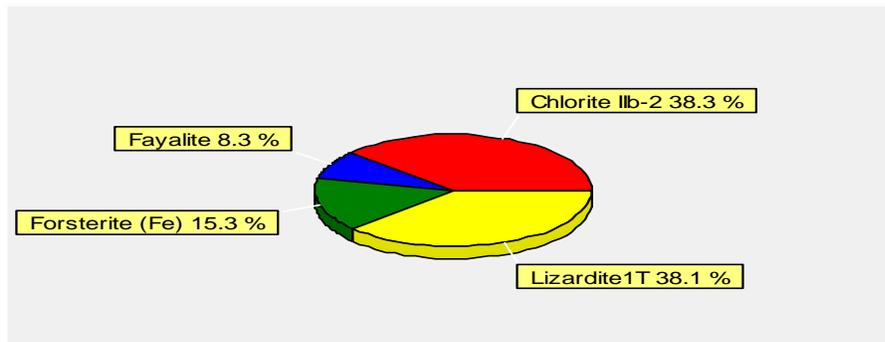


Figura 3.18. Difractograma de la muestra Mn20 de serpentinitas inalteradas.



Es una muestra que se tomó en la zona silicatada de serpentinita inalterada. Se destacan las fases de clorita, lizardita y forsterita como fases principales con menores cantidades de fayalita como fases secundarias.

3.3. Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos

Para caracterizar mineralógicamente los dos perfiles lateríticos (L-48 y M-47) estudiados, se puede establecer que mineralógicamente la zona laterítica del perfil maduro (L-48) está compuesta predominantemente por goethita (Fe O (OH)), además es notable la gibbsita (Al (OH)_3), sobre todo en la parte superior del perfil (el elevado contenido de Al en las muestras Mn1, Mn2, Mn3 y Mn14 que alcanzan más de 10% tiene su origen en la presencia de clorita en las zonas silicatadas del perfil), con ciertas cantidades de hematita (Fe_2O_3), maghemita (Fe_2O_3) y la magnesiocromita ($\text{MgO.Cr}_2\text{O}_3$). Dentro de los minerales manganíferos, es muy 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 ($(\text{Co, Ni) Mn}_2\text{O}_4 (\text{OH})_2 \text{H}_2\text{O}$) y litioforita ($(\text{Al, Li) MnO}_2 (\text{OH})_2$), estimándose en una cantidad del orden de un 5,68 % según cálculos mineralógicos por difracción de rayos – X. En la zona silicatada del perfil L-48 destacan los minerales de grupo de serpentina (Lizardita), clorita y olivino (forsterita y fayalita) en las muestras Mn5 y Mn6, como fases minerales más abundantes.

Tabla 3.3: Composición mineralógica de las muestras del perfil L-48 del yacimiento Punta Gorda. Según el método cuantitativo de AUTOQUAN, de la SEIFERT X - Ray Technology (Versión 2.26). República Federal de Alemania. 2001.

Fases Minerales	Muestras Contenido en %									
	Mn1	Mn2	Mn3	Mn13	Mn14	Mn4	Mn15	Mn16	Mn5	Mn6
Gibbsite	11,7	27,3	14,3	4,51	24,7		5,4	2,53		
Goethite	81,8	58,00	76,8	86,33	66,4	99,27	73,93	60,4	49,9	
Hematite	5,56	13,17	3,25	3,73	7,18		14,1	3,31		
Maghemite	0,93	1,59		3,94			5,1	4,25		
Magnetite							1,4	3,46		7,1
Lithiophorite			5,68							
Chlorite lib-2								13,01	14,1	33,9
Magnesiochromite				1,49	1,75	0,73				
Lizardite 1T								13,06	26,2	52,4
Forsterite (Fe)									4,8	6,6
Fayalite									5,05	0
Total	99,99	100,06	100,03	100	100,03	100	99,93	100,02	100,05	100

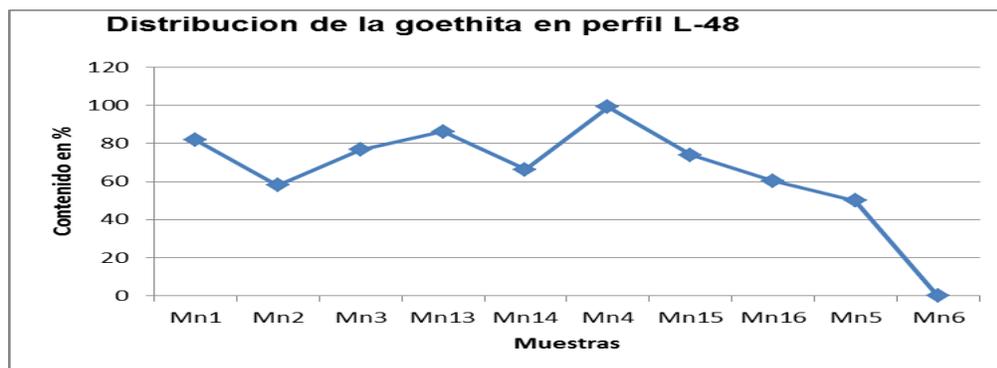


Figura 3.3.1. Muestra la distribución de la goethita en el perfil L-48, según los contenidos en % de las muestras analizadas.



Figura 3.3.2. Muestra la distribución de la gibbsita en el perfil L-48, según los contenidos en % de las muestras analizadas.

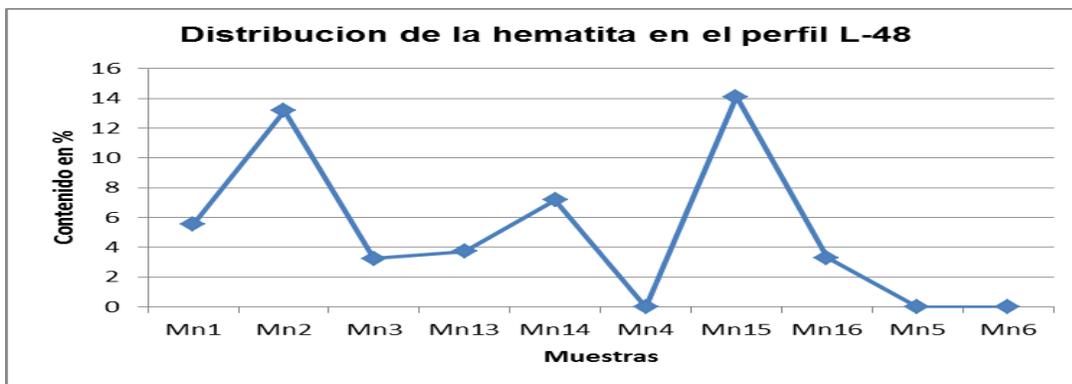


Figura 3.3.3. Muestra la distribución de la hematita en el perfil L-48, según los contenidos en % de las muestras analizadas.

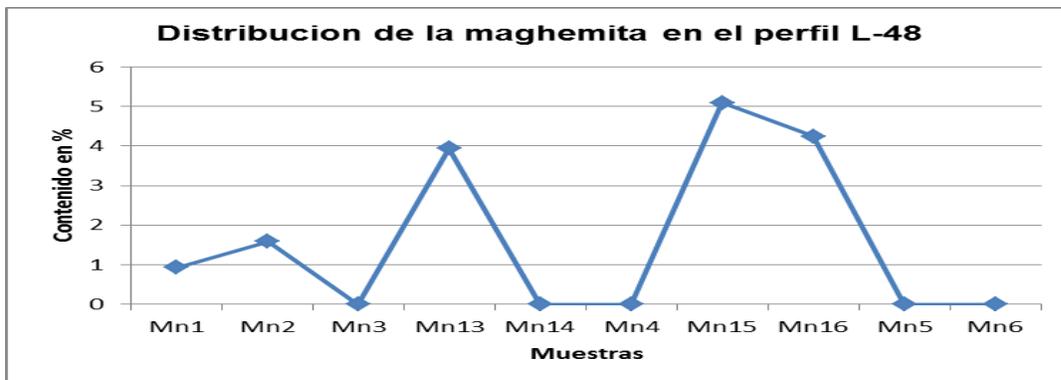


Figura 3.3.4. Muestra la distribución de la maghemita en el perfil L-48, según los contenidos en % de las muestras analizadas.

Mineralógicamente la zona laterítica del perfil inmaduro (M-48) está compuesta predominantemente por goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), además la gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) sigue siendo notable, sobre todo en la parte superior del perfil de la zona laterítica, con menores cantidades de hematita (Fe_2O_3), maghemita (Fe_2O_3) y la magnetita (Fe_3O_4). La fase litioforita ($(\text{Al}, \text{Li}) \text{MnO}_2 (\text{OH})_2$), se detectaron en la muestra Mn8, Mn9 y Mn19 de ocre medio de zona lateríticas, es la fase significativos para los minerales manganíferos en el perfil.

En la parte silicatada del perfil, en muestra Mn11 y Mn20; se caracteriza por la presencia de las fases minerales del grupo de serpentina (lizardita), clorita y olivino (fayalita y forsterita) con menores cantidades de magnetita y maghemita.

Tabla 3.4: Composición mineralógica de las muestras del perfil M-47 del yacimiento Punta Gorda. Según el Método Cuantitativo de AUTOQUAN, de la SEIFERT X - Ray Technology (Versión 2.26). República Federal de Alemania. 2001.

Fases Minerales	/ Contenido en %							
	Muestras							
	Mn17	Mn8	Mn18	Mn9	Mn19	Mn10	Mn11	Mn20
Gibbsite	10,37	2,2	8,81	3,5	4,53			
Goethite	73,11	79,00	80,7	83,3	86,56	87,6	35,30	
Hematite	10,54	3,56	3,81	3,4	1,78	0,8		
Maghemite	0,46	12,59	0,26	6,7		11,2	4,48	
Magnetite	2,57		6,42	2,84	5,7	0,31	5,07	
Lithiophorite		2,67		0,24	1,42			
Magnesiochromite	0,45							
Chromite	2,50							
Lizardite							15,00	38,1
Chloritellb-2							24,7	38,3
Forsterite(Fe)							12,1	15,3
Fayalite							3,3	8,3
Total	100,00	100,02	100,00	99,98	99,99	99,91	99,95	100,00



Figura 3.3.5. Muestra la distribución de la goethita en el perfil M-48, según los contenidos en % de las muestras analizadas.

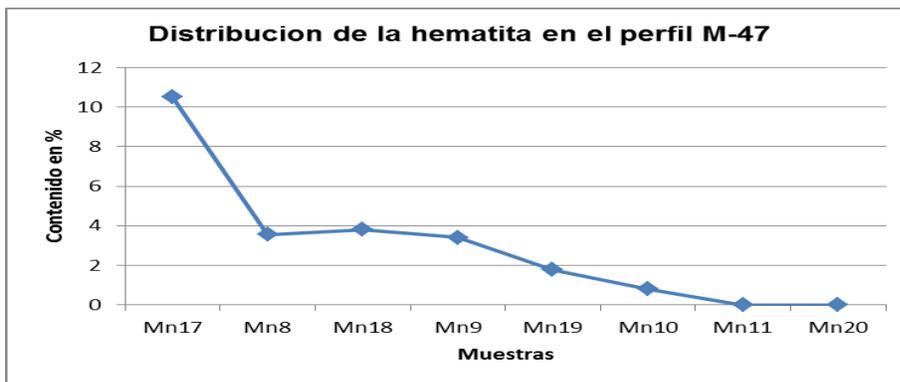


Figura 3.3.6. Muestra la distribución de la hematita en el perfil M-48, según los contenidos en % de las muestras analizadas.

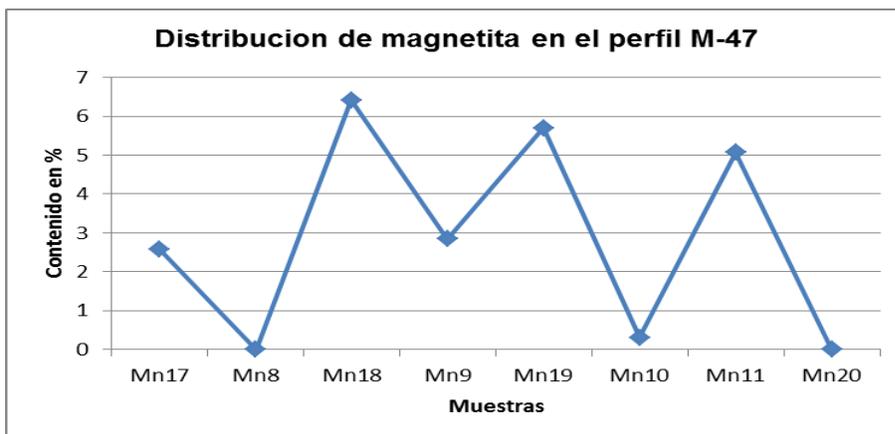


Figura 3.3.7. Muestra la distribución de la magnetita en el perfil M-48, según los contenidos en % de las muestras analizadas.

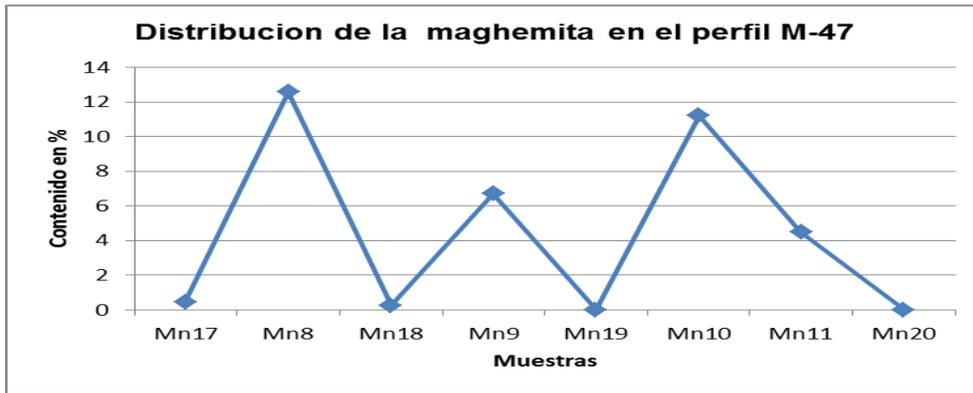


Figura 3.3.8. Muestra la distribución de la maghemita en el perfil M-48, según los contenidos en % de las muestras analizadas.

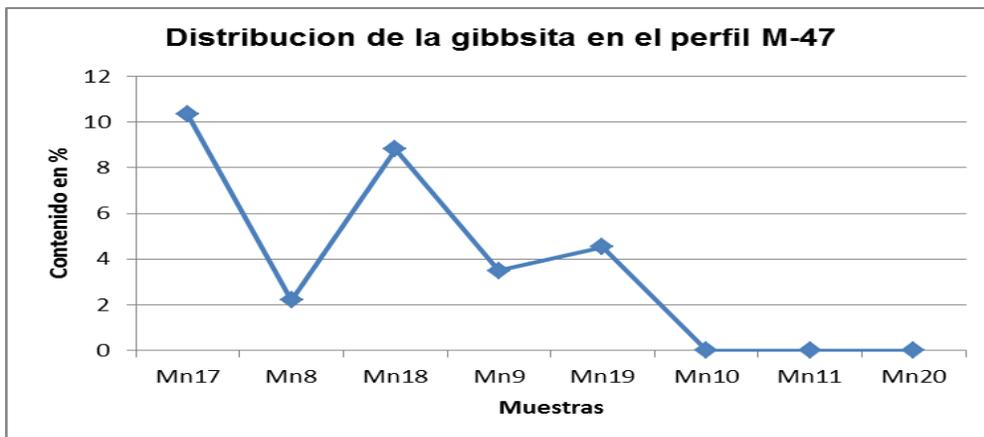


Figura 3.3.9. Muestra la distribución de la gibbsita en el perfil M-48, según los contenidos en % de las muestras analizadas.

3.4. Presencia de los óxidos de manganeso en los perfiles lateríticos en el nordeste oriental cubano

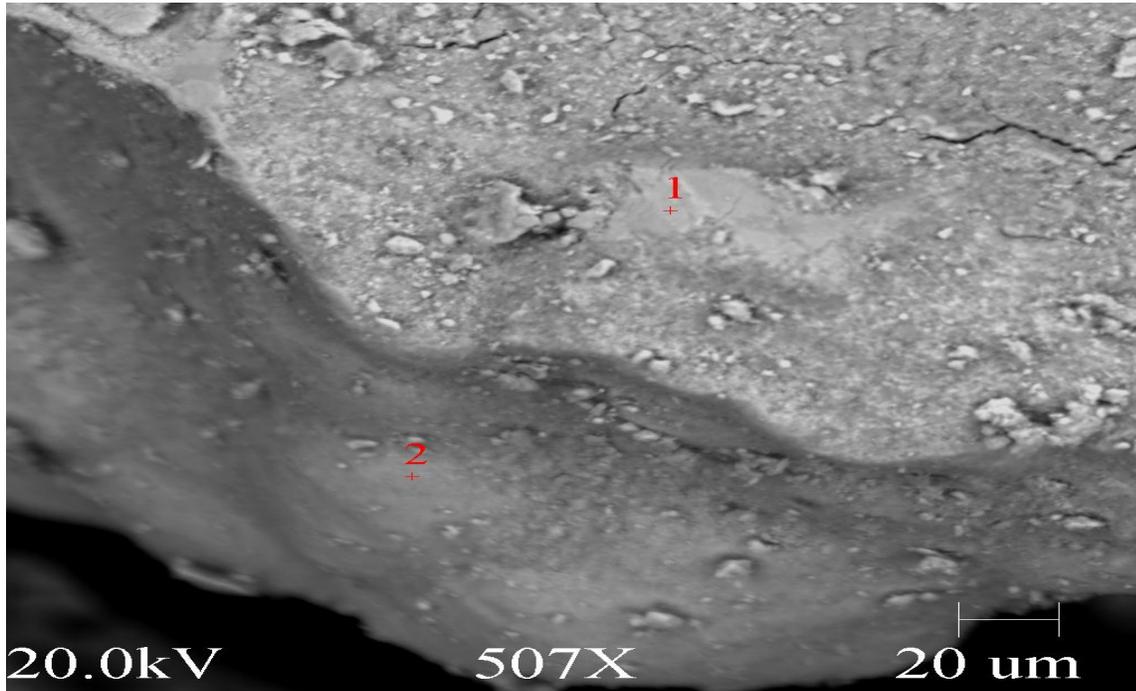
Como parte de la confirmación de las fases de óxidos de Mn se empleó de forma complementaria la técnica de Microscopía Electrónica Barrido en las muestras más perspectivas de óxidos de manganeso de los perfiles lateríticos L-48 y M -47.

Se hizo una selección de las muestras para profundizar en el estudio de las formas de los granos minerales y su composición química puntual. De las muestras estudiadas, las más representativas para el estudio de los óxidos de Mn son: muestra Mn3, Mn8 y Mn19, las cuales se presentan a continuación.

Muestra Mn3:

Es una muestra manganífero (enriquecida en Mn), existen granos que tienen hasta un 73 % de Mn (Mn₃f₂.imagen 3) y hasta un 88% de Mn (Mn₃f₃.imagen 2). Las fases de Mn, se detectan según MEB por zonas claras, con bajos contenidos de Al. También se evidencia una relación directa entre el manganeso y el bario en la granulometría (de la fracciones (Mn₃f₂ y Mn₃f₃). Por otra parte son significativos los contenidos de Ni y Co en estos granos manganíferos, los cuales poseen contenido de Fe entre un 4 y 7 %. Además existen altos valores de los contenidos de los elementos del grupo del platino (Os, Ir, Pt y Au) que aparecen en la fracción [Mn₃f₂; imagen 3] son significativos, donde se anota el contenido de K.

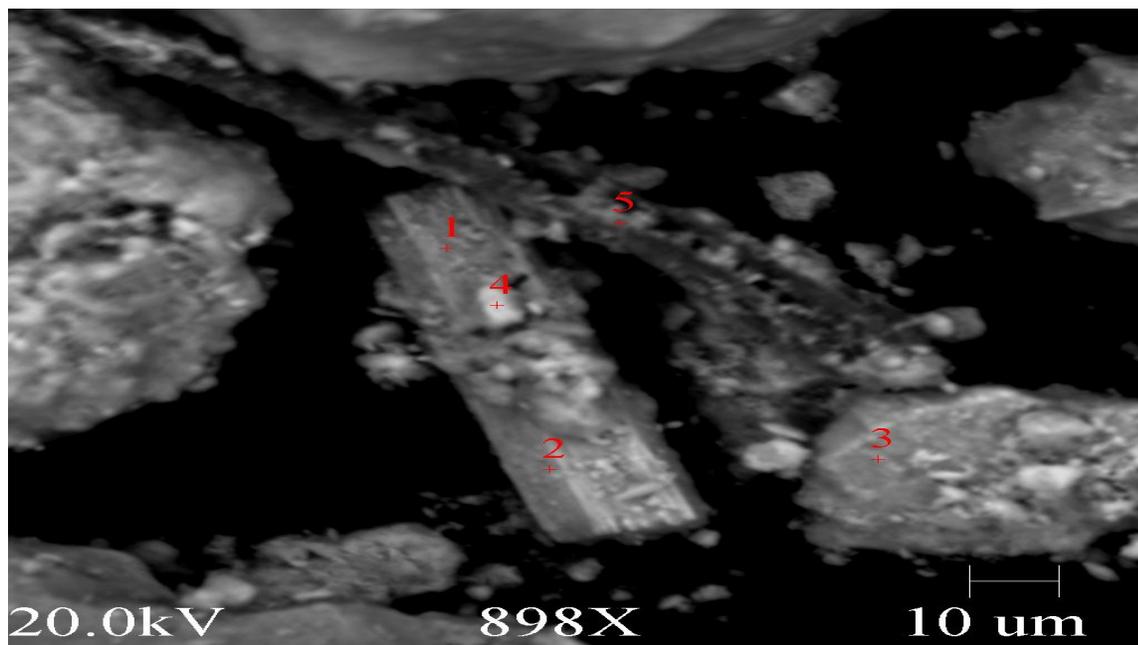
Los resultados de DRX fundamenta que existe una paragénesis entre los óxidos de Mn y los óxidos de Fe en estos perfiles, lo que explica que en las determinaciones en MEB existan porciones donde el contenido de Fe es alto atribuible a la presencia de la goethita.

Muestra Mn3f2.Imagen 3.

Grano manganífero, con contenido de Mn que oscila entre 70 y 73 % de Mn, con buen contenido de Ni y Co, entre 4 y 5 %. Ya aquí el Fe es bajo, entre 4 y 7 %, no es significativo el contenido de Al. En tanto resulta interesante el Ba, entre 1, 48 y 1, 35 %, cuando los contenidos de Mn son del orden del 70 %.

Existen buenos contenidos de Au, Ag y los elementos del grupo de Pt en la porción de muestras analizadas. Estos elementos en lateritas se encuentran concentrados en zonas enriquecido en óxidos de Fe y Mn, (Zeegers, H & Leduc, C. 1993).

Espec 1				Espec 2			
Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig
O	3,567	wt. %	0,121	O	4,782	wt. %	0,141
Mg	0,033	wt. %	0,008	Mg	0,252	wt. %	0,024
Al	0,539	wt. %	0,294	Al	1,081	wt. %	0,422
Si	0,252	wt. %	0,019	Si	0,555	wt. %	0,029
P	0	wt. %	0	P	0	wt. %	0
S	0,172	wt. %	0,014	S	0,166	wt. %	0,014
K	2,96	wt. %	0,056	K	2,427	wt. %	0,052
Ti	0,218	wt. %	0,016	Ti	0,267	wt. %	0,018
V	0	wt. %	0	V	0	wt. %	0
Cr	0	wt. %	0	Cr	0,042	wt. %	0,007
Mn	73,169	wt. %	0,392	Mn	70,594	wt. %	0,392
Fe	4,761	wt. %	0,107	Fe	7,733	wt. %	0,139
Co	4,79	wt. %	0,125	Co	3,799	wt. %	0,113
Ni	5,591	wt. %	0,143	Ni	4,452	wt. %	0,13
Cu	0,075	wt. %	0,019	Cu	0,059	wt. %	0,017
Zn	0,068	wt. %	0,019	Zn	0,218	wt. %	0,035
Pd	0,02	wt. %	0,006	Pd	0,028	wt. %	0,008
Ag	0,1	wt. %	0,014	Ag	0,085	wt. %	0,013
Ba	1,48	wt. %	0,046	Ba	1,35	wt. %	0,045
Os	0,407	wt. %	0,087	Os	0,513	wt. %	0,1
Ir	0,452	wt. %	0,095	Ir	0,357	wt. %	0,086
Pt	0,482	wt. %	0,102	Pt	0,475	wt. %	0,103
Au	0,863	wt. %	0,142	Au	0,765	wt. %	0,136
Total	100	wt. %		Total	100	wt. %	

Muestra Mn3f3. Imagen 2.

Grano con hábito hexagonal, con fases de Mn, (punto 1 y 2), en el punto 2 se determinó un 88 % de Mn, existe una inclusión de goethita (punto 4), dentro del grano mangánífero. En el punto 5, se localiza un material de aspecto fibroso, puede ser goethítico-gibbsítico, con buena cantidad de Mn.

Espec 1 cristal alto
Mn

Espec 2 cristal alto
Mn

Espec 3

Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig				2-sig
O	3,469	wt. %	0,169	O	0	wt. %	0	O	3,782	wt. %	0,216
Mg	0,028	wt. %	0,012	Mg	0,043	wt. %	0,028	Mg	0,138	wt. %	0,032
Al	1,26	wt. %	0,684	Al	0,243	wt. %	0,57	Al	1,751	wt. %	0,97
Si	0,555	wt. %	0,043	Si	0,073	wt. %	0,029	Si	1,228	wt. %	0,077
S	0,384	wt. %	0,031	S	0,03	wt. %	0,016	S	0,496	wt. %	0,042
V	0	wt. %	0	V	0	wt. %	0	V	0,021	wt. %	0,009
Cr	0,672	wt. %	0,042	Cr	1,048	wt. %	0,091	Cr	2,027	wt. %	0,09

Mn	53,022	wt.%	0,486	Mn	88,1	wt.%	1,231	Mn	4,27	wt.%	0,138
Fe	38,782	wt.%	0,461	Fe	8,6	wt.%	0,414	Fe	83,046	wt.%	0,8
Co	0,479	wt.%	0,059	Co	1,087	wt.%	0,173	Co	1,083	wt.%	0,1
Ni	1,15	wt.%	0,099	Ni	0,525	wt.%	0,127	Ni	1,921	wt.%	0,152
Ba	0,198	wt.%	0,023	Ba	0,164	wt.%	0,034	Ba	0,238	wt.%	0,033
Total	100	wt.%		Total	100	wt.%		Total	100	wt.%	

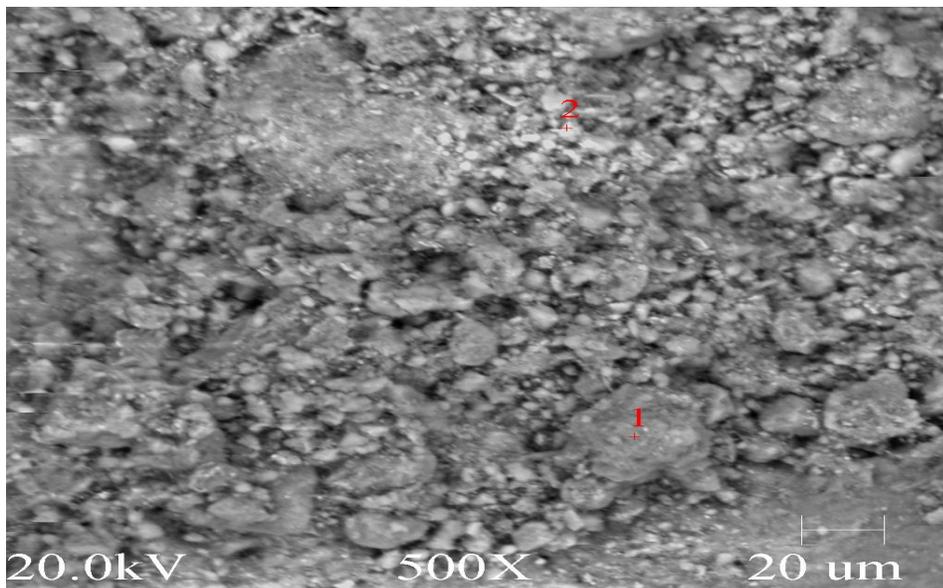
Espec 4

Espec 5

Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig
O	2,438	wt.%	0,147	O	4,656	wt.%	0,268
Mg	0,113	wt.%	0,025	Mg	0,166	wt.%	0,037
Al	1,764	wt.%	0,827	Al	7,375	wt.%	2,137
Si	0,836	wt.%	0,054	Si	2,294	wt.%	0,116
S	0,29	wt.%	0,027	S	0,42	wt.%	0,043
V	0,11	wt.%	0,017	V	0	wt.%	0
Cr	2,385	wt.%	0,081	Cr	1,344	wt.%	0,085
Mn	3,069	wt.%	0,098	Mn	10,054	wt.%	0,251
Fe	86,478	wt.%	0,691	Fe	68,788	wt.%	0,802
Co	0,731	wt.%	0,069	Co	1,566	wt.%	0,133
Ni	1,517	wt.%	0,115	Ni	2,796	wt.%	0,201
Ba	0,269	wt.%	0,029	Ba	0,541	wt.%	0,06
Total	100	wt.%		Total	100	wt.%	

Muestra Mn8:

Analizando las fracciones (Mn8f1y Mn8f2) de esta muestra, podemos afirmar que esta muestra en su constitución posee minerales de Mn ya que en ambas fracciones analizadas los valores de Mn están por el orden de (0,1 % y 1 % de contenido). La relación (Mn – Ba) no se comporta como en el caso de la muestra (Mn 3) ya que sus contenidos no sobrepasan el 1%, no sucediendo así con él Al y Si que tienen valores significativos, en ocasiones alcanzando en el caso del Al, valores por encima de 7%. El comportamiento de la relación (Mn, Fe y Co) se comporta de manera directa.

Muestra Mn 8f1. Imagen 2

Se detectó material goethítico. En el grano 1, el contenido de Fe (94,5%) es muy alto, está significa que la goethita sigue predominando con buen contenido de Cr (1,39%), Mn (0,52%) y Co (0,81%).

En punto 2, está compuesta por material goethítico con apreciable contenido de Cr (0,94%), Co (0,346%), Mn (0,1%) y Ni (1,424%). La goethita es la fase mineral predominante, con la maghemita, hematita, litioforita y gibbsita como fases secundarias.

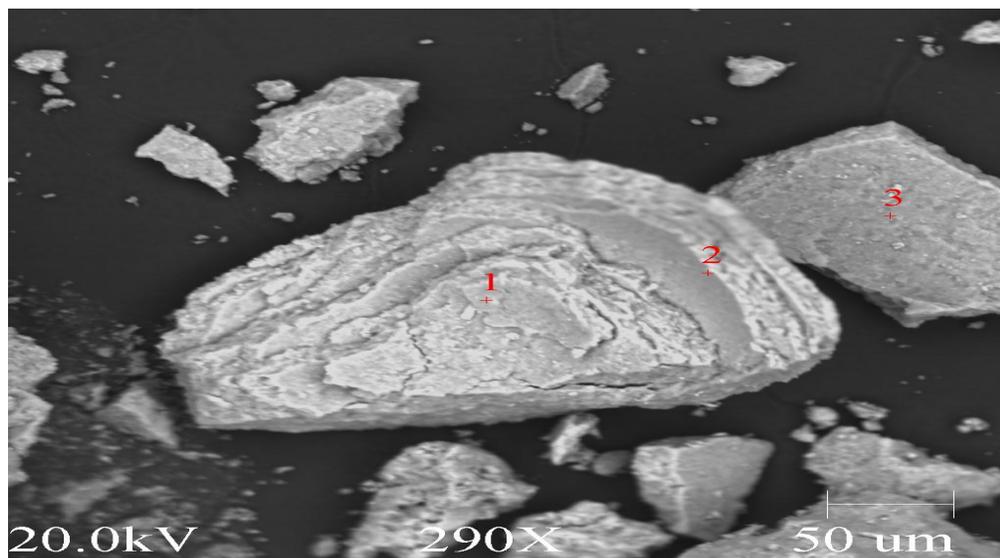
Espec

Espec

1

2

Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig
O	0,8	wt. %	0,119	O	5,66	wt. %	0,228
Mg	0,033	wt. %	0,019	Mg	0,053	wt. %	0,017
Al	0,314	wt. %	0,502	Al	1,814	wt. %	0,847
Si	0,464	wt. %	0,057	Si	1,939	wt. %	0,083
S	0,268	wt. %	0,038	S	0,589	wt. %	0,04
V	0,098	wt. %	0,022	V	0,048	wt. %	0,011
Cr	1,39	wt. %	0,082	Cr	0,94	wt. %	0,049
Mn	0,52	wt. %	0,052	Mn	0,116	wt. %	0,018
Fe	94,523	wt. %	1,029	Fe	86,992	wt. %	0,707
Co	0,816	wt. %	0,104	Co	0,346	wt. %	0,049
Ni	0,718	wt. %	0,113	Ni	1,424	wt. %	0,113
Ba	0,056	wt. %	0,017	Ba	0,079	wt. %	0,015
Total	100	wt. %		Total	100	wt. %	

Muestra Mn 8f2. Imagen 1

En esta porción de muestra se observa una goethita, con cierto contenido de Ni (punto 1 y 2), que se enriquece significativamente hacia el borde del gránulo goethítico, donde logra alcanzar hasta 1,19 % de Ni y 1,53% de Co (punto 3). Presenta buen contenido de espinela cromífera Cr (punto 1, 2 y 3) que alcanza hasta 1,2% de Cr (punto 1). Existe variación de los contenidos de Mn, que variaron de 0,3% hasta 0,4% en punto 1, 2 y 3.

Espec
1

Espec
2

Espec 3

Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig				2-sig
O	15,386	wt. %	0,335	O	17,426	wt. %	0,346	O	0	wt. %	0
Al	1,982	wt. %	0,791	Mg	0,257	wt. %	0,033	V	0,059	wt. %	0,016
Si	2,052	wt. %	0,076	Al	2,148	wt. %	0,799	Cr	1,024	wt. %	0,063
S	0,562	wt. %	0,035	Si	2,043	wt. %	0,074	Mn	0,305	wt. %	0,036
Cl	0,29	wt. %	0,025	S	0,5	wt. %	0,032	Fe	96,699	wt. %	0,965
Cr	1,2	wt. %	0,053	Cl	0,197	wt. %	0,02	Co	1,528	wt. %	0,132
Mn	0,293	wt. %	0,027	Cr	1,063	wt. %	0,049	Ni	0,326	wt. %	0,071
Fe	76,438	wt. %	0,605	Mn	0,384	wt. %	0,031	Ba	0,059	wt. %	0,015

Co	0,613	wt. %	0,059	Fe	74,133	wt. %	0,581	Total	100	wt. %	
Ni	1,073	wt. %	0,089	Co	0,575	wt. %	0,056				
Ba	0,112	wt. %	0,017	Ni	1,192	wt. %	0,091				
Total	100	wt. %		Ba	0,083	wt. %	0,015				
				Total	100	wt. %					

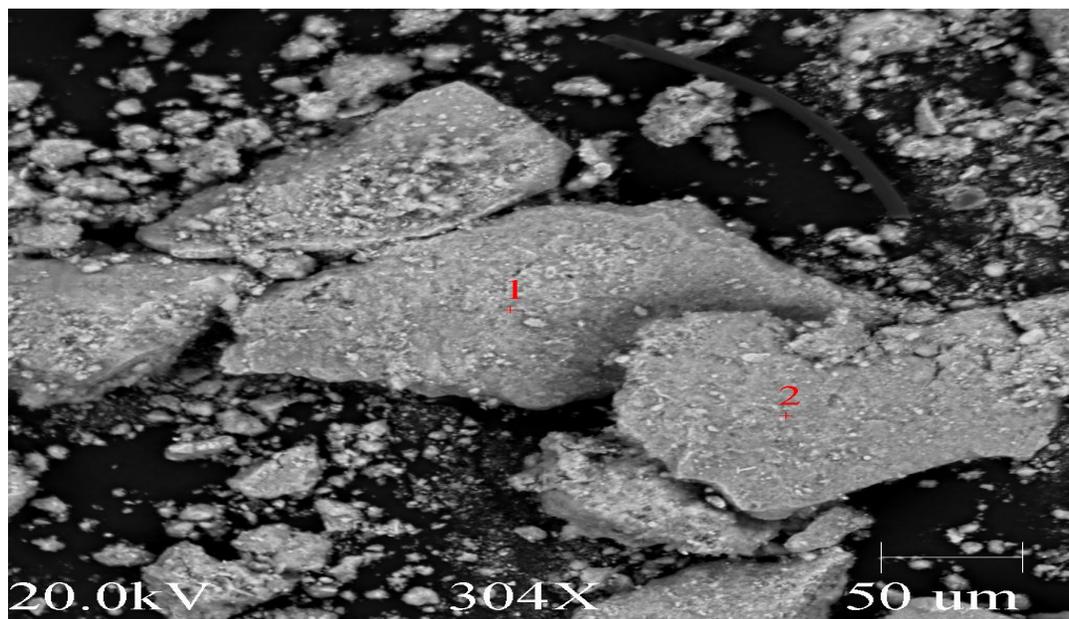
Muestra Mn19:

En la muestra se observa alto contenido de Fe que alcanza 76% lo que justifica la presencia de una fase de Fe, pudiera ser una goethita rodeada por algún mineral de Mn, ya que este elemento se encuentra en una significativa proporción dentro de esta fracción, estando por encima del 10 % de Mn.

Se evidencia también, que no existe relación directa entre el Mn y el Ba. Existiendo una buena correlación entre el Mn, Fe y Co. Se debe los valores significativos de (Os, Ir, Pt y Au) todos por encima de los 0,4 %; aunque en este caso el K tiene 0.048 %.

Esta muestra tiene porciones con alto contenido de Cr 54 % (Mn19f3.Imagen 2) atribuible a una fase de espinela cromífera. (Con un contenido de Fe de 35%). El Mn y el Ba se comportan de manera similar, estando los dos por encima de 0,1 % de contenido.

Los contenidos de Os, Ir, Pt y Au en los granos y fracciones de la porción de la muestra analizada están por encima de 0,4%, estos valores son muy significativo para la presencia de estos elementos en esta muestra.

Muestra Mn 19f3. Imagen 1

En esta porción de la muestra en grano 1, se detecta un material goethítico rica en Co (3,1%), Mn (10,1%), Cr (1,4%) y Ni (2,4%). El material goethítico sigue predominando en grano de punto 2, con buen contenido de Cr y Mn. La goethita es la fase predominante con espinela cromífera y Mn como fase secundarias. En el grano del punto 1, se determinó la presencia de metales del grupo del Pt y Au cuyos contenidos están por encima de 0,4%.

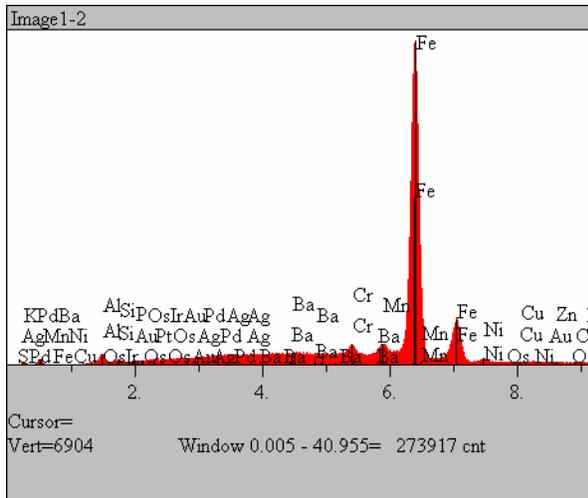
Espec

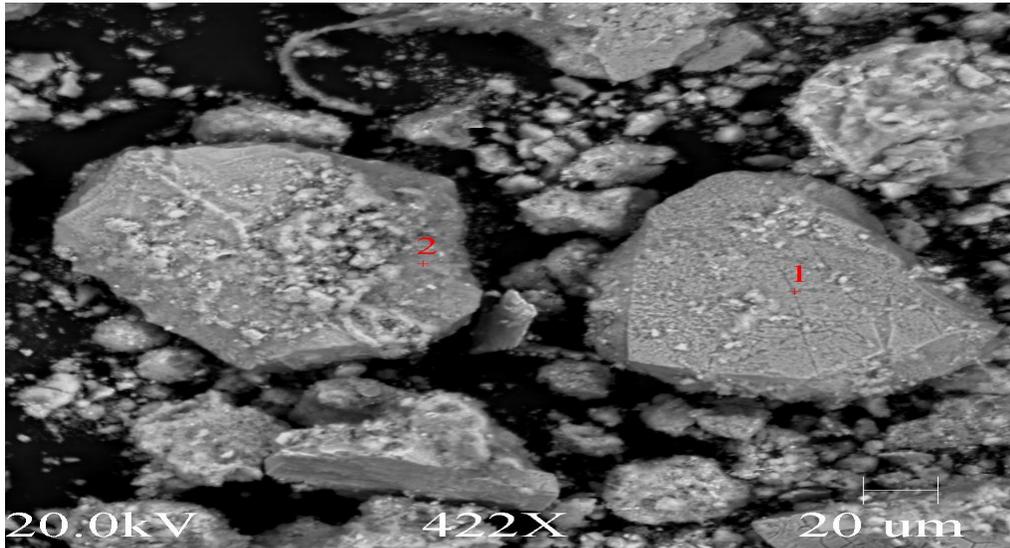
1

Elt.	Conc		Error
			2-sig
O	1,944	wt.%	0,1
Mg	0,048	wt.%	0,012
Al	1,647	wt.%	0,607
P	0	wt.%	0
S	0,321	wt.%	0,022
K	0,053	wt.%	0,009

Ti	0,045	wt.%	0,009
V	0,01	wt.%	0,004
Cr	1,445	wt.%	0,05
Mn	10,186	wt.%	0,144
Fe	76,429	wt.%	0,493
Co	3,103	wt.%	0,11
Ni	2,406	wt.%	0,109
Cu	0,014	wt.%	0,009
Zn	0,12	wt.%	0,03
Pd	0,035	wt.%	0,01
Ag	0,111	wt.%	0,018
Ba	0,085	wt.%	0,013
Os	0,531	wt.%	0,115
Ir	0,448	wt.%	0,109
Pt	0,576	wt.%	0,129
Au	0,443	wt.%	0,117
Total	100	wt.%	

Espectro 2.



Muestra Mn19f3. Imagen 2

En el grano1 se detecta un material rico en contenido de Cr (54,9%), que puede ser espinela cromífera predominante sobre material goethítico que presenta bajo contenido de Fe (35%). En punto 2, la goethita sigue siendo la fase predominante con buen contenido de Mn, Cr y Co. Los contenidos de Os, Ir, Pt y Au en los granos1 y 2 de la porción de la muestra analizada están por encima de 0,4%.

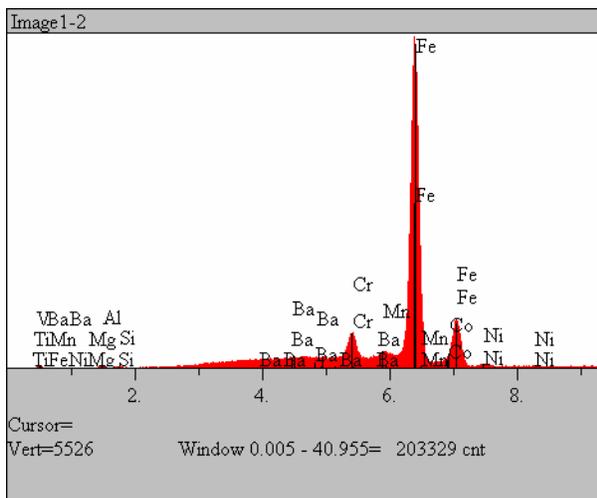
Espec

1

Elt.	Conc		Error
			2-sig
O	0,551	wt.%	0,056
Mg	2,28	wt.%	0,084
Al	2,748	wt.%	0,804
Si	0,103	wt.%	0,015
P	0	wt.%	0
S	0,068	wt.%	0,011
K	0,048	wt.%	0,009
Ti	0	wt.%	0
V	0,075	wt.%	0,011

Cr	54,962	wt.%	0,38
Mn	0,166	wt.%	0,022
Fe	35,453	wt.%	0,382
Co	0,346	wt.%	0,041
Ni	0,205	wt.%	0,034
Cu	0,103	wt.%	0,027
Zn	0,173	wt.%	0,038
Pd	0,15	wt.%	0,02
Ag	0,005	wt.%	0,004
Ba	0,123	wt.%	0,015
Os	0,405	wt.%	0,107
Ir	0,553	wt.%	0,129
Pt	0,782	wt.%	0,16
Au	0,7	wt.%	0,157
Total	100	wt.%	

Espectro 2.



Los demás resultados de Microscopia Electrónica de Barrido(MEB) de las muestras enriquecidas en manganeso : Mn3 y Mn8 se exponen en el anexo 1.

3.5. Interpretación de los resultados

Al valorar el quimismo a través de los perfiles, se puede establecer que los dos perfiles lateríticos estudiados del yacimiento Punta Gorda poseen contenidos elevados de Mn y Co, que se concentran en el horizonte de ocre medio tanto en su parte superior (muestras Mn3 y Mn8) como inferior (muestras Mn14 y Mn19) de cada perfil. Las muestras manganíferas en este perfil maduro (L-48) se caracterizan por el color amarillo parduzco oscuro, con contenido que 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 Co_3O_4 . Otro aspecto muy significativo es el mayor contenido de aluminio en el perfil maduro (L-48) que alcanza un valor máximo de 20% en el horizonte de ocre superior.

Estas muestras mineralógicamente presentan la siguiente composición: la más enriquecida en manganeso (muestra Mn3) está compuesta principalmente por goethita, (ver tabla 3.3), con un estimado cuantitativo según DRX, de un 76,8 %, además contiene ciertas cantidades de gibbsita en un 14 %, hematita (inferior a un 5 %) y litioforita a un 5,68%.

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) $\text{MnO}_2(\text{OH})_2$ (ajustada según tarjeta 41-1378 PDF) y/o asbolana (Co, Ni) $\text{Mn}_2\text{O}_4(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (43-1459 PDF) acorde por los resultados obtenido por [Cuencas \(2009\)](#). La existencia de estas fases de Mn ha sido reportada por [Manceau y otros \(1987\)](#) en yacimientos parecidos en Nueva Caledonia. Es necesario para hacer un estudio más detallado de estas fases minerales de baja cristalinidad y poca cantidad en las muestras un minucioso trabajo de preparación de muestras y el uso combinado de varias técnicas analíticas ([Tokashiki y otros \(2003\)](#), [Vidhana y otros \(2004\)](#) y [Neaman y otros \(2004\)](#)).

La muestra Mn14, (tabla 3.3), presenta también a la goethita como fase predominante (66, 4% de contenido), con gibbsita en muy buena cantidad (24,7% de contenido); el significativo contenido de gibbsita se relaciona con la desintegración de los minerales del grupo de la clorita que se encuentra en zonas silicatadas del corte laterítico. En esta muestra el contenido de hematita es significativo que alcanza a un 7,18%.

Las muestras Mn8 y Mn19 tienen una composición parecida, (tabla 3.4), pues ambas presentan a la goethita como fase predominante, pero con poca cantidad de gibbsita (inferior a un 5 %), pero se diferencia en presencia de los óxidos de Fe, en la muestra Mn8 abunda la maghemita (12,59% de contenido) mientras en la muestra Mn19 abunda la magnetita (5,7% de contenido). En estas dos muestras la fase de óxidos de Mn detectada sin dificultad es la litioforita, para la Mn8 con un estimado cuantitativo según DRX, con un 2,67% de contenido de litioforita y para la Mn19 con un estimado cuantitativo según DRX, de 1,42% de contenido de litioforita.

De acuerdo a los resultados obtenidos en muestras de perfiles enriquecidos en óxidos de Mn, se pudo establecer que la litioforita es el mineral de los óxidos de Mn más detectados en los perfiles lateríticos estudiado. 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. También está confirmada la presencia de las fases asbolanas y se debe investigar la posible presencia de otros óxidos de Mn como la todorokita, birnesita y pirolusita, aún no están confirmadas estas últimas en los perfiles lateríticos.

Por otra parte la distribución de la litioforita según las distintas fracciones granulométricas en las muestras manganíferas evidencia que este mineral tiende a concentrarse en las fracciones menores 0,83 mm y mayores de 0,074 mm, acorde con lo obtenido por [Rojas \(2001\)](#).

De acuerdo a los resultados de las técnicas de MEB, se pudo confirmar la presencia de óxidos de Mn en los perfiles (L-48 y M-47) estudiados, se evidenciaron por granos y fracciones de muestras enriquecidas en Mn. Se pudo establecer las determinadas correlaciones entre Mn y micro elementos como el Ba, Co, Ni y los elementos del grupo del platino en los granos y fracciones de las muestras estudiados. Se observó la correlación entre Mn y Co en todos los casos y en algunas porciones una buena correlación entre el Mn y Ba. Según los resultados de la Microscopía Electrónica de Barrido, se determinó la presencia de metales del grupo del Pt (Os, Ir, Pt) y Au en algunos granos y fracciones de las muestras analizadas enriquecidas en óxidos de Mn .

Conclusiones:

1. Los dos perfiles estudiados son manganíferos, poseen significados contenidos de Mn y Co, sobre todo en el perfil L-48, donde estos metales alcanzan su mayor concentración en el horizonte de ocre medio, particularmente en su parte superior e inferior.
2. En las zonas lateríticas de los perfiles la goethita es la fase mineralógica predominante, con ciertos contenidos de hematita, maghemita y gibbsita como fases secundarias. En las zonas silicatadas de los perfiles abundan la lizardita, clorita y olivino.
3. Los óxidos de Mn son de baja cristalinidad y se presentan físicamente de forma entremezclada con otras fases minerales.
4. La litioforita y la asbolana son fases de óxidos de Mn confirmados en estos perfiles lateríticos.
5. De acuerdo a los resultados de MEB, se pudo confirmar la presencia de óxidos de Mn en los perfiles estudiados, se evidenciaron por granos y fracciones de muestras enriquecidas en Mn. Se pudo establecer determinadas correlaciones entre Mn y micro elementos como el Ba, Co, Ni y los elementos del grupo del platino en los granos y fracciones de las muestras estudiados. Se observó la correlación entre Mn y Co en todos los casos y en algunas porciones una buena correlación entre el Mn y Ba.

Recomendaciones

1. Realizar estudios profundos que incluyan muestreo sistemático en una región ampliada, análisis químicos de elementos trazas y las Tierras Raras, determinación de las propiedades físicas y empleo de las técnicas analíticas puntuales.
2. Continuar las investigaciones científicas que contribuyan al estudio de los óxidos de Mn presentes en perfiles lateríticos, empleando métodos estadísticos.
3. Se recomienda hacer análisis para el costo del montaje de planta de beneficio de extracción de minerales de Mn.

Bibliografía Consultada

1. Adamovich, A. & Chejovich, V.D. 1963. Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. Informe, ONRM.
2. 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.
3. Beukes, J. P., Giesekke, E. W., and Elliot, W: Nickel retention by goethite and hematite. *Minerals Engineering*. Vol. 13. No. 14-15. pp 1573-1579. 2000.
4. 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.
5. 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.
6. Bourman, R. P. & Ollier, C.D. 2002. A critique of the Schellmann definition and classification of 'laterite.' *CATENA Volume 47, Issue 2, 2 April 2002, Pages 117-131*
7. 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.
8. Butt, C. R. M. & Zeegers, H. (eds.) 1992. *Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains, Handbook of Exploration Geochemistry*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

9. Camara, M. 2007. Caracterización geoquímica y mineralógica de las cortezas no ferroniquelíferas en Moa, en los ejemplos de sectores Centeno y Cayo Guam. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma).52p.
10. Caron, M. H.: Ammonian leaching of nickel and cobalt ores. Transactions of AIME 188, 67-90. 1950.
11. Chukhrov, F. P., Gorshkov, V. A., Drits, V. A.: Supergenic manganese hydrous oxides. 208 p. Nauka. Moscow. 1989.
12. Cuba-Hungary Brigade, 2001: Mapa Geológico de Cuba, Escala 1:100 000. - IGP [CD-ROM].
13. Cuencas, L.R. 2007. Presencia de óxidos de manganeso en el perfil laterítico del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Trabajo de diploma).68p.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.

18. 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.
19. 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).
20. Gleeson S. A, Butt C. R. M, Elias M. Nickel laterites: A Review. SEG Newsletter 54, 11-18. 2003.
21. Gyamarti P.; I. Méndez M. Lay. 1997. Caracterización de las rocas del arco de islas Cretácico en la zona Estructuro-Facial Nipe-Cristal-Baracoa. En: G.F. Furrázola, K.E. Núñez-Cambra (eds.). Estudios sobre Geología de Cuba, Ciudad de La Habana, Instituto de Geología y Paleontología. 357-364p.
22. 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).
23. Hurlbut C.S.; Klein C.: **Manual de Mineralogía de Dana**. Edición revolucionaria. 564p. 1976.
24. Iturralde-Vinet, M. A. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution. No 1. 1996. pp. 83-120.

25. Iturralde-Vinent M.A. 1996a. Geología de las Ofiolitas de Cuba. En: Iturralde-Vinent M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special contribution n.1. 83-120p.
26. Iturralde-Vinent M.A. 1996b. Introduction to Cuban Geology and Tectonics. En: Iturralde-Vinent M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special contribution n.1. 3-35p.
27. Iturralde-Vinent M.A. 1996c. Cuba: el arco de islas volcánicas del Cretácico. En: M. Iturralde-Vinent (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 346. 179-189p.
28. Iturralde-Vinent M.A. 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispana* 33 (1-4). 9-56p.
29. Iturralde-Vinent, M., Díaz-Otero, C., Rodríguez-Vega, A., Diaz-Martinez, R. .2006. Tectonic implications of paleontologic dating of Cretaceous-Danian sections of Eastern Cuba. *Geológica Acta* 4: 89-102.
30. Kim, Jae Gon; Joe B. Dixon, Charles C. Chusuei and Youjun Deng: Soil Science Society of American Journal 66:661-670. Oxidation of Chromium (III) to (VI) by Manganese Oxides. DIVISION S-9 - SOIL MINERALOGY. 2002.
31. Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction. U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041 [on line] <http://pubs.usgs.gov/openfile/of01-041/index.htm> [consulted: 20 Oct. 2009].
32. 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.

33. Lavaut Copa, W.: Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental. . Revista Minería y Geología. Vol. 15. pp 9-16. 1998.
34. Laverov, N, P. 1985. Yacimientos Metálicos de Cuba. Nauka, Moscú. 243p
35. 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.
36. 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.
37. Manceau A, Tamura, N., Marcus, M. A., MacDowell, A. A., Celestre, R. S., Sublett, R. E., Sposito, G., and 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.
38. Marchesi, C. 2006. Petrogenesis of the ultramafic and mafic rocks from the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt and the spatially-related volcanism (Eastern Cuba). [University of Granada]. Spain. (Doctoral Thesis). 160p
39. Mat'l, W. 1967. Sobre los trabajos de prospección realizados en las provincias Las Villas y Camagüey, para encontrar minerales de cobre, pirita oro, limonita, bauxita, dolomita, calizas arena, grava, grafito, talco y otros minerales metálicos y no metálicos en los yacimientos ONRM Inv. 2446.
40. Michalik, R.(1999). : Gold in the serpentine weathering cover of the Szklary Massif , fore-sudetic block, SW, Poland.

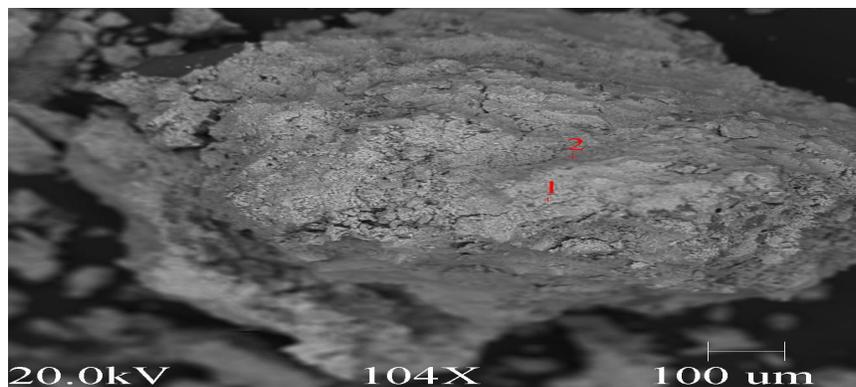
41. Millán, G. 1996. Metamórficas de la asociación ofiolítica de Cuba. En Iturralde-Vinent (ed.) ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba, IGCP *Project* 364. Special contribution n.1., Miami, USA, 131-153.
42. Negra, Christine, Donald S. Ross, and Antonio Lanzirotti: Soil Manganese Oxides and Trace Metals: Competitive Sorption and Microfocused Synchrotron X-ray Fluorescence Mapping. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 353-361. 2005.
43. NJILA, T. & DIAZ-MARTINEZ, R. 2009. Desarrollo actual de los estudios de diferentes cortezas de meteorización y mineralización asociada a la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa. VIII Congreso Cubano de Geología. La Habana, Cuba, 16-20 marzo. (Resúmenes), 72.
44. Peacock, Caroline L., Sherman, David M. Crystal-chemistry of Ni in marine ferromanganese crusts and nodules. *American Mineralogist.* 92: 1087-1092. 2007.
45. Pereira-Ginga, S. 2006. Petrología y geoquímica de los niveles de gabros en el Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba Oriental): Zonas de Quemado del Negro, Cayo Grande, Mercedita y Miraflores. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. (Tesis Doctoral). 134p.
46. Price, J. R. & Velbel, M. A. 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chemical Geology* 202: 397-416.
47. Proenza, J., Melgarejo, J.C., Gervilla, F., Solé, J. 1999: Los niveles de gabros bandeados en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba). Gabros característicos de cumulos de ofiolitas de zona de suprasubducción. *Minería y Geología*, 16 (2): 5-12.

48. Proenza, J.A. 1997. Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba): Ejemplo del yacimiento Mercedita. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, 227p.
49. 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.
50. Oliveira, S.M.B; de Moya Partini, C.S., Enzwelieler, J: Ochreous laterite: a nickel ore Punta Gorda, Cuba. Journal South American Earth Science. 34. 307 –317. 2001.
51. Reiche, P. 1943. Graphic representation of chemical weathering. *Journal of Sedimentary Petrology* 13, 58-68.
52. Ríos, Y.I. & Cobiella, J.L. 1984. Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín. *Minería y Geología* 2: 109-132.
53. Rodríguez, Joelis: Ileana Cabrera, José A. Alonso, Bárbara Martín (2001): Acerca del primer hallazgo del mineral Ernieniquelita NiMn₃O₇.3H₂O en Cuba. TECNOMAT/2001.
54. Rojas- Purón, A. y Otros: Distribución fraccional de metales y minerales en la laterita de balance del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba.
55. Rojas-Purón, A.: Principales fases minerales portadores de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa ,1994. Tesis doctorado doctorado. 73p.
56. Ruxton, B.P. 1968. Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *Journal of Geology* 76, 518-527.

57. Schellmann, W. (1989)- Allochthonous surface alteration of Ni-laterites. *Chemical. Geology* 74: 351-364.
58. Sobol S.I.: Composición de las lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación de minerales por ácidos sulfúricos en autoclaves. *Revista Tecnológica*. No. 5 y 6. 17-23. 1968.
59. Trolard, F. & Tardy, Y. 1987: The stabilities of gibbsite, boehmite, aluminous goethites and aluminous hematites in bauxites, ferricretes and laterites as a function of water activity, temperature and particle size. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 51: 945-957.
60. 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.
61. Voskresenskaya, N, Cordeiro, C: Hallazgo de Elizabetinskita en las formaciones ocosas de la corteza de intemperismo del yacimiento Levisa, Holguín. *Revista Minería y Geología* 3/86. pp 53-62. 1986.
62. Zeegers, H & Leduc, C., 1993. Geochemical exploration for gold in temperate, semiarid and rain forest terrains. In: Forster R.P. (Ed.), *Gold metallogeny and exploration*, Chapman & Hall, London, pp. 309-335.

Anexos:

Anexo 1. Datos de resultados de Microscopia Electrónica de Barrido de las muestras enriquecidas en Mn de los perfiles lateríticos L-48 y M-47.

Muestra Mn 3.Imagen 1

Macroscópicamente la muestra está compuesta por goethita, gibbsita, litioforita y hematita.

En esta porción de muestra se observa una goethita, con cierto contenido de Mn (punto 1), que se enriquece significativamente hacia el borde del gránulo goethítico, donde logra alcanzar hasta 2,13 % de Mn y 1,75% de Co (punto 2).

Espec

1

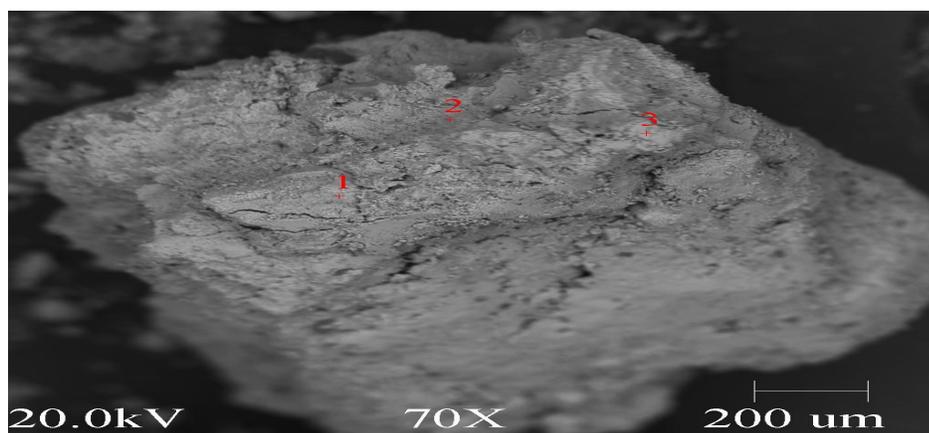
Espec

2

Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig
O	4,666	wt. %	0,198	O	3,357	wt. %	0,314
Mg	0,061	wt. %	0,017	Mg	0,237	wt. %	0,065
Al	1,842	wt. %	0,817	Al	1,367	wt. %	1,325
Si	1,174	wt. %	0,062	Si	0,568	wt. %	0,08
S	0,619	wt. %	0,039	S	1,068	wt. %	0,096
V	0,148	wt. %	0,019	V	0,05	wt. %	0,021

Cr	1,334	wt. %	0,057	Cr	1,177	wt. %	0,101
Mn	0,816	wt. %	0,047	Mn	2,133	wt. %	0,144
Fe	87,931	wt. %	0,678	Fe	87,643	wt. %	1,266
Co	0,277	wt. %	0,041	Co	1,759	wt. %	0,196
Ni	1,034	wt. %	0,092	Ni	0,486	wt. %	0,118
Ba	0,097	wt. %	0,016	Ba	0,155	wt. %	0,039
Total	100	wt. %		Total	100	wt. %	

Muestra Mn 3. Imagen 2



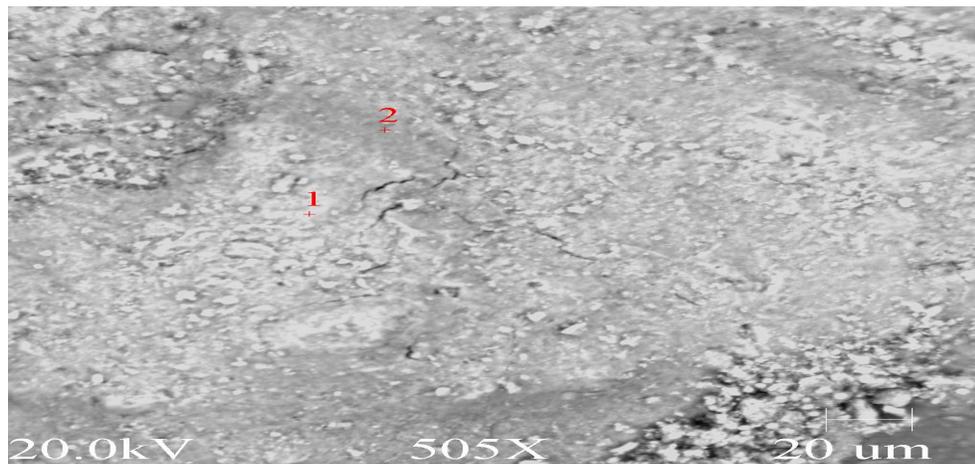
En este grano, se obtienen sectores donde existe una buena concentración de Mn, punto 1, al parecer goethita rodeada de material manganífero, que llega hasta 16,21 %, con alto contenido de Co (3,34 %). No se puede definir la existencia de una sola fase mineral, más bien la coexistencia próxima de goethita rodeada de mineral de Mn. En el punto 2, sigue existiendo buena cantidad de Mn, pero menor que la anterior, y aumenta el Fe. Ya en el punto 3, hay menos Mn y más Fe y daba la apariencia de ser parte de un mismo grano, que incluye el punto 1, parece que no es así. No se aprecia una correlación Al-Fe-Mn, lo que confirma que no es una sola fase en algunos de los 3 puntos, sino enriquecimientos.

Espec
1Espec
2Espec
3

Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig				2-sig
O	0	wt. %	0	O	2,392	wt. %	0,171	O	1,903	wt. %	0,137
Mg	0,025	wt. %	0,02	Mg	0,112	wt. %	0,029	Mg	0,009	wt. %	0,008
Al	0,249	wt. %	0,522	Al	1,847	wt. %	1,004	Al	0,895	wt. %	0,628
Si	0,053	wt. %	0,023	Si	0,216	wt. %	0,032	Si	0,471	wt. %	0,043
V	0,101	wt. %	0,028	S	0,205	wt. %	0,027	S	0,481	wt. %	0,037
Cr	0,564	wt. %	0,066	V	0,008	wt. %	0,006	V	0,012	wt. %	0,006
Mn	16,217	wt. %	0,402	Cr	1,648	wt. %	0,081	Cr	2,069	wt. %	0,078
Fe	78,764	wt. %	1,093	Mn	6,725	wt. %	0,176	Mn	1,802	wt. %	0,077
Co	3,348	wt. %	0,25	Fe	81,948	wt. %	0,794	Fe	89,706	wt. %	0,746
Ni	0,554	wt. %	0,115	Co	2,298	wt. %	0,146	Co	0,919	wt. %	0,082
Ba	0,124	wt. %	0,033	Ni	2,3	wt. %	0,167	Ni	1,455	wt. %	0,119
Total	100	wt. %		Ba	0,3	wt. %	0,037	Ba	0,277	wt. %	0,03
				Total	100	wt. %		Total	100	wt. %	

Muestra Mn 3f2

Una buena muestra enriquecida en Mn, existen granos que tienen hasta un 70 % de Mn. Parece que la fases de Mn, se caracteriza para esta técnica en las zonas claras, y con contenidos de Al más bien bajos, sin embargo, el Ba se incrementa junto con el Mn. Además presenta Ni y Co apreciable. El contenido de Fe está entre un 4 y 7 %.

Muestra Mn 3f2.Imagen 1

En este grano, se observa un buen contenido de Mn. En el punto 1, parece una fase de Mn, con 49,6 % de Mn, con cierto contenido de Fe y alto contenido de Ni y Co (17 % para ambos). El material que se presenta entre los granos manganíferos, de coloración más oscura, es ferroso, puede ser goethita (punto 2). En ambos puntos existe un contenido significativo de Mn. Los contenidos de metales del grupo del platino y Au está por encima de 0,5%, estos valores son muy significativos para estos elementos en este tipo de laterita.

Espec

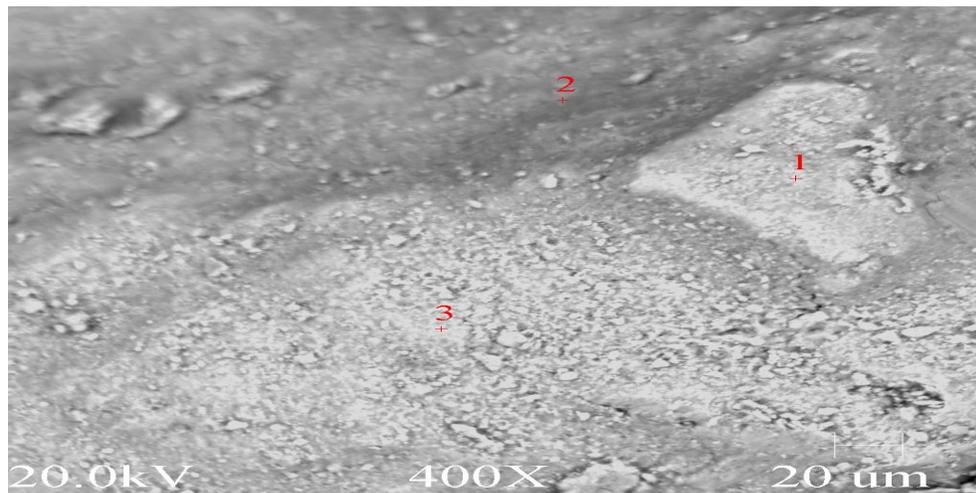
1

Espec

2

Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig
O	2,23	wt. %	0,091	O	1,032	wt. %	0,103
Mg	0,226	wt. %	0,022	Mg	0,014	wt. %	0,009
Al	1,146	wt. %	0,432	Al	0,325	wt. %	0,379
Si	0,046	wt. %	0,008	Si	0,17	wt. %	0,026
P	0,015	wt. %	0,004	P	0	wt. %	0
S	0,106	wt. %	0,011	S	0,073	wt. %	0,015
Ti	0,017	wt. %	0,004	Ti	0	wt. %	0,001

V	0,005	wt. %	0,002	V	0,064	wt. %	0,014
Cr	0,076	wt. %	0,009	Cr	0,714	wt. %	0,049
Mn	49,58	wt. %	0,306	Mn	23,684	wt. %	0,328
Fe	8,056	wt. %	0,132	Fe	66,166	wt. %	0,645
Co	17,805	wt. %	0,228	Co	0,954	wt. %	0,086
Ni	17,688	wt. %	0,245	Ni	3,589	wt. %	0,188
Cu	0,048	wt. %	0,014	Cu	0,027	wt. %	0,018
Zn	0,054	wt. %	0,017	Zn	0,053	wt. %	0,028
Pd	0,002	wt. %	0,002	Pd	0,013	wt. %	0,009
Ag	0,159	wt. %	0,017	Ag	0,033	wt. %	0,013
Ba	0,163	wt. %	0,014	Ba	0,206	wt. %	0,029
Os	0,64	wt. %	0,107	Os	0,631	wt. %	0,176
Ir	0,564	wt. %	0,104	Ir	0,614	wt. %	0,18
Pt	0,553	wt. %	0,107	Pt	0,877	wt. %	0,223
Au	0,82	wt. %	0,135	Au	0,763	wt. %	0,216
Total	100	wt. %		Total	100	wt. %	

Muestra Mn 3f2. Imagen 2

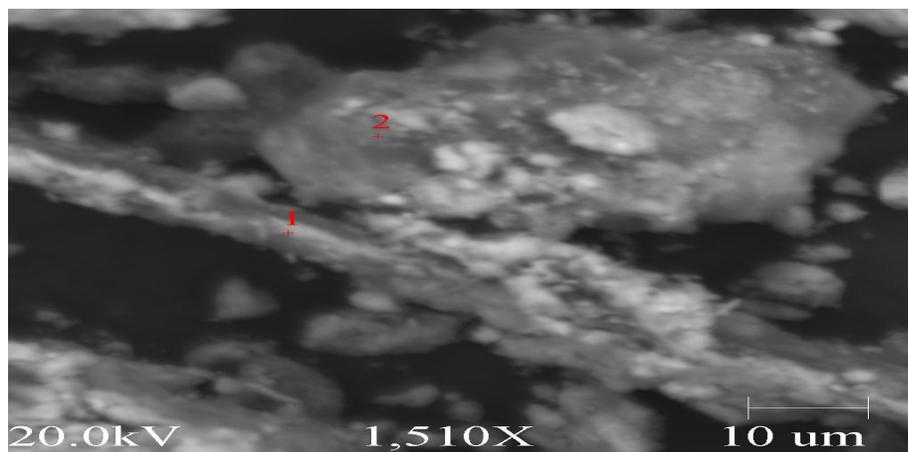
En este grano, las porciones de coloración más clara son manganíferas, punto 1 y 3, en los cuales se llega alcanzar hasta un 46 % de Mn. La porción de muestra con coloración más oscura es más pobre en Mn y más rica en Fe, puede ser una goethita, con Mn. También existen significados contenidos de metales del grupo del Pt y Au en esta porción de la muestra estudiada.

Espec 1				Espec 2				Espec 3			
Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig				2-sig
O	0,687	wt. %	0,052	O	0,449	wt. %	0,047	Mg	0,132	wt. %	0,017
Mg	0,04	wt. %	0,01	Mg	0,016	wt. %	0,007	Al	1,246	wt. %	0,455
Al	1,114	wt. %	0,435	Al	0,727	wt. %	0,389	Si	0,391	wt. %	0,024
Si	0,463	wt. %	0,026	Si	0,378	wt. %	0,026	P	0,022	wt. %	0,005
P	0,047	wt. %	0,008	P	0	wt. %	0	S	0,19	wt. %	0,015
S	0,277	wt. %	0,018	S	0,231	wt. %	0,018	Ti	0,057	wt. %	0,008
Ti	0,139	wt. %	0,013	Ti	0,253	wt. %	0,02	V	0	wt. %	0
V	0	wt. %	0	V	0,019	wt. %	0,005	Cr	0,702	wt. %	0,03
Cr	1,105	wt. %	0,038	Cr	1,481	wt. %	0,048	Mn	43,163	wt. %	0,287

Mn	36,708	wt. %	0,264	Mn	7,27	wt. %	0,115	Fe	24,617	wt. %	0,236
Fe	40,565	wt. %	0,31	Fe	82,196	wt. %	0,492	Co	12,687	wt. %	0,195
Co	7,866	wt. %	0,155	Co	1,659	wt. %	0,077	Ni	13,416	wt. %	0,218
Ni	8,496	wt. %	0,177	Ni	2,286	wt. %	0,103	Cu	0,144	wt. %	0,025
Cu	0,028	wt. %	0,011	Cu	0,01	wt. %	0,007	Zn	0,03	wt. %	0,013
Zn	0,205	wt. %	0,034	Zn	0,086	wt. %	0,024	Pd	0	wt. %	0
Pd	0,016	wt. %	0,006	Pd	0,062	wt. %	0,013	Ag	0,214	wt. %	0,021
Ag	0,104	wt. %	0,015	Ag	0,058	wt. %	0,012	Ba	0,337	wt. %	0,022
Ba	0,322	wt. %	0,022	Ba	0,17	wt. %	0,018	Os	0,573	wt. %	0,103
Os	0,51	wt. %	0,098	Os	0,647	wt. %	0,122	Ir	0,478	wt. %	0,097
Ir	0,312	wt. %	0,079	Ir	0,637	wt. %	0,125	Pt	0,684	wt. %	0,12
Pt	0,636	wt. %	0,118	Pt	0,857	wt. %	0,151	Au	0,919	wt. %	0,145
Au	0,36	wt. %	0,092	Au	0,511	wt. %	0,121	Total	100	wt. %	
Total	100	wt. %		Total	100	wt. %					

S	0,523	wt. %	0,038	S	0,212	wt. %	0,026	S	0,397	wt. %	0,034
V	0,086	wt. %	0,016	V	0,041	wt. %	0,012	V	0,03	wt. %	0,01
Cr	3,106	wt. %	0,099	Cr	1,483	wt. %	0,072	Cr	2,6	wt. %	0,095
Mn	3,615	wt. %	0,113	Mn	7,514	wt. %	0,175	Mn	6,866	wt. %	0,165
Fe	81,995	wt. %	0,702	Fe	85,257	wt. %	0,764	Fe	76,909	wt. %	0,699
Co	1,323	wt. %	0,098	Co	2,031	wt. %	0,13	Co	1,389	wt. %	0,103
Ni	2,362	wt. %	0,149	Ni	2,064	wt. %	0,149	Ni	2,886	wt. %	0,169
Ba	0,27	wt. %	0,031	Ba	0,284	wt. %	0,034	Ba	0,399	wt. %	0,04
Total	100	wt. %		Total	100	wt. %		Total	100	wt. %	

Muestra Mn 3f3. Imagen 3



Grano fibroso (punto 1), goethítico – gibbsítico, con buen contenido de Mn, hasta 9 % de Mn. Al lado, grano de forma más bien aplanada, prácticamente gibbsítico, con 28 % de Al, y con 11% de Mn, (punto 2), también manganífero.

Espec

1

Espec 2

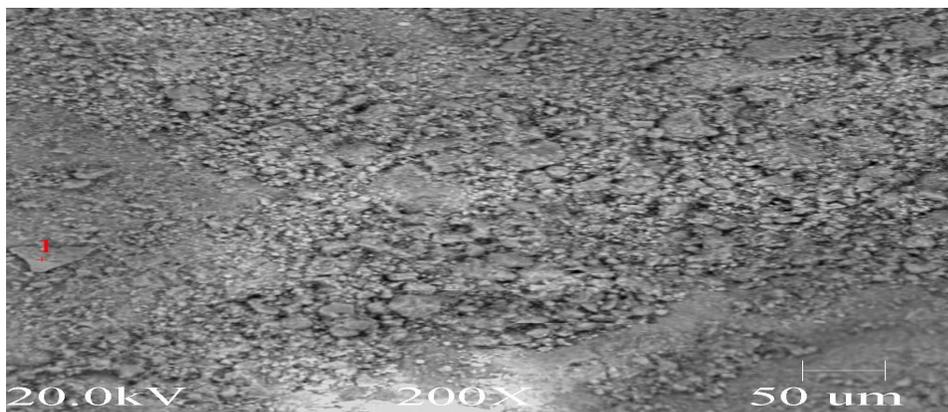
Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig
O	3,66	wt. %	0,288	O	3,029	wt. %	0,345

Mg	0,043	wt. %	0,023	Mg	0,595	wt. %	0,098
Al	8,825	wt. %	2,824	Al	28,139	wt. %	5,892
Si	1,556	wt. %	0,116	Si	0,226	wt. %	0,058
S	0,246	wt. %	0,04	S	0,446	wt. %	0,069
V	0,109	wt. %	0,029	V	0	wt. %	0
Cr	1,733	wt. %	0,116	Cr	0,951	wt. %	0,113
Mn	9,254	wt. %	0,29	Mn	11,026	wt. %	0,419
Fe	69,658	wt. %	0,975	Fe	49,417	wt. %	1,027
Co	2,187	wt. %	0,19	Co	1,933	wt. %	0,224
Ni	2,378	wt. %	0,224	Ni	3,561	wt. %	0,339
Ba	0,351	wt. %	0,058	Ba	0,679	wt. %	0,116
Total	100	wt. %		Total	100	wt. %	

Muestra Mn 8f1

La muestra macroscópicamente está compuesta principalmente por la goethita con menores cantidades de maghemita, litioforita, hematita y gibbsita.

Muestra Mn 8f1. Imagen1

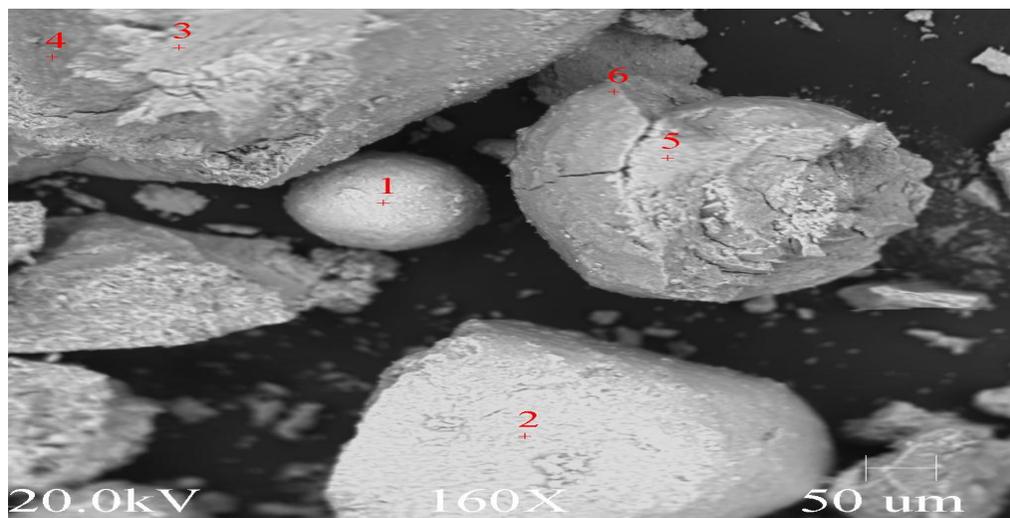


En esta porción de la muestra está compuesta principalmente por material goethítico, con buen contenido de Co (0,76%), Mn (0,65%) y Ni (1,3%) en punto 1. La goethita es la fase mineral predominante, con la maghemita, hematita, litioforita y gibbsita como fases secundaria.

Espec

1

Elt.	Conc		Error
			2-sig
O	2,643	wt.%	0,139
Mg	0,016	wt.%	0,009
Al	0,391	wt.%	0,36
Si	0,437	wt.%	0,036
S	0,128	wt.%	0,017
V	0,031	wt.%	0,008
Cr	0,298	wt.%	0,024
Mn	0,655	wt.%	0,036
Fe	93,24	wt.%	0,656
Co	0,76	wt.%	0,065
Ni	1,305	wt.%	0,098
Ba	0,095	wt.%	0,013
Total	100	wt.%	

Muestra Mn 8f2**Muestra Mn 8f2. Imagen 2**

Granos goethítico –espinela cromífera. Granos con contenido variables de Cr. Granos en punto 3 y 4 , se parece espinela cromífera con significativos contenido de Cr que alcanzar hasta 4,14% de Cr (punto 3).Estos granos de espinela cromífera se enriquece de óxido de Fe , principalmente la goethita ,dado alto contenido de Fe se detectan en estos puntos(1,2,3,4 y 5).

Espec

1

Espec

2

Espec 3

Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error	Elt.	Conc		Error
			2-sig				2-sig				2-sig
O	4,065	wt. %	0,191	O	4,481	wt. %	0,2	O	5,838	wt. %	0,214
Al	1,724	wt. %	0,818	Al	1,374	wt. %	0,731	Mg	0,109	wt. %	0,022
Si	1,84	wt. %	0,08	Si	1,663	wt. %	0,076	Al	2,395	wt. %	0,893
S	0,686	wt. %	0,043	S	0,501	wt. %	0,036	Si	2,142	wt. %	0,08
V	0,028	wt. %	0,009	V	0,057	wt. %	0,012	S	0,694	wt. %	0,04
Cr	1,484	wt. %	0,062	Cr	1,662	wt. %	0,065	V	0,057	wt. %	0,012
Mn	0,214	wt. %	0,025	Mn	0,045	wt. %	0,011	Cr	4,146	wt. %	0,102

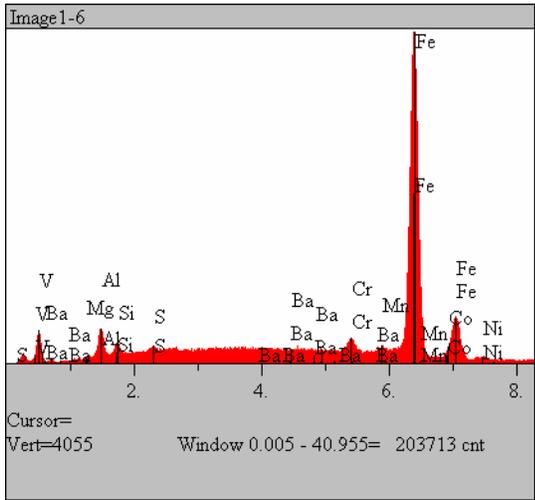
Fe	88,073	wt.%	0,702	Fe	88,948	wt.%	0,706	Mn	0	wt.%	0
Co	0,728	wt.%	0,07	Co	0,228	wt.%	0,039	Fe	83,201	wt.%	0,641
Ni	1,061	wt.%	0,096	Ni	0,966	wt.%	0,092	Co	0,53	wt.%	0,056
Ba	0,097	wt.%	0,017	Ba	0,075	wt.%	0,014	Ni	0,797	wt.%	0,078
Total	100	wt.%		Total	100	wt.%		Ba	0,091	wt.%	0,016
								Total	100	wt.%	

Espec

4

Elt.	Conc		Error
			2-sig
O	6,871	wt.%	0,235
Mg	0,151	wt.%	0,026
Al	7,684	wt.%	1,567
Si	2,032	wt.%	0,079
S	0,64	wt.%	0,039
V	0,11	wt.%	0,017
Cr	3,914	wt.%	0,101
Mn	0	wt.%	0
Fe	77,404	wt.%	0,619
Co	0,509	wt.%	0,055
Ni	0,546	wt.%	0,064
Ba	0,138	wt.%	0,021
	100	wt.%	

Espectro 5.



Espectro 6.

