



REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO GEOLOGO.

Presencia de óxidos de manganeso en el perfil laterítico del yacimiento Punta Gorda,
Moa – Holguín.

DIPLOMANTE: Leandro Cuenca Reyes.

TUTOR: Dr.C. Arturo Rojas Purón

“Año del 50 aniversario del Triunfo de la Revolución”
MOA, Julio de 2009

Agradecimientos

Quiero agradecer aquellas personas que de una forma u otra tuvieron participación directa e indirecta en la realización de este trabajo.

✚ *Agradezco a mi madre Magafys y mi padrastro Abel por brindarme tanto apoyo durante los cinco años de la carrera, además de ser mis mayores motores impulsores.*

✚ *A mi hermano, cuñada y mi tía Odalis que a pesar de encontrarse todos lejos de mí siempre han estado atento con mi desenvolvimiento.*

✚ *De forma especial a mi esposa Marilennys por su preocupación en esta etapa tan importante de la vida.*

✚ *Agradezco a mis amigos Reinier (pachi), Yonny (Javao), Maydonys, Daniel, Yordan, Uberto, Yasser y demás compañeros del grupo que formaron parte de mi preparación en estos cinco años.*

✚ *Agradecimiento a mi tutor Dr. Arturo Rojas Purón quien dedico su preciado tiempo a la elaboración de este trabajo.*

✚ *A todo el colectivo de profesores de la carrera de geología, que con sus experiencias y metodologías han sido capaz de formar en mi valores y conocimientos, acorde con un joven profesional.*

Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma especialmente a mi madre que siempre me ha guiado por el camino correcto y me ha brindado su apoyo durante toda mi vida de estudiante, a toda mi familia, amigos y compañeros...

Pensamiento

La ciencia está en conocer la oportunidad y aprovecharla en hacer lo que conviene a nuestro pueblo con sacrificio de nuestras personas; y no en hacer lo que conviene a nuestras personas con sacrificio de nuestro pueblo.

José Martí

Índice

Agradecimientos.....	I
Dedicatoria	II
Pensamiento	III
Índice.....	IV
Resumen	V
Abstract	VI
Introducción.....	1
 CAPITULO # 1: Localización, rasgos físico - geográficos y geológicos de la región de estudio.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2. Ubicación geográfica y rasgos físico - geográfico	4
1.3. Características geológicas de la región.....	6
1.4. Características geológica del área de estudio.....	15
1.4.1. Condiciones estructurales.	18
1.4.2. Condiciones hidrogeológicas.	20
1.5 Procesos geodinámicos y antrópicos.	21
 CAPITULO # 2: Metodología y volumen de los trabajos realizados.....	25
2.1 Introducción.....	25
2.2 Definición de la zona de estudio en el yacimiento Punta Gorda.	25
2.3 Materiales.....	27
2.4 Métdos de investigación.....	30
2.4.1 Métodos de difracción de rayos – X (DRX).	31
2.4.2 Análisis térmico diferencial (ATD).	33
2.4.3 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).....	35
2.5 Aplicación práctica del manganeso.	37
 CAPITULO # 3: Resultados e Interpretación de los resultados obtenidos.	39
3.1 Introducción.....	39
3.2 Resultados.....	39
3.2.1 Granulometría.	39
3.2.2. Composición química de los perfiles lateríticos.	40
3.2.3 Composición mineralógica de los perfiles lateríticos.	42
3.2.4 Confirmación de las fases de óxidos de Manganeso por Microscopía Electrónica (MEB).	47
3.3 Interpretación de los resultados	48
Conclusiones:.....	51
Recomendaciones:.....	52
Bibliografía consultada:	53
ANEXOS	57

Resumen

Se caracterizan mineralógicamente dos perfiles lateríticos enriquecidos en manganeso del yacimiento de Punta Gorda en Moa, Cuba, empleando técnicas de Difracción de Rayos -X (DRX), Análisis Térmico Diferencial (ATD), Fluorescencia de Rayos -X (FRX). Las muestras manganíferas, se localizan en el horizonte de ocre medio de estas cortezas. El perfil más maduro (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, definido según los reflejos difractométricos: 0,471 nm y 0,474 nm; 0,943 nm y 0,976 nm, donde los termogramas evidencian una baja cristalinidad, según picos endotérmicos alrededor de los 500 °C. La fracción granulométrica de concentración de las fases de óxidos de Mn es la menor de 0,83 mm y mayor de 0,074 mm.

Abstract

It is characterized mineralogical two laterithics profiles enriched in manganese from Punta Gorda deposit, site in Moa, Cuba, using X-Rays Diffractions techniques (XRD), Differential Thermic Analysis (DTA), X-Rays Fluorescence (XRF). The manganepheres samples are found in the half ochre horizon of these crusts. The hardest profile (L-48) it has the highest contents of MnO (from 1,98 up to 9,9 %) and Co_3O_4 aswell (between 0,28 to 1,02 %), meanwhile the other profile (M-47) the manganipheral material contains between 1.35 to 1.59 % of MnO and 0,32 a 0,34 % of Co_3O_4 . The goethite is predominant mineral phase, existing besides in minor contents the hematite, maghemita and gibbsita. The L-48 profile has a mayor quantity of gibbsita, in correspondence with the highest contents of aluminum (20 % of Al_2O_3) that has in its superior ochre horizon. The lioforita is the main ore of manganese oxide existing in these latherites profiles defined according to the diffract meter : 0,471 nm y 0,474 nm; 0,943 nm y 0,976 nm, where the thermogramers evidences a low crystallity, according endothermic peaks around 500 °C. The granulomethrical fraction of concentration of the phases of Mn oxides is the minor it is 0, 83 mm y mayor de 0,074 mm.

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 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 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), [Figura 1.1]. 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; Quantin y otros, 2002; Negra 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 sus rasgos de la estructura cristalina (Manceau y otros, 1987).

Otra dificultad lo constituye los aspectos de la cristaloquímica de los elementos minoritarios, ya que su número atómico está muy próximo al Mn, por lo que ellos no pueden ser fácilmente diferenciado por métodos de Rayos – X, teniéndose que emplear técnicas de Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) y Espectroscopia Fotoelectrónica de Rayos – X (XPS) con las cuales se han obtenidos buenos resultados.

El presente trabajo constituye una caracterización mineralógica de dos perfiles lateríticos enriquecidos en cobalto y manganeso, localizados al suroeste del yacimiento Punta Gorda de la región de Moa. 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.

Problema: Necesidad de definir las formas mineralógicas de los óxidos de manganeso en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

Objeto del trabajo: Los óxidos de manganeso presente en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

Objetivo del trabajo: Confirmar las formas mineralógicas en que se encuentran los óxidos de manganeso presente en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín.

Hipótesis: Si se detectan materiales perspectivas, y se determinan las características químicas y mineralógicas de los óxidos de manganeso presentes en perfiles lateríticos, se pueden establecerse las formas mineralógicas de estos óxidos de manganeso.

Principales resultados a obtener:

- Características geológicas generales de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta, Moa, Holguín.
- Caracterizar físicamente el material enriquecido en Mn presente en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta, Moa, Holguín.
- Composición química de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta, Moa, Holguín.
- Composición mineralógica general de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta, Moa, Holguín.
- Confirmar las formas mineralógicas de los óxidos de manganeso en perfiles lateríticos enriquecidos en Mn del yacimiento Punta, Moa, Holguín.
- A partir de los datos de Microscopía Electrónica, establecer correlaciones entre los macro y micro elementos asociados a los óxidos de Mn presentes en los perfiles del yacimiento Punta, Moa, Holguín.

CAPITULO # 1: Localización, rasgos físico - geográficos y geológicos de la región de estudio

1.1 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, tal es el caso de Cuba. Las menas de níquel cubanas se conocen prácticamente desde el mismo tiempo del descubrimiento de la isla en 1492.

El contenido de la geología y mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de hierro, níquel y cobalto está dirigido a profundizar en la geología y mineralogía de las menas lateríticas, las que integran los minerales de los horizontes de limonita de balance (LB) y serpentinita de balance (SB). Además se tratarán en detalle las transformaciones de los minerales primarios ferro-magnesianos durante el proceso de lateritización y en particular del olivino como mineral primario portador del níquel a la corteza de intemperismo, así como una breve descripción de los perfiles lateríticos.

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, de perfil laterítico, en las que se pueden establecer cuatro horizontes o capas, las que difieren entre sí desde el punto de vista químico, mineralógico, entre otros parámetros.

1.2. Ubicación geográfica y rasgos fisiográficos

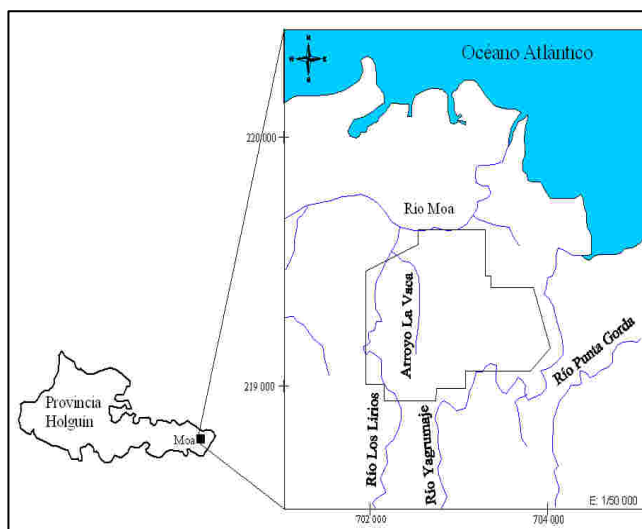


Figura 1.1: Ubicación geográfica del área de estudio.

El área de estudio forma parte del grupo orográfico Sagua-Baracoa, lo cual hace que el relieve sea predominantemente montañoso, principalmente hacia el sur. Hacia el norte el relieve se hace más suave, disminuyendo gradualmente hacia la costa.

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 río 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]

La red fluvial: Está representada los ríos Moa (al norte), sus afluentes río 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.

El clima: Es tropical con abundantes precipitaciones, estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso que se desarrolla en la región y la dirección de los vientos alisios provenientes del Océano Atlántico cargado de humedad. En el período de 1916-1963, la temperatura media anual oscilaba entre 20° y 25°C, el promedio de precipitaciones anuales entre 1200-1400 mm y la evaporación media anual entre 1400-1750 y hasta 1985 la temperatura media anual estuvo entre 22° y 33°C, el promedio de precipitaciones entre 1600-2200 mm y la evaporación media anual entre 2200-2400 mm.

Desde 1985 al 1991, según la estación hidrometeorológica El Sitio y datos pluviométricos de la estación Vista Alegre, la temperatura media anual osciló entre 22.6° – 30.5°C, siendo los meses más calurosos los de julio, agosto y septiembre y los más fríos enero y febrero; el promedio de precipitaciones anuales entre 1231-5212 mm, siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual oscila entre 1880-7134 mm.

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 serpentinizada. Las zonas bajas litorales, están cubiertas por una vegetación costera típica entre la que se destaca los mangles.

El área de estudio se relaciona, desde el punto de vista regional, al desarrollo de sistemas de arco 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 ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas.

1.3. Características geológicas de la región.

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 “neoautóctono” (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 a un 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 ofiolíticas 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 Curial. Posee un espesor que en ocasiones sobrepasa los 1000 metros (Iturralde Vinent 1996, 1998).

La secuencia de piso a techo está compuesta por peridotitos con texturas de tectónitas, “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. Mícará, y la Fm. Picota).

En ocasiones las ofiolitas están cubiertas por materiales Vulcano-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).

▪ **Macizo Ofiolítico Mayarí-Cristal**

El complejo ofiolítico Mayarí-Cristal se ubica en la parte occidental de la faja ofiolíticas Mayarí-Baracoa, ocupando un área aproximada de 1200 Km². y posee una morfología tabular con un espesor de 1 a 1,5 Km. (Fonseca y otros, 1985). En él se han descritos, principalmente los complejos ultramáficos y diques de diabasas; en cambio la existencia del complejo de garbos es polémica y el Vulcano-sedimentario no ha sido localizado todavía (Iturralde Vinent, 1996, 1998; Proenza, 1997; Proenza et al. 1999, 2000; Cobiella 2000).

Las rocas ultramáficas están constituidas predominantemente por harzburgitas y dunitas, y rara veces por lherzolitas y piroxenitas, (Fonseca y otros, 1985; Nekrasov y otros, 1989; Proenza y otros, 1999). Al sur del macizo Mayarí-Cristal, se localiza el Melange La Corea, la cual es una zona metamórfica de unos 25 Km² (Adamovich Chejovich, 1964; Naggy et al., 1983; Millán, 1996). Esta zona se compone por diferentes bloques separados por una matriz serpentinitica. Predominan las rocas metamórficas de alta presión, así como metabasitas de baja presión de origen ofiolítico (Millán, 1996). Las metamorfitas de alta presión son anfibolitas uraníferas y bloques aislados de esquistos glaucofánicos; además existen esquistos verdes, esquistos tremolíticos, actinolíticos, diques de pegmatitas y granitoides masivos.

Las metamórficas de La Corea, afloran hacia el extremo sureste de la región de estudio, estando constituidas por rocas metamórficas de diferentes facies, entre las que se distinguen las siguientes:

- ✓ Facies de los esquistos verdes: a estas facies se asocian esquistos micáceos, grafitico, cuarcíferos y otros.
- ✓ Facies de las corneanas: en esta facies, típica de metamorfismo de contacto, tenemos asociados mármoles, cuarcitas secundarias entre otras.
- ✓ Facies de las anfibolitas: es una facies de altas presiones y temperaturas con la cual están asociadas las anfibolitas propiamente dichas.

Este Melanie está constituido por bloques totalmente alóctono y exótico enclavados en la Sierra Cristal. En esta faja ofiolíticas también existen numerosos cuerpos de cromitas en diferentes niveles estructurales del corte Ofiolítico. Las cromitas ricas en Cromo se localizan en peridotitos con texturas de tectonitas (tipo Mayarí) y las ricas en Aluminio en la denominada Moho Transition Zone (tipo Moa-Baracoa) (Proenza, 1998; Proenza et al. 1999). Sin embargo, en la zona de Sagua de Tánamo (extremo oriental del macizo Mayarí-Cristal) aparecen tanto depósitos de cromita ricos en Cromo como ricos en Aluminio. En esta zona las rocas de afinidad ofiolíticas (principalmente peridotitos serpentinizados) forman una zona compleja de “Melange” (Proenza et al. 1999).

En Mayarí-Cristal también están presentes diques de piroxenitas, los cuales cortan las peridotitos y los cuerpos de cromitas (Iturralde, 1996, 1998; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999, 2000; Cobiella, 2000).

El complejo de Gabros no se encuentra bien expuesto y su presencia ha sido bien cuestionada. Knipper y Cabrera (1974) reconocen una zona compuesta por gabros normales, gabros anfibolitizados juntos con diabasas en el extremo noroccidental del macizo; en cambio, Fonseca y otros (1985) y Nekrasov y otros (1989) no reconocen la existencia del complejo de gabros, micro gabros y gabros-diabasas y los relacionan con el complejo cumulativo máfico, aunque plantean que el gabro no es la variedad predominante. Iturralde Vinent (1996, 1998) reconoce la zona de gabros junto con diques de diabasas.

Los diques de diabasa pocos centímetros de espesor y se disponen paralelos, con una separación de 1 a 5 metros (Iturralde Vinent, 1996, 1998). Actualmente se cuestiona mucho la existencia de una secuencia de diques paralelos como los existentes en otras regiones del mundo.

▪ **Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa**

Este macizo de rocas e afinidad ofiolítica, se ubica en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupando un área de 1500Km² (Proenza et al. 1999). En esta faja se han descritos 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 mantelitos, 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 ultramáficos desde el punto de vista petrológico, se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado por dunita; también se han descritos 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 ultramáficos. 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 ultramáficos (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 ofiolíticos (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 hialoclasitas, 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-sedimentarios 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).

▪ **Arco Volcánico Cretácico**

Las rocas volcánicas y Vulcano-sedimentarias de edad cretácica están representadas por Fm. Santo Domingo. Estas están constituidas por tobas y tufinas con cuerpos de lavas y calizas intercalados (Iturralde Vinent, 1976; Proenza y Carralero, 1994). Los materiales de la Fm. Santo Domingo se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas del macizo Mayari-Baracoa. Muchas veces los contactos coinciden con zonas que presentan una mezcla de bloques de vulcanitas pertenecientes al arco de ofiolitas.

Las rocas representativas de esta formación afloran hacia la parte centro occidental de la región de estudio (al norte y al sur de la Sierra Cristal), en la parte alta de la cuenca del Sagua de Tánamo, en la región de Farallones-Calentura y en una pequeña área de en la localidad de Centeno. Los materiales de la Fm. Santo Domingo se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas de la faja Mayari-Baracoa.

También aparecen pequeños cuerpos de pórfiris dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde Vinent, 1976, 1996,1998; Proenza y Carralero, 1994; Gyarmati Leye O Conor, 1990; Gyarmati y otros, 1997). El complejo Cerrajón de edad Aptiano-huroniano (Rodríguez A., 1998 y Ramayo L., 2003, representantes de la actividad volcánica cretácica en la región de estudio), esta compuestas por diques subparalelos de diabasas, gabro-diabasas, micro gabros de espesores entre 0,8 y 2,2 metros y vulcanitas basálticas y andesito-basálticas (Gyarmati, 2001; Ramayo 2003). Este complejo constituye el encajante de las mineralizaciones hidrotermales Hato Viejo y El Rifle-Los Colorados, constituidos por cuerpos filonianos y brechas hidrotermales con presencia de fases minerales de Ag. y Au., rodeadas por aureolas de alteración fílica, argílica y propílicas, emplazadas dentro de este complejo (Ramayo,2003).

La actividad volcánica se extendió desde Aptiano al Campaniano medio (Iturralde Vinent, 1994) y fue el resultado de una subducción intraoceánica (Iturralde Vinent, 1998).

▪ **Secuencia Sedimentarias del Campaniano Tardío-Daniano.**

Los materiales asociados a la cuenca transportada del Campaniano Tardío-Daniano se componen de las Formaciones Mícara y la Picota. Dentro de estas formaciones se encuentran materiales típicamente olitostómicas y con características de Melanie (Fm. La Picota y parte de Mícara.).

Las cuales están compuestas por bloques y fragmentos procedentes de la secuencia ofiolítica y de las rocas volcánicas cretácicas (Quintas, 1989). En consecuencia, estas unidades litoestratigráficas constituyen un registro temporal del emplazamiento tectónico (obducción) de las ofiolitas, el cual estuvo enmarcado en el tiempo de desarrollo de esas cuencas.

La formación Mícara esta compuestas por facies terrígenas y terrígenas carbonatadas de edad Maestrichtiano-Daniano. La secuencia inferior es de tipo molásica y la superior de tipo flysch. En la zona de Cananova, esta formación está compuesta por areniscas de granos medios, con intercalaciones olistotrómicas compuestas por areniscas y gravelitas con bloques de diversos tamaño de rocas ígneas básicas (Quintas, 1989). El límite inferior no se ha observado, pero se supone que sea discordante sobre la formación Santo Domingo.

El área de afloramiento de la formación Mícara es muy diversa, aflorando en el flanco meridional de la Sierra Cristal, Cuenca de Sagua de Tánamo, Mayarí Arriba, sector de los indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

La formación Picota tiene una composición muy variable en cortas distancias a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomeráticas, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último es de tipo carbonatado.

Existen dudas acerca de sus pertenencias a esta formación o si son brechas tectónicas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges. De acuerdo a las características de esta formación se estima que la misma se acumulo a fines del Cretácico e incluso en el Paleoceno inicial, asociados al emplazamiento de las ofiolitas, que constituyen su principal fuente de suministro. Afloran en los flancos meridionales de la Sierra Cristal, Cuenca de Sagua de Tánamo, la base de Sierra del Mackey y en la Meseta de Caimanes.

La formación Gran Tierra es una secuencia terrígeno-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la Sierra cristal, Constituyendo en Cuba oriental el límite entre el Cretácico y el Terciario en forma concordante. En las rocas arcillosas y margosas de esta formación se han registrados los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

▪ Arco Volcánico del Terciario

Entre el Paleógeno Inicial y el Eoceno Medio Inferior se desarrollo otro régimen geodinámico de arco de isla en cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla y en la región de estudio está representada por la Fm. Sabaneta (Iturralde Vinent, 1976,1995; Proenza y Carralero, 1994; Quintas et al., 1995), la cual ha sido depositada en una cuenca de retroarco (back arc), (Iturralde Vinent, 1996).

La unidad se compone de rocas epiclásticas como por ejemplo tobas y tufitas (Iturralde Vinent, 1976, 1996; Proenza y Carralero, 1994; Quintas et al., 1996; García M. et al., 1996). Las rocas pertenecientes al Arco de Islas del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del Arco Cretácico, las ofiolitas y la cuenca de Peggy back del Campaniano Tardío-Daniano.

La formación Sabaneta está constituida por rocas Vulcano-sedimentaria de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillotizados, con intercalaciones de caliza, silicita, tobas cloritizadas y en raras ocasiones basaltos. En Farallones el corte está compuesto por tobas vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, en menor grado argilitizadas, tufitas, calizas, radiolaritas, tobas vítreas y tobas cineríticas.

Las calizas tobáceas y la tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación. La estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional. En los gruesos y algunas brechas, donde fueron encontrados fósiles que indican una edad Paleoceno-Daniano. Esta formación aflora en los flancos septentrionales y meridionales de la Sierra Cristal, en la cuenca de Sagua de Tánamo, en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey. Las rocas pertenecientes al arco de Islas del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del Cretácico, las ofiolitas y las cuencas de piggy back del Campaniano Tardío-Daniano.

▪ Secuencias Sedimentarias del Eoceno Medio-Oligoceno

Las secuencias estratigráficas del Eoceno medio-Oligoceno están representadas por las formaciones Puerto Boniato, Charco Redondo, Sagua de Tánamo, Sierra del Capiro, Cilindro, Mucaral y Maquey. La Formación Puerto Boniato (Eoceno Medio) se compone fundamentalmente de calizas órgano-detriticas, albaceas y margas (Naggy y otros, 1976), mientras que la Fm. Sagua de Tánamo está constituida por margas y calizas (Albear y otros,1998; Quintas, 1989, 1996).

La Fm. Charco Redondo (Eoceno Medio) está constituida por calizas compactas órgano-detríticas, fosilíferas de color variable. En esta parte predomina la estratificación gruesa, mientras que en la superior predomina la fina, (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Gyarmati y Levé O'connor, 1990).

La Fm. Sierra de Capiro (Eoceno Superior) se compone por Lutitas y por margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas, (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Gyarmati y Levé O'connor, 1990).

La Fm. Cilindro (eoceno Medio-Superior) está compuesta por conglomerados polimícticos con estratificación lenticular y a veces cruzada, débilmente cementada con lentes de areniscas que contienen lignito. La matriz es arenítica polimíctica, con contenido de carbonato, (Quintas, 1989; Gyarmati y Levé O'connor, 1990; Crespo, 1996).

La Fm. Mackey (Oligoceno Medio Inferior) está conformada fundamentalmente por alteraciones de lutitas, areniscas, arcillas calcáreas con un espesor variable de calizas biodetríticas (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Crespo, 1996).

▪ **Secuencias sedimentarias del Neoautóctono.**

El Neoautóctono está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas y en la región aparecen representados por la Fm. Majimiana del Oligoceno Superior-Mioceno Medio, Fm. Jagüeyes del Mioceno Inferior a Mioceno Medio y Júcaro del Mioceno Superior.

Todas estas formaciones son esencialmente carbonatadas con materiales clásticos subordinados, predominando en ello deferentes tipos de calizas (masivas, biogénicas, órgano -detríticas y arcillosas), margas, calcarenitas y areniscas.

Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por una yacencia monoclinal, suave u horizontal, presentando algunas perturbaciones en la zona donde existen dislocaciones jóvenes. La Fm. Júcaro está formada por calizas margosas poco consolidadas y en ocasiones por margas de edad Oligoceno-Mioceno.

Esta formación por toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey. Mientras que la Fm. Majimiana está formada por calizas órgano-detriticas típicas de complejos arrecifales y de bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de esta formación presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, conteniendo una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asignarle una edad Oligoceno Superior hasta el Mioceno. Aflora en la región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa.

Sobre todas las litologías antes descritas se encuentran depósitos cuaternarios que constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis predominantemente continental de pocas variaciones diagenéticas y pequeños espesores. Estos depósitos están constituidos por calizas órgano-detriticas con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos.

Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en las márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial. Estos depósitos constituyen una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinuo en las partes inferiores.

1.4. Características geológicas del área de estudio

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

En el basamento se revela una alta complejidad tectónica y mediana complejidad litológica. La litología que predomina es la peridotita serpentinizada 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. Las litologías que conforman el perfil friable son, de arriba hacia abajo (Quintas et al, 2002)):

- Litología 1: Ocre estructural con concreciones ferruginosas (OIC). Presentan color pardo oscuro con concreciones ferruginosas que aumentan de tamaño hacia la superficie donde forman bloques de distintas dimensiones y forma.
- Litología 2: Ocre inestructural sin concreciones ferruginosas (OI). Presenta color pardo oscuro.
- Litología 3: Ocre estructural final (OEF). Se caracteriza por sus estructuras terrosas y color pardo amarillento hasta amarillo, se distingue la estructura de la roca madre.

- Litología 4: Ocre estructural inicial (OEI). Se caracteriza por su color amarillento, pasando en algunos lugares a colores rojizos y verdosos cerca del límite inferior de la litología. Se reconoce la estructura de la roca madre que le dio origen.
- Litología 5: Serpentina lixiviada (SL). Las rocas como regla están manchadas de ocre. La ocretización se observa en forma de manchas de los hidróxidos de hierro. El grado de intemperismo es irregular y las más intemperizadas están representadas por rocas claras donde en forma de una red de vetillas tiene lugar la serpentinización. Son rocas friables y ligeramente compactas de color gris verdoso las cuales conservan la estructura de la roca madre.
- Litología 6: Corteza a partir de gabros (CG). Son materiales arcillosos de color pardo lustroso de diferentes tonalidades (desde pardo oscuro brillante hasta colores ladrillo y crema). Estos materiales son pobres en hierro, níquel y cobalto con contenidos perjudiciales al proceso de sílice y aluminio. Esta litología está presente en la parte este del yacimiento y en menor proporción en su parte norte. Lateritas Redepositadas.

Los redepósitos están presentes hacia el norte y este con una distribución discontinua. Los materiales que lo componen, tuvieron su fuente de suministro en terrenos donde existió una corteza friable desarrollada, lo que determinó que las litologías presentes en este conjunto tengan alguna semejanza a las capas componentes del perfil friable.

Básicamente están formados por lateritas redepositadas, intercaladas en ocasiones con arcillas pardo oscuras con material carbonizado, lentes conglomeráticos y arenosos con fragmentos predominantes de ultramafitas y en ocasiones de gabros.

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.

1.4.1. Condiciones estructurales.

Agrietamiento. En el estudio del agrietamiento se midieron un total de 1255 elementos de yacencia de grietas, fallas, diques y foliación primaria y se hizo la caracterización de las grietas teniendo en cuenta la densidad, relleno, tipo de grieta y algunos elementos de las superficies.

Como se observa en el diagrama de roseta [figura 1.2], las principales direcciones del agrietamiento son: NS y NW, sin embargo, con menos frecuencia y en forma de abanico entre estas se manifiestan las direcciones N65°W, N45°W, N35°W, N23°W y N13°W, lo cual puede ser reflejo de un cambio gradual de la dirección principal de los esfuerzos que afectaron la región o pudieran relacionarse con un sistema Riedel de fallas transcurrentes que desplazaron los contactos entre los mantos de cabalgamiento.

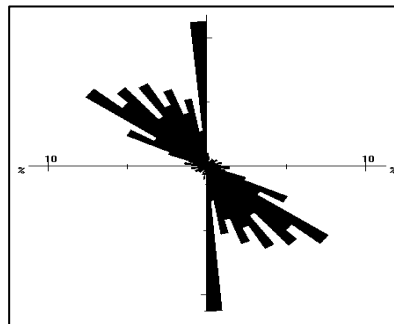


Figura 1.2: Diagrama de roseta del agrietamiento en el yacimiento Punta Gorda.

Las grietas correspondientes a las direcciones NS y N-NW presentan signos de movimientos de cizallamiento a través de sus superficies, manifestándose con una densidad moderada en el terreno y rellenas de material serpentinitico [tabla 1.1]. Aparece además otro sistema no reportado en el diagrama de roseta con rumbo NE-E, vertical y con densidad de agrietamiento alta.

El buzamiento de los sistemas de grietas presenta el siguiente comportamiento: familia 4, acimut de buzamiento 226°, buzamiento horizontal relacionado con zonas de contacto entre mantos tectónicos; familia 1, acimut 63° y buzamiento 45° y 268° con buzamiento 41°, probablemente asociado a los sistemas de fallas de desplazamiento por el rumbo con dirección NW; familia 2, acimut 15°, buzamiento 89° y acimut 42° buzamiento 88°, están relacionadas con los sistemas de fallas NW y NE que desplazan a los de la familia 1 y 4 pero que no son predominantes en el yacimiento.

No. Fam.	zimet de buzamient	Buzamiento	Densidad	Relleno	Tipo	Superficie
1	63	45	Moderada-Alta	Material serpentínico	75% Abierta 25% Cerrada	10% Rugosa 2% Cizalla
2	158	89		Material serpentínico 5% Garnierita	70% Abierta 30% Cerrada	15% Ondulada lisa 20% Rugosa
3	42	88	Moderada-Alta	Material serpentínico 5% Garnierita	80% Abierta 20% Cerrada	20% Rugosa 5% Ondulada lisa
4	226	2	Moderada-Alta	Material serpentínico	75% Abierta 25% Cerrada	10% rugosa 2% lisa
5	268	41	Moderada	Material serpentínico	80% Abierta 20% Cerrada	15% rugosa 5% cizalla

Tabla 1.1: Caracterización de las familias de grietas del macizo rocoso del yacimiento Punta Gorda.

Sistemas de fallas. Fueron reveladas varias estructuras disyuntivas de desplazamiento las cuales se manifiestan en cuatro direcciones principales: NS, EW, N45°E y N55°W (figura 1.3).

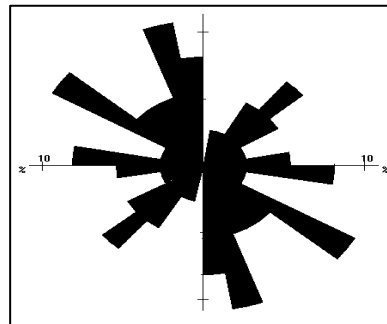


Figura 1.3. Diagrama de roseta de fallas en el yacimiento Punta Gorda.

El sistema con tendencia al rumbo EW, es horizontal [tabla 1.2], pudiéndose relacionar con los planos de cabalgamiento de las estructuras tectónicas de la región, clasificándose este sistema como fallas de sobrecorrimento; el plano de falla del sistema NS es vertical con signos de trituración a través del mismo; el sistema NW está activo sin definirse el sentido del movimiento y el sistema NE presenta cizallamiento. Todos los sistemas presentan mineralización de material serpentínico y garnierita.

No. Falla	Acimut de buzamiento	Buzamiento	Densidad del agrietamiento	Relleno	Observaciones
1	267	90	70% alta 30% muy alta	Serpentina y garnierita	Microfalla Trituración
2	329	39	40% alta 20% moderada	Serpentina	Activa
3	37	30	75% alta 25% moderada	Serpentina	Microfalla Cizalla
4	360	1	50% moderada 50% muy alta	Serpentina y garnierita	

Tabla 1.2. Caracterización de las fallas del macizo rocoso del yacimiento Punta Gorda.

Diques de gabros. En el estudio de los diques de gabro se determinó una dirección predominante N55°E, además se presentan otras de menor frecuencia con rumbos NS, N 55°W, E-W, N 75°E [figura 1.4]. El buzamiento de los diques es hacia el W, NW y un sistema vertical.

Foliación primaria de granos minerales. Para el área del yacimiento, se reporta una dirección preferencial de la foliación de granos de piroxenos N45°W.

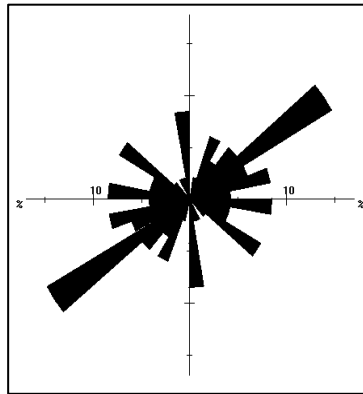


Figura 1.4. Diagrama de roseta de diques de gabro en el yacimiento Punta Gorda.

1.4.2. 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 encuentran 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 potencia acuífera:

- 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.

1.5 Procesos geodinámicos y antrópicos.**I. Meteorización.**

Es el fenómeno físico-geológico más importante en el área de estudio. Está vinculado con la formación de potentes cortezas lateríticas sobre rocas ultrabásicas y básicas. Las condiciones climáticas, geomorfológicas, tectónicas y características mineralógicas de las rocas existentes favorecieron los procesos de meteorización química del medio.

I. Movimientos de masas.

Este proceso está vinculado a los movimientos de laderas naturales y taludes generados por el proceso minero extractivo. Los mecanismos de rotura y las tipologías de los movimientos de masas desarrollados en las cortezas residuales, están condicionados por las características estructurales del macizo rocoso, aunque en las zonas de desarrollo de cortezas redepositadas, las condiciones geotécnicas de los materiales inciden con más fuerza sobre el tipo de movimiento.

Las propias condiciones naturales de las cortezas lateríticas como alta humedad, granulometría muy fina, altos contenidos de minerales arcillosos, baja permeabilidad, así como la intensa actividad sismo-tectónica en la región y elevados índices pluviométricos, hacen que este fenómeno sea muy común y se convierta en un peligro latente, capaz de generar grandes riesgos no solo en la actividad minera sino en otros sectores del territorio.

Un catalizador de este fenómeno es la propia actividad minera, que deja descubierta grandes áreas, sin cobertura vegetal, y genera taludes con grandes pendientes.

II. Erosión.

Es un fenómeno muy difundido en el yacimiento Punta Gorda. Es un proceso, que aunque se produce de forma natural en la potente corteza laterítica, se ha visto incrementado por la actividad antrópica, vinculada a la minería a cielo abierto y a la deforestación.

La erosión laminar, que se desarrolla sobre la superficie de la corteza laterítica, arrastra las partículas fundamentalmente hacia la zona norte del yacimiento, donde el relieve es menos elevado, además de dirigirse hacia los cauces de los drenes naturales representados por el río Yagrumaje, Los Lirios y el arroyo la Vaca. Se observa además, un amplio desarrollo del acarcavamiento, que aumentan sus dimensiones rápidamente en el tiempo. La dirección de las cárcavas está condicionada fundamentalmente por las condiciones estructurales de los suelos residuales.

III. Sismicidad.

Por la posición geólogo-estructural que tiene el municipio de Moa, de estar bordeada por tres zonas sismogeneradoras coincidentes con fallas profundas que constituyen límites entre o interplacas, lo ubican dentro del contexto sismotectónico de Cuba Oriental (Oliva et al, 1989). Estas tres zonas son:

- Zona sismogeneradora Oriente: Está asociada a la falla transcurrente Bartlett-Caimán de dirección este-oeste. Constituye el límite entre la placa Norteamericana y Caribeña.

A esta zona corresponde la más alta sismicidad de toda Cuba y con ella se encuentran asociados los terremotos de mayor intensidad con epicentros en el archipiélago cubano. La intensidad máxima pronóstico promedio para la zona es de VIII grados en la escala MSK, llegando hasta IX en el sector Santiago-Guantánamo. La magnitud máxima es de 8 grados en la escala Richter.

- Zona sismogeneradora Cauto-Nipe: Está asociada a la zona de fractura de igual nombre, con dirección suroeste-noreste desde las inmediaciones de Niquero hasta la bahía de Nipe. Constituye un límite ínter placa, que separa al Bloque Oriental Cubano del resto de la isla. La potencialidad sísmica de esta zona alcanza los 7 grados en la escala Richter, mientras que la intensidad sísmica, según el mapa complejo de la Región Oriental de Cuba señala valores entre VI y VII grados MSK.

- Zona sismogeneradora Sabana: Se encuentra asociada a la falla Sabana (falla Norte Cubana) o zona de sutura entre el Bloque Oriental Cubano y la Placa Norteamericana. La potencialidad sísmica es variable en el rango de VI a VII grados MSK, alcanzando sus máximos valores hacia su extremo oriental. Los principales focos sísmicos de la zona se localizan en los puntos de intersección de ésta con las fallas de dirección noreste y noroeste que la cortan.

IV. Actividad antrópica.

La actividad antrópica desarrollada en el yacimiento Punta Gorda está representada por la actividad minera. La minería se desarrolla en varias etapas que afectan en mayor o menor grado el entorno. Primeramente se desarrollan actividades de destape de las menas lateríticas, eliminando la cobertura vegetal.

En esta etapa, y producto a las grandes precipitaciones, se generan arrastres de grandes volúmenes de sedimentos hacia los cauces de los ríos y arroyos. Luego continúa la actividad extractiva, que genera una cantidad considerable de taludes con pendientes elevadas, relacionados con los frentes de explotación y la construcción de caminos mineros. Además, otro de los elementos negativos es la formación de embalses de aguas en áreas internas del yacimiento. Como actividad paralela, se realiza la formación de escombreras, con los materiales estériles donde se desarrolla el proceso de reforestación y restauración.

Sin embargo, en ocasiones estos sitios no se construyen con parámetros de altura, pendiente de los taludes y compactaciones muy óptimas para su conservación en el tiempo. No obstante, como política ambiental, se le ha prestado mayor atención en los últimos años, mejorando los parámetros de construcción y aumentando las áreas reforestadas, disminuyendo de esta forma la exposición de las áreas a los agentes erosivos.

Conclusiones.

- Las condiciones geológicas del yacimiento, caracterizadas por la presencia, en superficie, de cortezas lateríticas ferroniquelíferas residuales y redepositadas, en las cuales se manifiesta agrietamiento relíctico e intercalaciones de diques de arcillas formadas por descomposición de gabros, y por la presencia de un substrato rocoso formado por peridotitas serpentinizadas y en menor medida por gabro, intensamente tectónizados, se convierten en factores condicionales para el desarrollo procesos erosivos y de deslizamientos.

- La caracterización hidrogeológica del área de estudio dada por la presencia de un acuífero agrietado en el contacto corteza laterítica-substrato rocoso, y por horizontes de suelo con gran capacidad de almacenaje, con baja permeabilidad condicionan en gran medida la ocurrencia de inestabilidades en taludes y laderas del yacimiento.

CAPITULO # 2: Metodología y volumen de los trabajos realizados

2.1 Introducción.

Por las características físicas y naturaleza mineral, se hace necesario el uso de las técnicas instrumentales modernas de análisis tales como la Difracción de Rayos – X (DRX), Análisis Térmico (AT), la Microscopia Electrónica (ME) y óptica con sus múltiples métodos y variante son, entre otras, herramientas de inapreciable valor científico para abordar diversos aspectos de las investigaciones de la química del estado sólido.

En los campos en que estas técnicas son también capaces de irrumpir y proporcionar información valiosa sobre múltiples fenómenos y propiedades de las sustancias son tan variados y disímiles, que una simple enumeración resultaría hasta tediosa.

2.2 Definición de la zona de estudio en el yacimiento Punta Gorda.

En la definición de la zona de estudio de perfiles lateríticos enriquecidos en cobalto, dentro del yacimiento Punta Gorda, resultaron muy útil los resultados obtenidos por Vera (2001), en los cuales valora la distribución del Fe, Ni y Co tanto en la corteza laterítica total como en la mena niquelífera oxidada. El hierro, como elemento predominante, se encuentra como promedio en un 37 % en la corteza total (alcanzando hasta un 50 %), con contenidos parecidos en la capa útil de este yacimiento.

El cobalto se presenta con contenidos entre 0.01 y 0.32 % en la corteza de este yacimiento, con un contenido promedio de 0.08 %. En la mena niquelífera aumenta su contenido promedio a 0.09, pudiendo alcanzar un máximo de 0.5 % (Vera, 2001). En general la distribución del cobalto, dentro de la corteza, guarda una relación bastante estrecha con la distribución del hierro en el área del yacimiento. Así tenemos que de sur hacia el norte los contenidos de cobalto disminuyen significativamente, tanto en la corteza total como en su capa útil. Los contenidos más elevados de cobalto en la corteza se localizan hacia el extremo sur – suroeste del depósito [Figura 2.2]. Esta zona sur – suroeste del yacimiento se caracteriza por presentar perfiles lateríticos bien desarrollados, con cortezas que tienen espesores de unos 20 a 30 metros, con buenos espesores de la mena niquelífera oxidada (Vera, 2001).

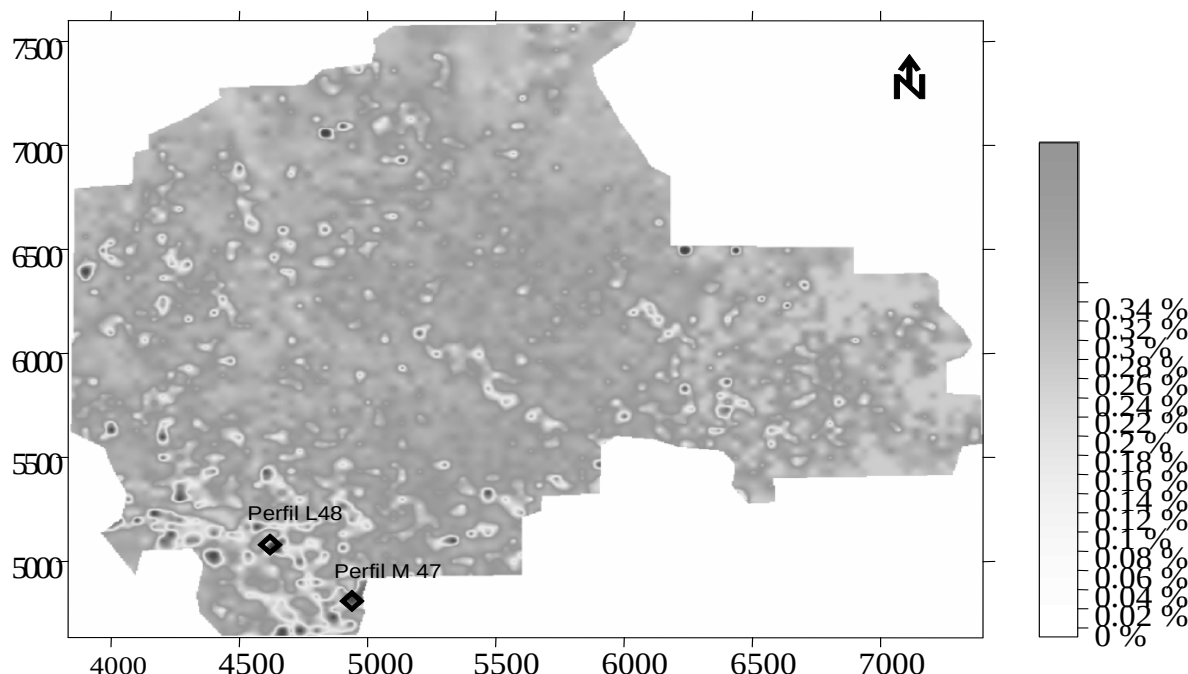


Figura 2.2 Distribución espacial del cobalto en la mena niquelífera del yacimiento Punta Gorda (según Vera Sardiñas, 2001).

En general, la distribución del níquel guarda una determinada relación directa con el hierro y el cobalto en las cortezas lateríticas del yacimiento Punta Gorda (Vera, 2001). Los contenidos más elevados de níquel, al igual que los de cobalto y de hierro, son hacia el extremo sur – suroeste del depósito, donde alcanza valores promedios para toda la corteza y su capa útil en de 0.994 y 1.294 % respectivamente, pudiendo alcanzar valores superiores a 1.3 % al nivel de toda la corteza y 1.6 % en la capa útil. Frecuentemente los valores más elevados de níquel se localizan en aquellos sectores que poseen potentes horizontes de ocre.

Para el níquel resulta interesante el hecho que la tendencia de distribución en la corteza total no es la misma que la que sigue en la capa útil a través del yacimiento (Vera, 2001). En la corteza total el níquel disminuye significativamente cuando avanzamos del suroeste hacia el nordeste, en tanto en la capa menífera este metal aumenta en esta dirección, lo que puede estar relacionado con el aumento de la potencia del horizonte inferior, tipo saprolítico, en esta dirección del yacimiento.

Teniendo en cuenta la íntima asociación geoquímica que existe entre el Mn y el Co (Schellmann, 1978; Manceau y otros, 1992) resulta lógico emplear para la localización de los sectores más enriquecidos en manganeso aquellos que lo son para el cobalto. A partir de los resultados de Vera (2001) se pudieron establecer los sectores perspectivas para el estudio de las fases de óxidos de

Mn, localizados al suroeste del yacimiento Punta Gorda, [Figura 2.2], dentro de los cuales se encuentran los perfiles de estudios L-48 y M-47, donde existen las mayores concentraciones de Co y por ende de Mn en el yacimiento Punta Gorda.

2.3 Materiales.

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 lateritización 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

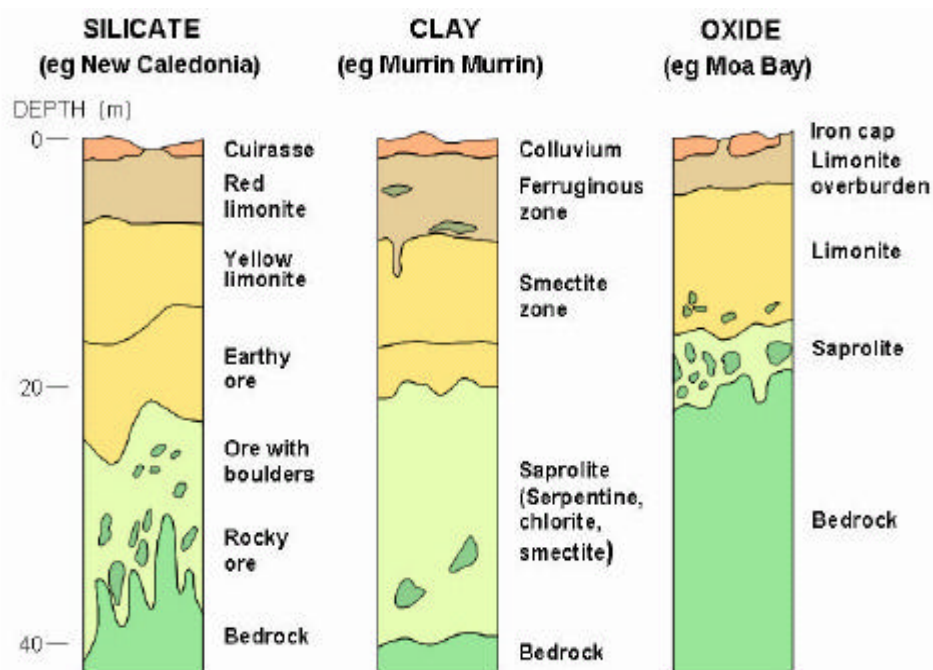


Figura 2.3: Comparación esquemática de los principales tipos de perfiles lateríticos. (José N - Muños, 2004).

▪ 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 arcillosas, 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 ópalo o de calcedonia dentro de los horizontes arcillosos, los perfiles lateríticos arcillosos se desarrollan en área 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.

Para la realización de este trabajo se estudiaron muestras 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 escombro); 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 2.4). 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.

La figura 2.4 representa un esquema de los perfiles L-48 y M-47, del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. Observaciones: Horizontes: C: concreciones ferruginosas; OS: ocre superior; OM: ocre medio; OI: ocre inferior; SA: serpentinita alterada; S: serpentinita inalterada o roca madre. (■) Mn1: toma de muestra. Dibujo no está realizado a escala.

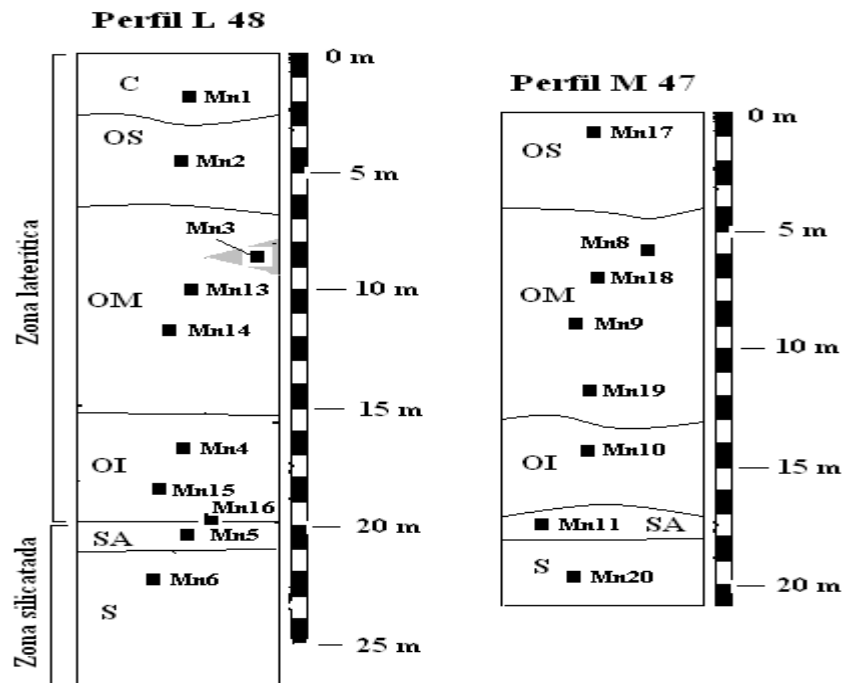


Figura 2.4: Esquema de los perfiles lateríticos,

2.4 Métodos de Investigación.

La separación granulométrica se realizó mediante la tamización por vía húmeda, empleando los tamices: 1,6; 0,83; 0,417; 0,074 y 0,045 mm. Para los análisis químicos se empleó un espectrómetro secuencial de Fluorescencia de Rayos X, Phillips PW 1480 utilizando radiación de rayos X con Rn tipo PW2182/00, con un régimen de 3000w y 100Kv al vacío con colimador fino. La microscopía óptica ordinaria se realizó con un microscopio binocular tipo TECHNIVAL, modelo AXIOLAB POL de la CARL ZEISS, valorándose las características físicas más sobresalientes de las muestras.

La Difracción de Rayos – X según método policristalino utilizando el difractómetro de la PHILIPS, modelo PW 3710, con radiación de $\text{CuK}\alpha$. En el proceso de lectura e interpretación de los difractogramas se empleó los softwares APD (PHILIPS) y además se utilizó el Xpert HighScore 1b, 2002, con la base de datos de la ICDD (Internacional Center for Diffraction Data) de 1998. En la estimación cuantitativa de los minerales se empleó el software AUTOQUAN de la SEIFERT X - Ray Technology (Versión 2.26) del 2001.

Las Técnicas de Ensayos Térmicos (ATD, TG, DTG, T) se ejecutaron con el modelo PL - STA Thermal Science, con analizador térmico simultáneo STA 1000/1500, de la Stanton Rederoff Ltd. Teniendo una velocidad de calentamiento de 20 °C/minuto, temperatura inicial y final variando de 25 °C a 1100 °C, respectivamente. En las Técnicas de Espectroscopía Infrarroja (IR) las muestras fueron preparadas con bromuro de potasio (KBr) como dispersante. Se empleó el espectrofotómetro modelo 1760 X FT-IR, de la Perkin Elmer, con registros de banda espectral de 4 000 a 400 cm⁻¹, con mediciones de cada 4 cm⁻¹. Los datos fueron obtenidos y procesados por el software Spectrum FT-IR 2.0, de la Perkin Elmer.

2.4.1 Métodos de difracción de rayos – X (DRX).

▪ Generalidades:

Cuando un haz monocromático de rayos – x incide sobre un monocristal, su dirección puede que no sea la adecuada para ser reflejado por uno de sus planos. Para que esta reflexión sea posible, es necesario que la longitud de onda (λ) el ángulo incidente ($\varnothing$) respecto de plano reflector sean compatible con la ley de Bragg ($n \lambda = d \sin \varnothing$). Según la forma en que esto se logra, se distinguen fundamentalmente los métodos normales de difracción que se emplean en el análisis de los cristales:

1. En el método de Laue: se mantiene fijo un monocristal y sobre el se hace incidir un radiación policromática (blanca) que, en general, procede de un ánodo de un elemento pesado (por ejemplo W). En este caso, el parámetro variable de la ley de Bragg es la longitud de onda.

En la actualidad se emplea este método, fundamentalmente para determinar la orientación y la simetría de los cristales, y en metalurgia para poner de manifiesto las imperfecciones cristalinas, la distorsión y la cristalización. En su tiempo este método fue muy importante para la determinación de estructuras.

Las fotografías Laue o Lauegramas de transición tienen un papel importante en los estudios estructurales previos y en la orientación de cristales que se investigaran estructuralmente con mayor profundidad por otros métodos, por ejemplo por Weissenberg o cristal rotatorio u oscilante.

La instrumentación necesaria para la obtención de Lauegramas es sencilla (como lo muestra la figura 2.5); basta un monocristal (1mm más o menos) montado en un cabezal gonométrico que permita ajustar su orientación en relación con el haz de radiación policromático y una película plana dentro de

un chasis que la proteja de la luz ordinaria y colocado perpendicularmente al haz incidente y a pocos milímetros del cristal.

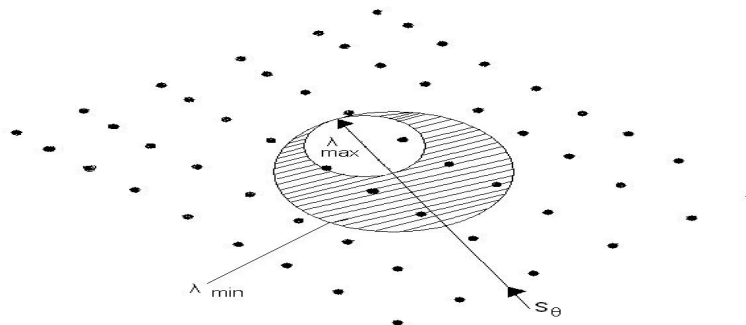


Figura 2.5 Método de Laue.

- En el método de cristal giratorio: se hace girar (o oscilar) un monocristal en un haz monocromático de rayos – X. La rotación lleva los distintos planos a la orientación necesaria para que ocurra la reflexión. Entonces la variante es θ (figura 2.6)

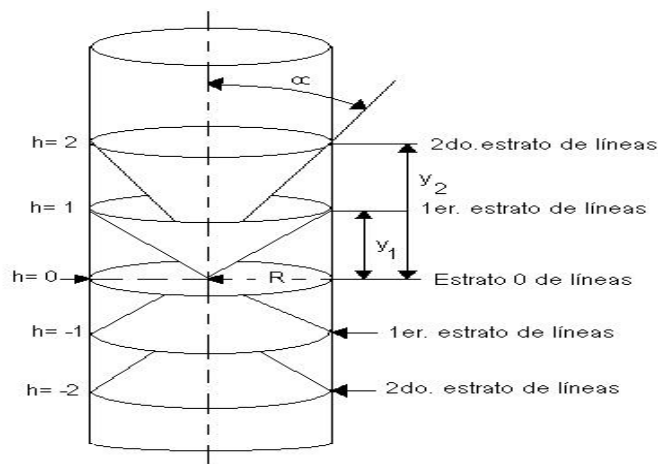


Figura 2.6 Cristal giratorio.

- En el método de los polvos: también θ es el parámetro variable porque en él se coloca que el haz monocromático del material cristalino pulverizado, entre las miríadas de partículas orientadas al azar siempre habrá alguna con la dirección conveniente para que haya todas las reflexiones de los posibles planos reflectores. [figura: 2.7].

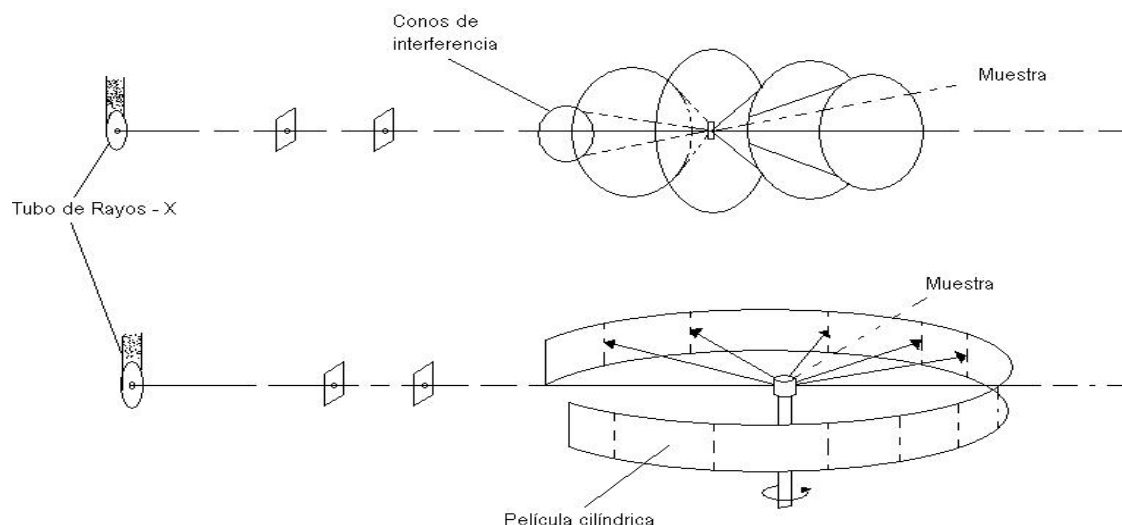


Figura 2.7. Principio teórico del método de los polvos.

2.4.2 Análisis térmico diferencial (ATD).

▪ Generalidades:

En el siglo XIX los investigadores obtenían curvas de calentamiento como las que se representa en la (figura 2.8). Por ejemplo, la curva (a) muestra una sustancia que no muestra transformaciones durante el calentamiento, la (b) es el caso de una muestra que tiene un proceso de fusión (proceso endotérmico), las curvas (c) y (d) reflejan el caso de una transformación en la cual se forma una sustancia con capacidad calorífica distinta. La pendiente no tiene que ser igual al principio que al final, pues es otra sustancia que no tiene por qué tener igual capacidad calórica, provocando cambios de pendiente.

Si bien estas curvas de calentamiento aportan una valiosa información sobre las propiedades de las sustancias, adolecen de algunos defectos que las limitan considerablemente. Para apreciar transformaciones que involucran pequeños cambios de energía se necesitan muestras grandes; además, en estas curvas pueden aparecer como transformaciones, las variaciones que ocurren en la velocidad de calentamiento.

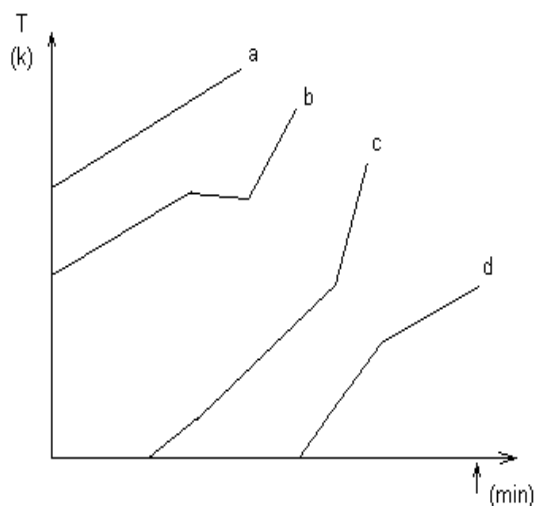


Figura 2.8 Curvas de calentamiento

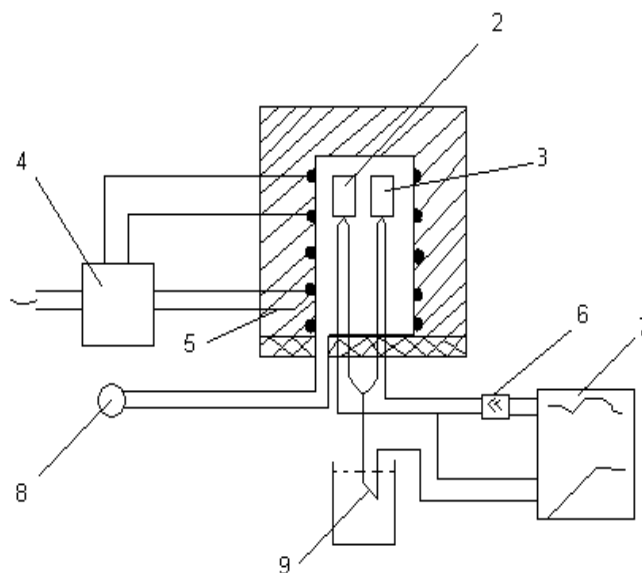


Figura 2.9 Esquema de equipo de ATD

Actualmente existe un gran número de equipo de ATD que están descrito en la literatura; de ellos, algunas se pueden adquirir comercialmente. Todos esos equipos están contruidos según el esquema representado en la figura (2.9).

En el horno (1) se encuentra el cabezal de medición con los correspondientes portadores (crisoles) para la muestra a investigar (2) y la sustancia de referencia (3), interconectado con sus respectivos termopares. El suministro del voltaje necesario y estable al horno se realiza a través de un sistema de regulación (4), el cual se rige por un termopar (5) instalado en el horno. El voltaje termo diferencial es conducido a través de un amplificador de voltaje (6).

El termovoltaje, después de la debida compensación con un termopar de referencia (9), se visualiza mediante curvas obtenidas por instrumentos especiales de registros (7).

El equipo de ATD se completa con un sistema de instalaciones para establecer en el horno una debida atmósfera (8), la cual se logra por medio de una bomba de vacío, un suministrador de diferentes gases y (o) un compresor de gases.

2.4.3 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

▪ Generalidades

Los microscopios electrónicos llevan casi 50 años disponibles comercialmente y existen en la actualidad en todo el mundo varias decenas de miles, siendo utilizados en muy diferentes campos. El primer microscopio electrónico fue un microscopio de transmisión, sin embargo fue el microscopio de barrido el que realmente revolucionó la microscopía electrónica. Actualmente existe toda una familia de microscopios electrónicos surgidos tras las numerosas investigaciones llevadas a cabo en los últimos veinte años. Estos aparatos combinan la posibilidad de obtener imágenes de gran resolución con el análisis químico de pequeñas áreas del material, por ello se ha incrementado notablemente el campo de aplicación de esta técnica. Dado el gran abanico de posibilidades es necesario conocer las ventajas e inconvenientes de cada uno de los microscopios para así decidir cuál es el más apropiado para nuestros objetivos (geología, biología, medicina, tecnología, etc.).

El límite de resolución de un microscopio óptico viene determinado por la longitud de onda de la luz con la que se ilumina el objeto. El límite de resolución puede disminuirse si emplea una radiación con una menor longitud de onda (λ). La longitud de onda efectiva de un haz de electrones fuertemente acelerados es muchos órdenes de magnitud menor que la de la luz visible e incluso que la de la luz ultravioleta (0.004 nm a 100 kV frente a los 800-200nm de la luz). La ventaja que tienen los electrones sobre otras partículas de pequeña λ es que los electrones son fácilmente acelerados mediante una diferencia de potencial y además es posible, al estar cargados, modificar su trayectoria en presencia de campos eléctricos o magnéticos.

En microscopía electrónica se trabaja siempre en el vacío. Esto se debe a que como se opera con electrones que viajan con una trayectoria prefijada desde la fuente hasta su destino es imprescindible que esta trayectoria no sea desviada por la presencia de átomos o moléculas que no sean las de la muestra a analizar. Por ello la columna debe estar lo más libre posible de moléculas de gas, esto se consigue con potentes bombas de vacío. Las presiones a las que se trabaja oscilan entre los 10^{-7} y los 10^{-10} bares, es decir, se reduce la presión por debajo de una millonésima parte de la presión atmosférica.

La interacción de los electrones incidentes con la muestra produce una serie de radiaciones secundarias: electrones secundarios, electrones retrodispersados, electrones transmitidos, radiación X, electrones Auger, catodoluminiscencia y energía absorbida (por la muestra). La utilización de una u otra nos permite obtener distintas informaciones sobre la muestra.

Microscopio electrónico de barrido (SEM)

Principios básicos: en el microscopio electrónico de barrido se hace incidir un delgado haz de electrones acelerados, con energías desde unos cientos de eV hasta unas decenas de keV (50 KeV), sobre una muestra gruesa, opaca a los electrones. Este haz se focaliza sobre la superficie de la muestra de forma que realiza un barrido de la misma siguiendo una trayectoria de líneas paralelas.

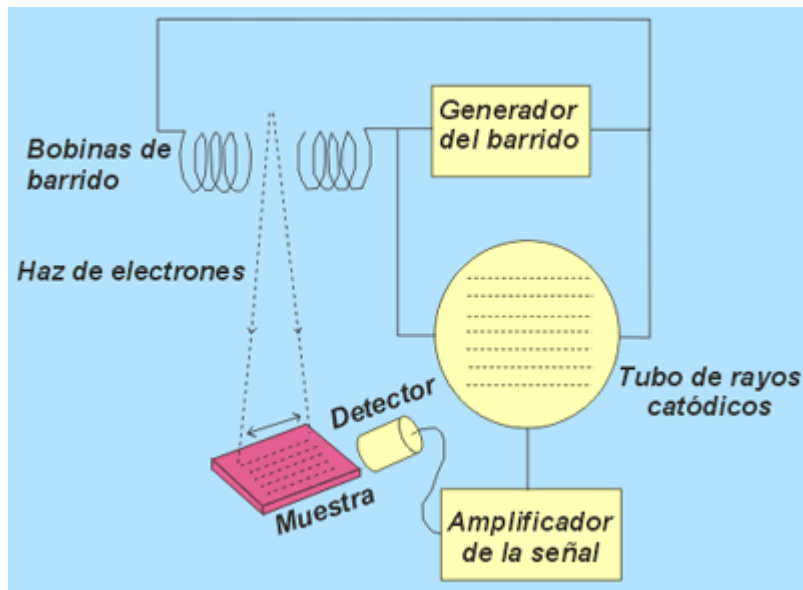


Figura: 2.10. Esquema de equipo (MEB)

De todas las formas de radiación resultantes de la interacción del haz incidente y la muestra (ver fig. 2.10) hay dos realmente fundamentales en el microscopio de barrido: los electrones secundarios y los electrones retrodispersados. Los primeros son electrones de baja energía (decenas de eV) que resultan de la emisión por parte de los átomos constituyentes de la muestra (los más cercanos a la superficie) debido a la colisión con el haz incidente. Los electrones retrodispersados sin embargo, son electrones del haz incidente que han interactuado (colisionado) con los átomos de la muestra y han sido reflejados. La intensidad de ambas emisiones varía en función del ángulo que forma el haz incidente con la superficie del material, es decir depende de la topografía de la muestra.

La señal emitida por los electrones y radiación resultantes del impacto se recoge mediante un detector y se amplifica para cada posición de la sonda. Las variaciones en la intensidad de la señal que se producen conforme la sonda barre la superficie de la muestra, se utilizan para variar la intensidad de la señal en un tubo de rayos catódicos que se desplaza en sincronía con la sonda.

De esta forma existe una relación directa entre la posición del haz de electrones y la fluorescencia producida en el tubo de rayos catódicos. El resultado es una imagen topográfica muy ampliada de la muestra.

El aumento de la imagen producido por el microscopio de barrido resulta de la relación entre las dimensiones de la imagen final y el área de la muestra que ha sido barrida. Así, por ejemplo, si la sonda barre un área de 1 mm^2 de la muestra y la imagen en la pantalla es de 100 mm^2 , ésta ha sido ampliada 100 veces. Este microscopio tiene un rango de aumentos que varía desde $\times 10$ hasta $\times 200.000$ con una distancia focal de 35 mm. El poder de resolución del microscopio es determinado directamente por el área mínima que la sonda es capaz de escanear. El menor diámetro de la sonda con un número mínimo de electrones.

Si la muestra no es buena conductora se acostumbra a recubirla con una película conductora metálica o de carbono para evitar que ésta se cargue cuando sea irradiada.

- Modos de operación: si el microscopio dispone de varios sistemas de detección es posible diferenciar entre energías electrónicas, principalmente entre la señal producida por los electrones secundarios y la generada por los electrones retrodispersados.

2.5 Aplicación práctica del manganeso.

El uso principal del manganeso es la formación de aleaciones de hierro, obtenidas mediante el tratamiento de pirolusita en altos hornos con hierro y carbono. Las aleaciones ferromanganesas (hasta un 78% de manganeso), utilizadas para fabricar aceros, y las aleaciones spiegeleisen (de un 12 a un 33% de manganeso), son las más importantes.

En pequeñas cantidades, el manganeso se añade al acero como desoxidante, y en grandes cantidades se emplea para formar una aleación muy resistente al desgaste. Las cajas fuertes están hechas de acero de manganeso, con un 12% de manganeso.

Entre las aleaciones no ferrosas de manganeso se encuentran el bronce de manganeso (compuesto de manganeso, cobre, estaño y cinc), resistente a la corrosión del agua de mar y que se utiliza en la fabricación de hélices de barcos y torpedos, y la manganina (compuesta de manganeso, cobre y

níquel), usada en forma de cables para mediciones eléctricas de alta precisión, dado que su conductividad eléctrica apenas varía con la temperatura. Véase también Siderurgia.

El manganeso suele formar compuestos con valencias de 2, 3, 4, 6 o 7. El dióxido de manganeso (MnO_2) se da en la naturaleza en forma de pirolusita, y puede obtenerse artificialmente calentando nitrato de manganeso. Se utiliza en pinturas y barnices, para pintar cristales y cerámica, en la obtención de cloro y yodo y como despolarizador en baterías de pilas secas. El sulfato de manganeso (II) (MnSO_4), un sólido cristalino de color rosa, se prepara por la acción de ácido sulfúrico sobre dióxido de manganeso, y se utiliza en tintes para el algodón. El permanganato de sodio y el de potasio (NaMnO_4 y KMnO_4) son cristales de color púrpura oscuro, formados por la oxidación de sales ácidas de manganeso, y se emplean como oxidantes y desinfectantes.

CAPITULO # 3: Resultados e Interpretación de los resultados obtenidos.

3.1 Introducción.

Para la obtención de estos resultados se emplearon muestras de dos perfiles lateríticos L48 y M47 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 niquelífera, LB).
- Serpentinitas Alteradas (SA) (serpentinita niquelífera) o zona saprolita.
- Serpentinitas Inalteradas o duras (S).

Cabe señalar que se trató de que cada uno de los perfiles, se presente con niveles evolutivos diferentes (Figura 2.4), teniendo en cuenta la potencia de los horizontes lateríticos y la intensidad de la meteorización en ellos observadas. Así tenemos, el perfil L-48 es más típico de un perfil maduro, en tanto el perfil M-47, está más próximo a un perfil laterítico inmaduro o menos maduro.

3.2 Resultados.

3.2.1 Granulometría.

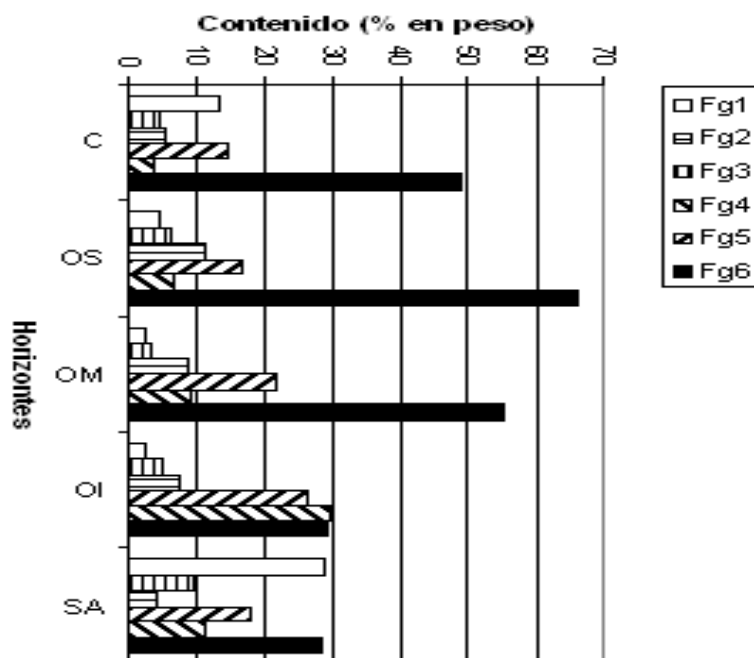


Figura 3.1. Distribución de la granulometría a través del perfil laterítico en Moa (tomado de Rojas, 2001). Fracciones granulométricas: Fg1: (+ 1.6 mm); Fg2: (-1.6 + 0.83 mm); Fg3:(-0.83 +0.417 mm); Fg4: (- 0.417 + 0.074 mm); Fg5: (-0.074 + 0.045 mm); Fg6: (- 0.045 mm).

La granulometría del material laterítico de la corteza ferroniquelífera de la región de Moa es predominantemente de grano fino, menor de 0,045 mm, sobre todo en la parte superior del perfil donde esta fracción representa de un 50 a un 55 % en peso de la muestra (figura 3.1), teniendo a la clase o fracción granulométrica medianamente gruesa (- 0,417 + 0,074 mm) como la segunda fracción en importancia en estos horizontes lateríticos representando de un 15 a un 25 % en peso (Rojas, 2001).

El material serpentinitico alterado de la parte inferior de los perfiles lateríticos se compone predominantemente por las clases granulométricas finas, menores de 0,045 mm y las gruesas mayores de 1,6 mm, representando cada una, aproximadamente, un 30 % en peso de la muestra. La clase medianamente gruesa (+ 0,0417 – 0,074 mm) constituye la tercera fracción en importancia representando 18 % en peso de la muestra.

La diferencia granulométrica principal entre el material laterítico y el serpentinitico, (figura 3.1), está en la proporción en que se encuentran en ellas la clase granulométrica más fina (menor de 0,045 mm) y las más gruesas (mayores de 0,83 mm). Así tenemos que en las lateritas las más finas se encuentran entre un 50 a un 65 %, en tanto en las serpentinitas alteradas están en un 30 %; y las más gruesas están en el orden de un 5 a un 10 % en los ocreos en tanto en un 29 % en peso en la saprolita.

3.2.2. Composición química de los perfiles lateríticos.

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

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

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

Durante los trabajos de muestreo se detectó próximo al perfil inmaduro, en la parte inferior del mismo, un cuerpo rico en Al, con algo de calcio (4,8 % de CaO), que posee un contenido de hasta casi un 11 % de Al_2O_3 .

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

La tendencia de distribución del níquel en estos perfiles de Punta Gorda es parecida a los de otros de su tipo ya conocida (Zeissinki, 1969; Brand y otros, 1998). Así tenemos que en la zona laterítica su contenido varía desde menor 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 alto 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 arolitas (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 %) y serpentinita inalterada (0,3 %) del perfil L-48. En tanto el perfil M-47 mantiene un contenido alrededor de 0.01 a 0,02 % de CaO a través de todo el perfil.

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

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

3.2.3 Composición mineralógica de los perfiles lateríticos.

Mineralógicamente la zona laterítica del perfil maduro (L-48) está compuesta predominantemente por goethita (Fe O(OH)), tabla (5a, b, c y d), además es notable la gibbsita (Al (OH)_3), sobre todo en la parte superior del perfil, con ciertas cantidades de hematita (Fe_2O_3), maghemita (Fe_2O_3) y la cromita (FeCr_2O_4). Es significativo para este perfil la existencia de un material amarillo parduzco oscuro localizado en el horizonte de ocre medio (muestra Mn3), identificado como un óxido de Mn que está entre las fases de asbolana ($(\text{Co, Ni}) \text{Mn}_2\text{O}_4 (\text{OH})_2 \text{H}_2\text{O}$) y litioforita ($(\text{Al, Li}) \text{Mn O}_2 (\text{OH})_2$) según los reflejos difractométricos: 9,58 nm, 4,75 nm; 3,239 nm y 2,44 nm, estimándose en una cantidad del orden de un 5 % según cálculos mineralógicos por difracción de rayos – X.

Fase mineral	Mn1	Mn2	Mn3	Mn13	Mn14	Mn4	Mn15	Mn16	Mn5	Mn6
Chlorite Ilb-2				1,63	3,04		2,08	13,41	17,1	21,9
Gibbsite	7,8	24,1	12,1	3,23	23,6		4,45	1,86	1,53	
Goethite	82,7	58,2	78,3	84,43	62,6	98,36	69,3	56,1	35,9	
Hematite	5,7	14,8	2,71	5,15	7,79		13,67	3,2	0,37	
Lithiophorite	1,76	0,5	5,24	0,41	0,86	0,47	0,58	1,47		
Lizardite1T				0,3	1,32		0,87	13,66	25,1	61,7
Maghemite		1,24		2,47	0	1,18	5,9	5,05	4,8	0,6
Magnesiochromite		0,72	0,83	1,59	0,6		2,95	0,46		
Magnetite			0,14	0	0		0,2	2,41	5,8	0,8
Quartz	1,09	0,47	0,67	0,79	0,12		0	2,33		2
Fayalite									4,69	7,6
Chromite	0,86									
Forsterite (Fe)									6,3	5,5
Total	99,91	100,03	99,99	100	99,93	100,01	100	99,95	101,59	100,1

Tabla 3.1: 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.

Fase mineral	Mn7	Mn17	Mn8	Mn18	Mn9	Mn19	Mn10	Mn11	Mn20
Chlorite IIb-2	2,06	0	1,02	0,51	5,5	3,6	0	26,4	27,2
Gibbsite	2,94	10,11	1,57	7,95	1,98	2,52	0		
Goethite	85,1	69,6	79,7	80,46	77,7	82,9	87,1	42,2	
Hematite	3,1	11,75	3,9	5	4,15	1,78	0,94		0,71
Lithiophorite	0,19	0,88	2,74	0	0	2,04	0		
Lizardite1T	1,06	1,56	0	0	0	0,49	0	22,1	62,79
Maghemite	3,11	4,29	7	6,08	6	3,18	11,25	2,1	4,12
Magnesiochromite	2,05	0,78	0	0	0	1,87	0		
Magnetite	0,42	0,9	3,8	0	3,47	1,61	0	6	5
Quartz		0,12	0,24	0	1,2	0	0,67	1,31	0,18
Total	97,97	99,99	98,95	100	94,5	99,99	99,96	100,11	100

Tabla 3.2: 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. No se le pudo realizar determinaciones cuantitativas.

Los termogramas de las muestras de estos horizontes superiores, (figura 3.2), exponen tres picos endotérmicos notables: uno alrededor de los 68 °C producto de la pérdida de agua no estructural, lo que evidencia una humedad elevada para estas muestras. Otro entre los 300 y 350 °C atribuible a la deshidroxilación de la goethita, como fase mineralógica predominante, que dependiendo de la cristalinidad que presente así será a la temperatura en que se produzca el pico endotérmico.

Y finalmente otro pico endotérmico próximo a los 473 °C, que se hace significativo en la muestra rica en manganeso (Mn3), que es atribuible al proceso de oxidación de la fase de Mn, litioforita, ya reportado para estos tipos de yacimientos en la zona de Nicaro por Voskresenskaya, y Cordeiro (1986) como elizabestinkista.

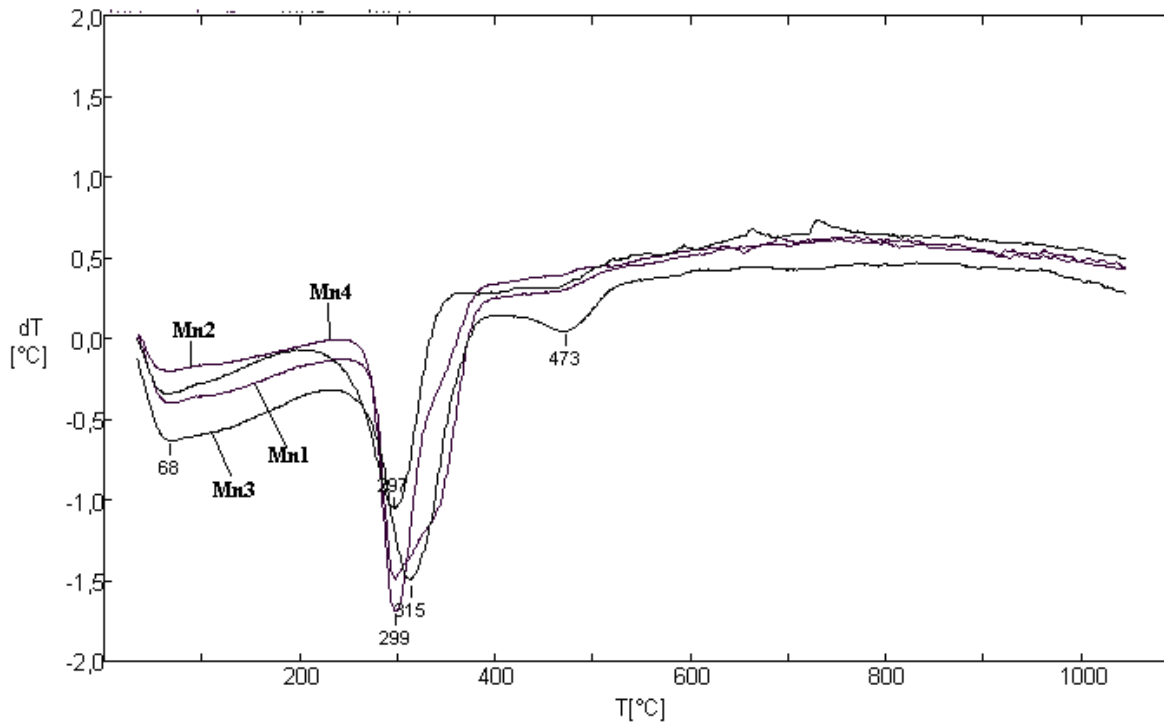


Figura 3.2. Termogramas de muestras de los horizontes de la zona laterítica del perfil L-48. Mn1: muestra de concreciones ferruginosas. Mn2: muestra del ocre superior. Mn3: muestra de ocre medio. Mn4: muestra de ocre inferior.

Hacia la parte inferior del perfil, zona silicatada, es predominante la fase de serpentina, tipo lizardita $((\text{Mg}, \text{Ni})_6 (\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8)$, junto con la enstatita $(\text{Mg}_2 (\text{Si}_2\text{O}_{10}))$, figura 5d.

El comportamiento térmico de estas muestras, (figura 3.3), exponen los endotérmicos a los 69 °C y próximo de 300 °C ya conocidos y descritos anteriormente. Se detecta cierta cantidad de goethita en la serpentinita alterada (Mn5) por la presencia de este último pico endotérmico. Además se observan picos endotérmicos entre 620 y 640 °C, atribuibles a la deshidroxilación de los silicatos de Mg del grupo de la serpentina. La presencia del piroxeno enstatita se detecta según el pico endotérmico a los 714 °C y el exotérmico a los 820 a 830 °C provocado por la recristalización de este mineral refractario.

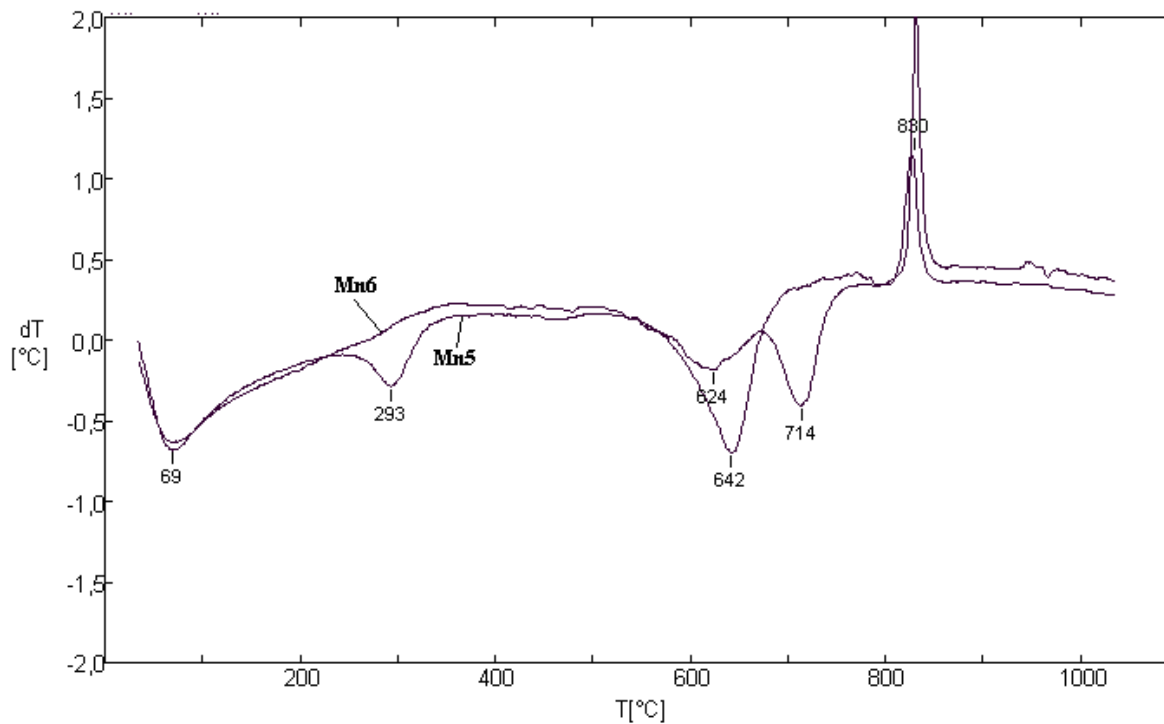


Figura 3.3. Termogramas de muestras de la zona silicatada del perfil L-48. Muestras: Mn5: horizonte de serpentinitas alteradas. Mn6: horizonte de serpentinitas no alteradas.

El perfil M-47 presenta una zona laterítica con una composición parecida a la anterior, pero difiere de ella por la menor cantidad de gibbsita que en general posee, sólo en el ocre superior es significativa esta fase. Aquí las fases de óxidos de Mn están en cantidades menores que el perfil anterior, donde en la muestra más enriquecida (Mn8) se identifica como una litioforita según los reflejos: 4,71 nm; 9,53 nm; 3,38 nm estimándose en un 2,7 %.

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

La zona silicatada de este perfil, (figura 8b), presenta la antigorita ($\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$), con poco níquel, además de la enstatita y olivino ($(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{SiO}_4)$) pero en poca cantidad, alrededor del 5 % o menos. Por encima de estas rocas aparecen serpentinitas meteorizadas níquelíferas (1,43 % de NiO) con algo de piroxeno y olivino.

Como ya se señaló, cerca de este perfil M-47, pero no formando parte de él, se detectó un cuerpo silicatado con una composición predominantemente aluminica y cálcica, tipo augítica, junto con el material magnesial ferroso intemperizado, (figura 3.4). Este cuerpo está compuesto por silicatos Mg, tipo lizardita, además augita $((Ca, Na)(Mg, Fe, Al)(Si, Al)_2O_6)$ según los reflejos difractométricos: 2, 98 nm; 3,22 nm; 2,51 nm, y nontronita $(Fe_2(Al, Si)_4O_{10}(OH)_2)$, y está asociado a rocas serpentinizadas y meteorizadas del perfil M-47.

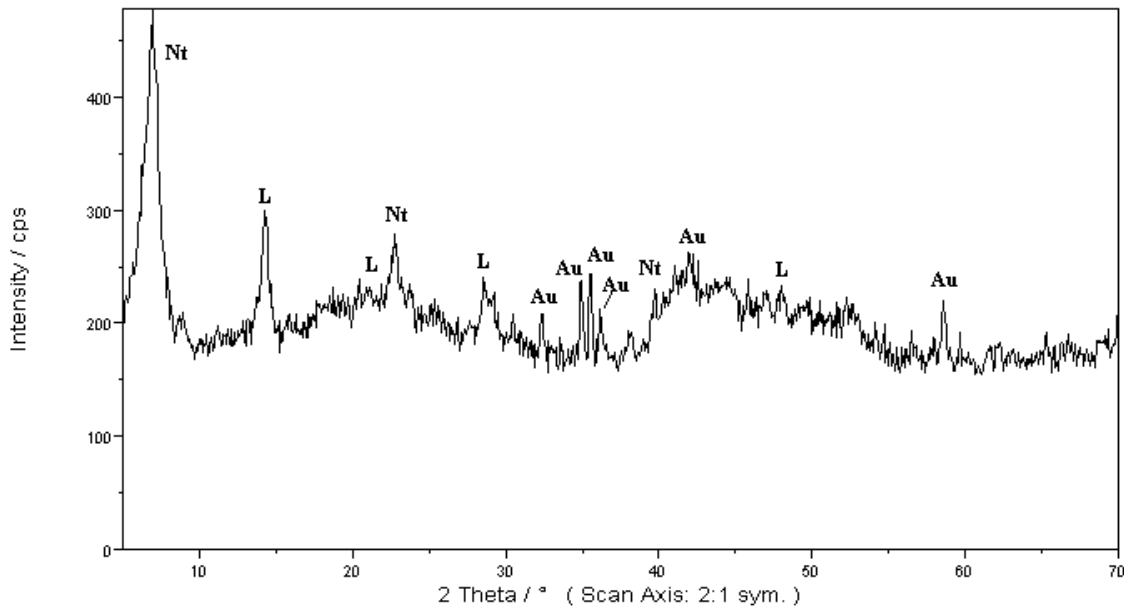


Figura 3.4. Difractograma de la muestra Mn12 (representativa del cuerpo silicatado enriquecido en augita) próximo al perfil M-47. Minerales: Au: augita; Nt: nontronita y L: lizardita.

Los termogramas de las muestras pertenecientes a los horizontes de esta zona silicatada del perfil M-47 son muy parecidos a los que expone la muestra Mn11, (figura 3.5), la cual presenta un fuerte pico endotérmico próximo a los 65 °C, por la pérdida del agua no estructural, otro endotérmico intenso cerca de los 640 °C, debido a la deshidroxilación de la fase de serpentina y finalmente el exotérmico a los 828 °C debido a la recristalización de la enstatita.

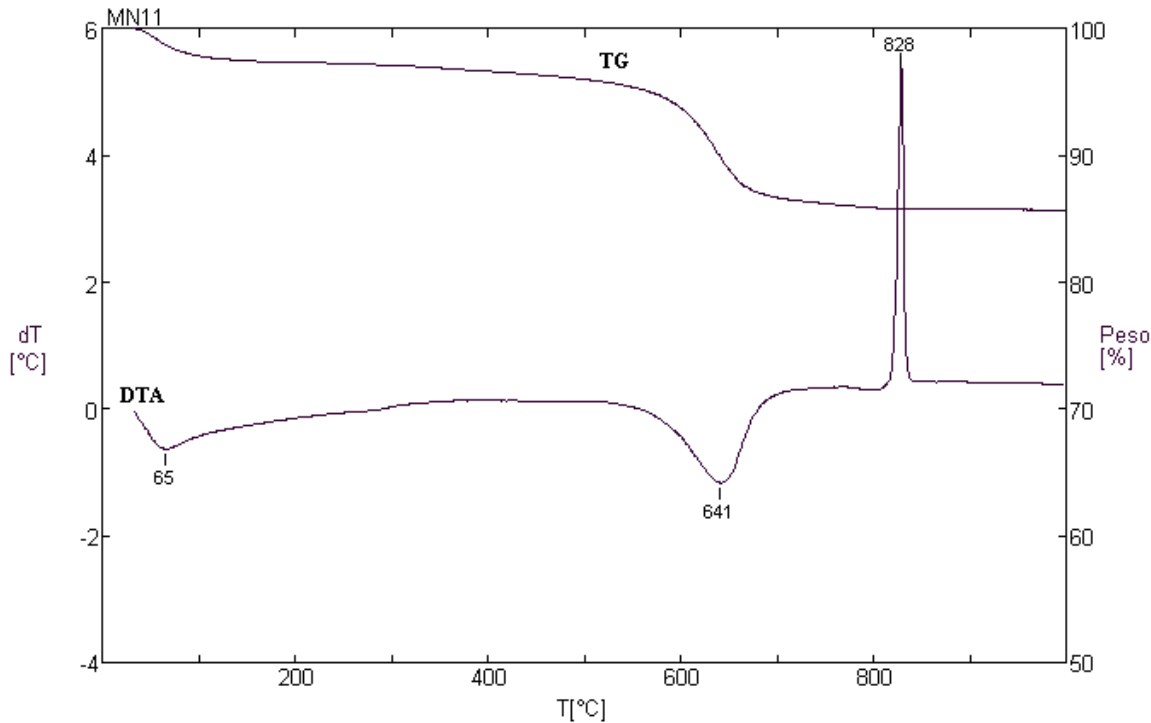


Figura 3.5. Termograma de la muestra Mn11 de la zona silicatada del perfil M-47. DTA: curva de de análisis térmico diferencial, TG: curva termogravimétrica.

3.2.4 Confirmación de las fases de óxidos de Manganeso por Microscopía Electrónica (MEB).

Como parte de la confirmación de las fases de óxidos se empleo de forma complementaria la técnica de Microscopía Electrónica Barrido en las muestras más perspectivas de óxidos de manganeso de los perfiles lateríticos L48 y M 47.

Muestra Mn3:

Es una muestra enriquecida en Mn, existen granos que tienen hasta un 70 % de Mn (Imagen 3.1, tabla 3.3). cabe señalar que las fases las fases de Mn, se detectan según MEB por zonas claras, con bajos contenidos de Al. Además se evidencia una relación directa entre el manganeso y el bario en la granulometría (de la fracciones (2 y 3). 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 %. Es significativo además los altos valores de los elementos del grupo del platino (Os, Ir, Pt y Au) que aparecen en la [fracción 2; imagen 3], donde es notorio su contenido de K.

Como ya lo fundamenta los resultados de DRX existe una paragénesis entre los óxidos de manganeso 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 existencia de la goethita.

Muestra Mn 8:

Observando las fracciones 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 (0,4 % 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 los 7%. Aclarar también que en el caso de la relación (Mn, Fe y Co) se comporta de manera directa.

Muestra Mn 19:

En la muestra se observa que el Fe esta alto 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 %.

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 % (Imagen 3.2, tabla 3.4) atribuible a una fase de espinela cromífera. (Con un contenido de Fe es de 35%). El Mn y el Ba se comportan de manera similar, estando los dos por el 0,1 % de contenido.

3.3 Interpretación de los resultados

Los perfiles lateríticos estudiados del yacimiento Punta Gorda poseen contenidos elevados de Mn y Co, que llegan ser significativo en el horizonte de ocre medio tanto en su parte superior (muestras Mn3 y Mn8) como inferior (muestras Mn14 y Mn19) de cada perfil. Estas muestras mineralógicamente presentan la siguiente composición: la más enriquecida en manganeso (muestra Mn3) está compuesta principalmente por goethita, (tabla 3.1), con un estimado cuantitativo según DRX, de un 78 %, además contiene gibbsita en un 12 % y hematita (inferior a un 5 %).

En esta muestra se presentan los reflejos difractométricos: 9,71 nm; 4,75 nm atribuibles a la existencia de los óxidos de Mn: litioforita (Al, Li) $\text{MnO}_2(\text{OH})_2$ (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). La existencia de estas fases de Mn ha sido reportada por Manceau y otros (1987) en yacimientos parecidos en Nueva Caledonia. Se recomienda para 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 3.1), presenta también a la goethita como fase predominante (62,6 %), con gibbsita en muy buena cantidad (23,6 %). Es significativo en esta muestra el contenido de hematita que llega a un 7,79 %. Aquí se define mejor la fase de óxidos de Mn tipo litioforita (Al, Li) $\text{MnO}_2(\text{OH})_2$ según los reflejos difractométricos: 9,66 nm; 4,72 nm, 1,91 nm.

Las muestras Mn8 y Mn19 tienen una composición parecida, (tabla 3.2), pues ambas presentan a la goethita como fase predominante, pero con poca cantidad de gibbsita (inferior a un 5 %). La Mn8 posee además cromita ($\text{Fe}^{+2}\text{Cr}_2\text{O}_4$) según los reflejos difractométricos: 2,52 nm; 2,95 nm; 1,47 nm, en tanto la Mn19 presenta la maghemita (Fe_2O_3) según: 2,52 nm; 2,96 nm; 1,60 nm. Aquí en estas dos muestras la fase de óxidos de Mn detectada sin dificultad es la litioforita, para la Mn 8 están los reflejos: 9,53 nm; 4,72 nm; 1,91 nm y en la Mn 19 están: 9,43 nm; 4,74 nm; 1,91 nm.

De modo que para estas muestras enriquecidas en manganeso se destaca la presencia de la goethita como fase mineral predominante en paragénesis con gibbsita, pero esta fase se encuentra sólo en buena cantidad en el perfil maduro (L- 48) no así en el incompleto o menos maduro (M-47). Esto explica los contenidos más elevados de alúmina del perfil L-48 con relación al otro perfil.

Por otra parte, la litioforita es el óxido de Mn más frecuentemente detectado en las muestras enriquecidas en manganeso, caracterizado por una baja cristalinidad lo cual se deduce dado su incompleto cuadro difractométrico y la ocurrencia de los picos endotérmicos a temperaturas más baja que las reportadas para estos minerales en yacimientos cubanos parecidos (Voskresenskaya y Cordeiro, 1986). La distribución de esta fase de óxido de Mn (litioforita) a través de los perfiles lateríticos, de acuerdo a las determinaciones difractométricas, tiene plena correspondencia con los contenidos de Mn y Co.

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).

En la confirmación de existencia de los óxido de Mn presentes en los perfiles (L - 48 y M - 47), fue utilizada las técnicas de MEB cuyos resultados evidencian granos y fracciones de muestras enriquecidas en óxidos de manganeso. Se pudo establecer determinadas correlaciones entre el manganeso y algunos microelementos como el Ba, Co, Ni y la existencia de elementos del grupo del platino. Se observó correlación entre el Mn y el Co en todos los casos y en algunas porciones una buena correlación entre el Mn y Ba.

Conclusiones:

1. Los perfiles lateríticos estudiados poseen elevados contenidos de manganeso y cobalto, sobre todo en el perfil maduro L-48, existiendo una apreciable concentración de estos metales en el horizonte de ocre medio, particularmente en su parte superior e inferior. Las muestras manganíferas en este perfil maduro se caracterizan por el color amarillo parduzco oscuro, con contenido de va desde 1,98 hasta 9,9 % de MnO y de 0,28 a 1,02 % de Co₃O₄. 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 Co₃O₄. Otro aspecto a resaltar es el mayor contenido de aluminio en el perfil maduro (L-48), que alcanza un máximo en el horizonte de ocre superior de hasta un 20 %.
2. La goethita es la fase mineralógica predominante, con ciertos contenidos de hematita, maghemita y gibbsita como fases secundarias. El perfil L-48 posee una mayor cantidad de gibbsita, acorde con los mayores contenidos de aluminio que posee. Se define a la litioforita como el principal mineral de óxido de manganeso que existe en estos perfiles lateríticos, según los reflejos difractométricos: 0,471 nm y 0,474 nm; 0,943 nm y 0,976 nm.
3. La fracción granulométrica de concentración para el Mn y Co y las fases de óxidos de Mn es la fracción menor de 0,83 mm y mayor de 0,074 mm.
4. La litioforita es el principal mineral de óxido de manganeso que existe en estos perfiles lateríticos, presentándose de grano negro, brillo semimetálico, no magnético, de aspecto botroidal a masivo, con los reflejos difractométricos: 0,471 nm y 0,474 nm; 0,943 nm y 0,976 nm. Además los endotérmicos alrededor de los 500, aunque nunca por encima de esa temperatura dada su baja cristalinidad. Los espectros IR, según las bandas a los 461 y 1019 cm⁻¹ confirman la presencia de esta fase de litioforita.
5. En la confirmación de existencia de los oxido de Mn presentes en los perfiles (L - 48 y M - 47), fue utilizada las técnicas de MEB cuyos resultados evidencian granos y fracciones de muestras enriquecidas en óxidos de manganeso. Se pudo establecer determinadas correlaciones entre el manganeso y algunos microelementos como el Ba, Co, Ni y la existencia de elementos del grupo del platino. Se observó correlación entre el Mn y el Co en todos los casos y en algunas porciones una buena correlación entre el Mn y Ba.

Recomendaciones:

- ✚ Se recomienda darle continuidad al estudio de los óxidos de Mn presentes en perfiles lateríticos, empleando métodos estadísticos.
- ✚ Hacer análisis de costo para el montaje de planta de beneficio de extracción de minerales de Mn.

Bibliografía consultada:

1. 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.
2. Beukes, J. P., Giesekke, E. W., Elliot, W. : Nickel retention by goethite and hematite. Minerals Engineering.Vol. 13. No. 14-15. pp 1573-1579. 2000.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Caron, M. H.: Ammonian leaching of nickel and cobalt ores. Transactions of AIME 188, 67-90. 1950.
7. Chukhrov, F. P., Gorshkov, V. A., Drita, V. A. : Supergenic manganese Hydrous oxides. 208 p. Nauka. Moscow. 1989.
8. 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.
9. 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.

10. De Carvalho e Silva, M. L. M., Oliveira S. M. B.: As fases portadoras de níquel do minério laterítico de níquel do vermelho, Serra dos Carajas (PA). Revista Brasileira de Geociências. Vol. 25. pp. 69-78. 1995.
11. 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.
12. 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.
13. 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).
14. Gleeson S. A, Butt C. R. M, Elias M. Nickel laterites: A Review. SEG Newsletter 54, 11-18. 2003.
15. 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.
16. 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).
17. Iturralde-Vinet, M. A.: Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution. No 1. 1996.
18. Iturralde-Vinet, M. A.: Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution. No 1. 1996.

19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Iturralde-Vinent M.A. 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana 33 (1-4). 9-56p.
23. Kim, Jae Gon ; Joe B. Dixon, Charles C. Chusuei and Youjun Deng. *Soil Science Society of America Journal* 66:661-670. Oxidation of Chromium (III) to (VI) by Manganese Oxides. DIVISION S-9 - SOIL MINERALOGY. 2002.
24. 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.
25. Lavaut Copa, W.: Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental. . revista Minería y Geología. Vol. 15. pp 9-16. 1998.
26. 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.
27. 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.

28. Manceau A, Tamura, N., Marcus, M. A., MacDowell, A. A., Celestre, R. S., Sublett, R. E., Sposito, G., Padmore, H. A.: Deciphering Ni sequestration in soil ferromanganese nodules by combining X-ray fluorescence, absorption, and diffraction at micrometer scales of resolution. *Am. Mineral.* 87: 1494-1499. 2002.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. Peacock, Caroline L., Sherman, David M. Crystal-chemistry of Ni in marine ferromanganese crusts and nodules *American Mineralogist.* 92: 1087-1092. 2007.
33. Rodríguez, Joelis: Ileana Cabrera, José A. Alonso, Bárbara Martín (2001): Acerca del primer hallazgo del mineral Ernieiquelita $\text{NiMn}_3\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ en Cuba. *TECNOMAT/2001*.
34. Sobol S.I.: Composición de las lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación de minerales por ácidos sulfúrico en autoclaves. *Revista Tecnológica.* No. 5 y 6. 17-23. 1968.
35. 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.
36. Voskresenskaya, N, Cordeiro, C: Hallazgo de Elizabetinskita en las formaciones ocrosas de la corteza de intemperismo del yacimiento Levisa, Holguín. *revista Minería y Geología* 3/86. pp 53-62. 1986.

ANEXOS

Anexos

Mn1	Fracciones granulométricas				
Fase mineral	Mn1	Mn1f.1	Mn1f.2	Mn1f.3	Mn1f.4
Gibbsite	7,8	4,3	9,36	14,5	8,2
Goethite	82,7	92,1	79	76,6	81
Hematite	5,7	0,79	7,13	6,62	10,74
Lithiophorite	1,76	1,16	1,86	0,85	
Lizardite1T					
Maghemite			0,97	1,04	
Magnesiochromite		0,16	0,7		
Magnetite		0,47	0,96		
Quartz	1,09	1,04		0,31	
Chromite	0,86				
Total	99,91	100,02	100,03	99,92	99,94

Tabla 5a – difractogramas del perfil L-48.

Mn2	Fracciones granulométricas				
Fase mineral	Mn2	Mn2f.1	Mn2f.2	Mn2f.3	Mn2f.4
Gibbsite	24,1	17,7	25,5	2,4	24,3
Goethite	58,2	67,5	63,8	97	63,5
Hematite	14,8	10,84	6,9		8,53
Lithiophorite	0,5		1,46	0,6	0,82
Lizardite1T					
Maghemite	1,24	3,63	2,04		2,58
Magnesiochromite	0,72				
Magnetite					0,24
Quartz	0,47	0,35	0,36		
Total	100,03	100,02	100,06	100	99,97

Tabla 5b – difractogramas del perfil L-48.

Mn3	Fracciones granulométricas				
Fase mineral	Mn3	Mn3f.1	Mn3f.2	Mn3f.3	Mn3f.4
Gibbsite	12,1	13,1	7,1	12,7	22,1
Goethite	78,3	76,5	80,3	78	67
Hematite	2,71			0,89	1,2
Lithiophorite	5,24	4,8	11,07	7,78	7,25
Magnesiochromite	0,83	4,49			2,1
Magnetite	0,14	1,06			0,1
Quartz	0,67		1,57	0,58	0
Total	99,99	99,95	100,04	99,95	99,91

Tabla 5 c – difractogramas del perfil L-48.

Mn4	Fracciones granulométricas				
Fase mineral	Mn4	Mn4f.1*	Mn4f.2	Mn4f.3	Mn4f.4
Gibbsite				1,4	2,3
Goethite	98,36		98,88	96	97,2
Hematite				1,12	
Lithiophorite	0,47		0,56	0,41	0,55
Maghemite	1,18				
Magnetite			0,17	0,88	
Quartz			0,39	0,2	
Total	100,01		100	100,01	100,05

Tabla 5 d – difractogramas del perfil L-48.

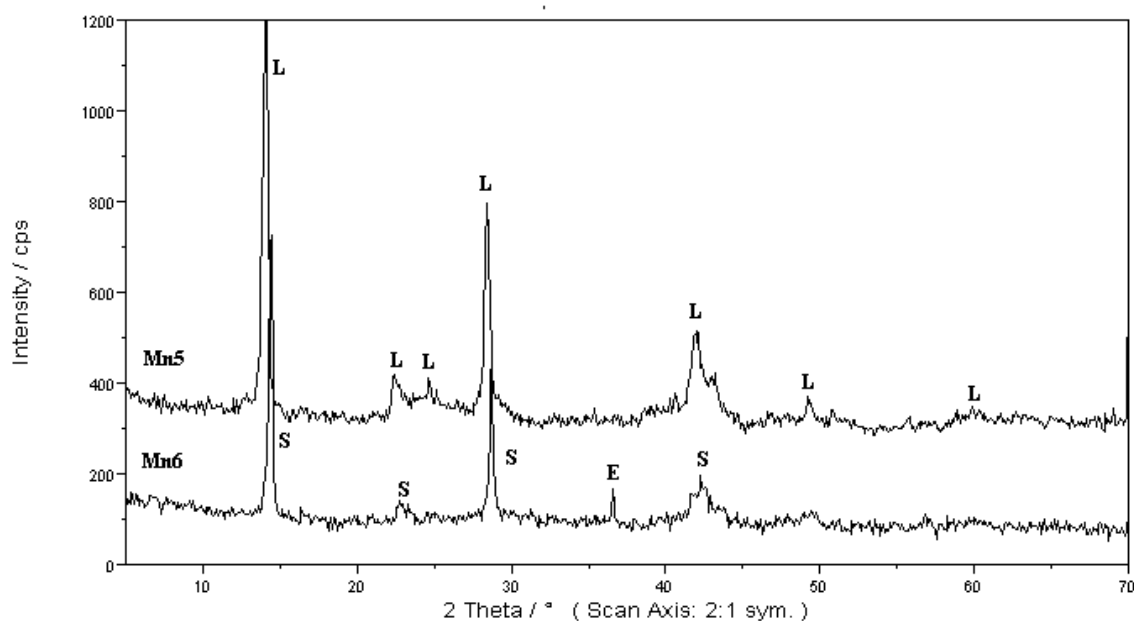


Figura 5d. Difractogramas de muestras de los horizontes de serpentinita alterada (Mn5) y serpentinita inalterada (Mn6) de la zona silicatada del perfil L-48. Minerales: L: lizardita; S: serpentina; E: enstatita.

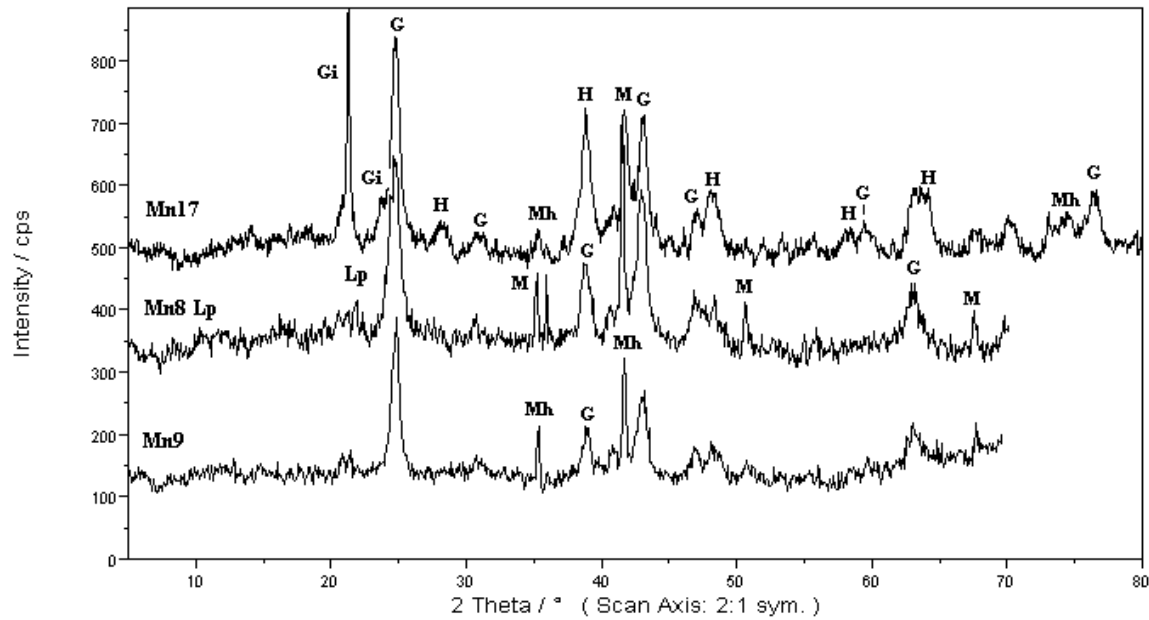


Figura 8a. Difractogramas de muestras de los horizontes de ocre superior (Mn17) a ocre medio (Mn8 y Mn9) de la zona laterítica del perfil M-47. Minerales: G: goethita; H: hematita; Lp: litioforita; M: magnetita; Mh: maghemita.

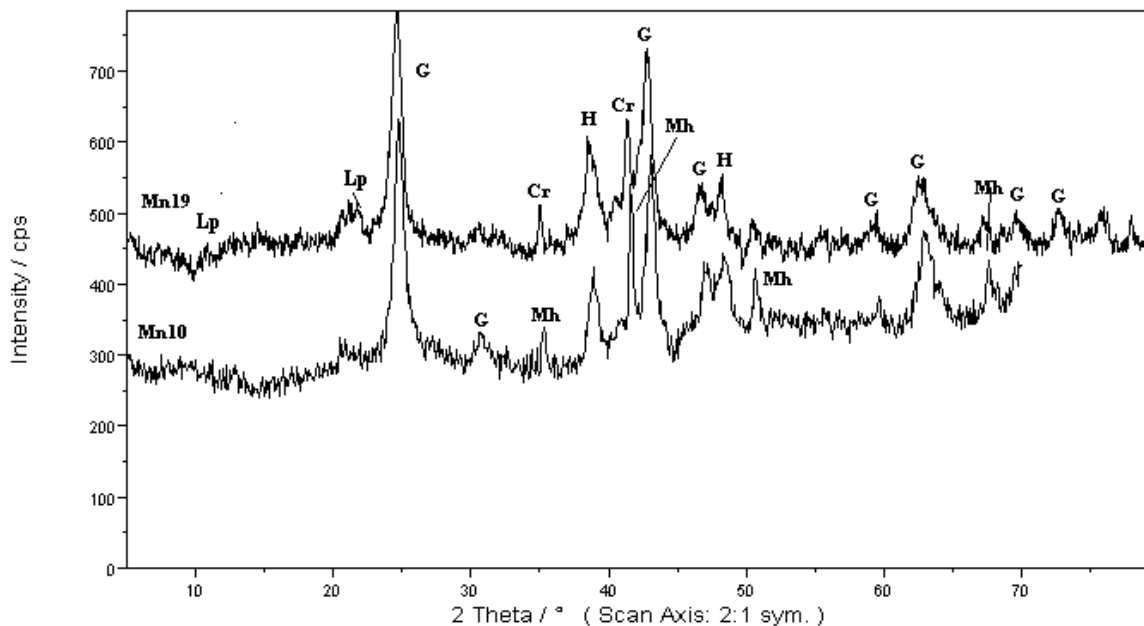


Figura 8b. Difractogramas de muestras de los horizontes de ocre medio (OM) a inferior de la zona laterítica del perfil M-47. Minerales: G: goethita; H: hematita; Lp: litioforita; Cr: cromita; Mh: maghemita.

Punto 1				Punto 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. %	

Tabal: 3.3

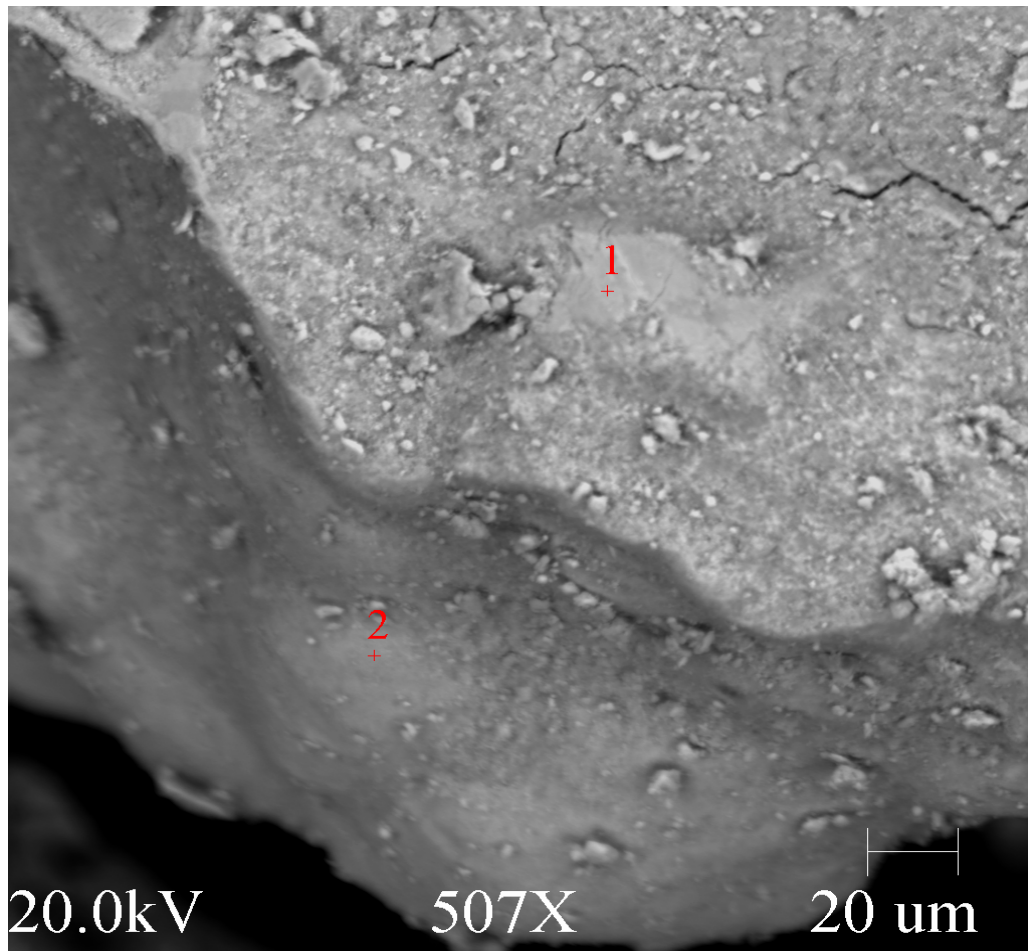


Imagen: 3.1

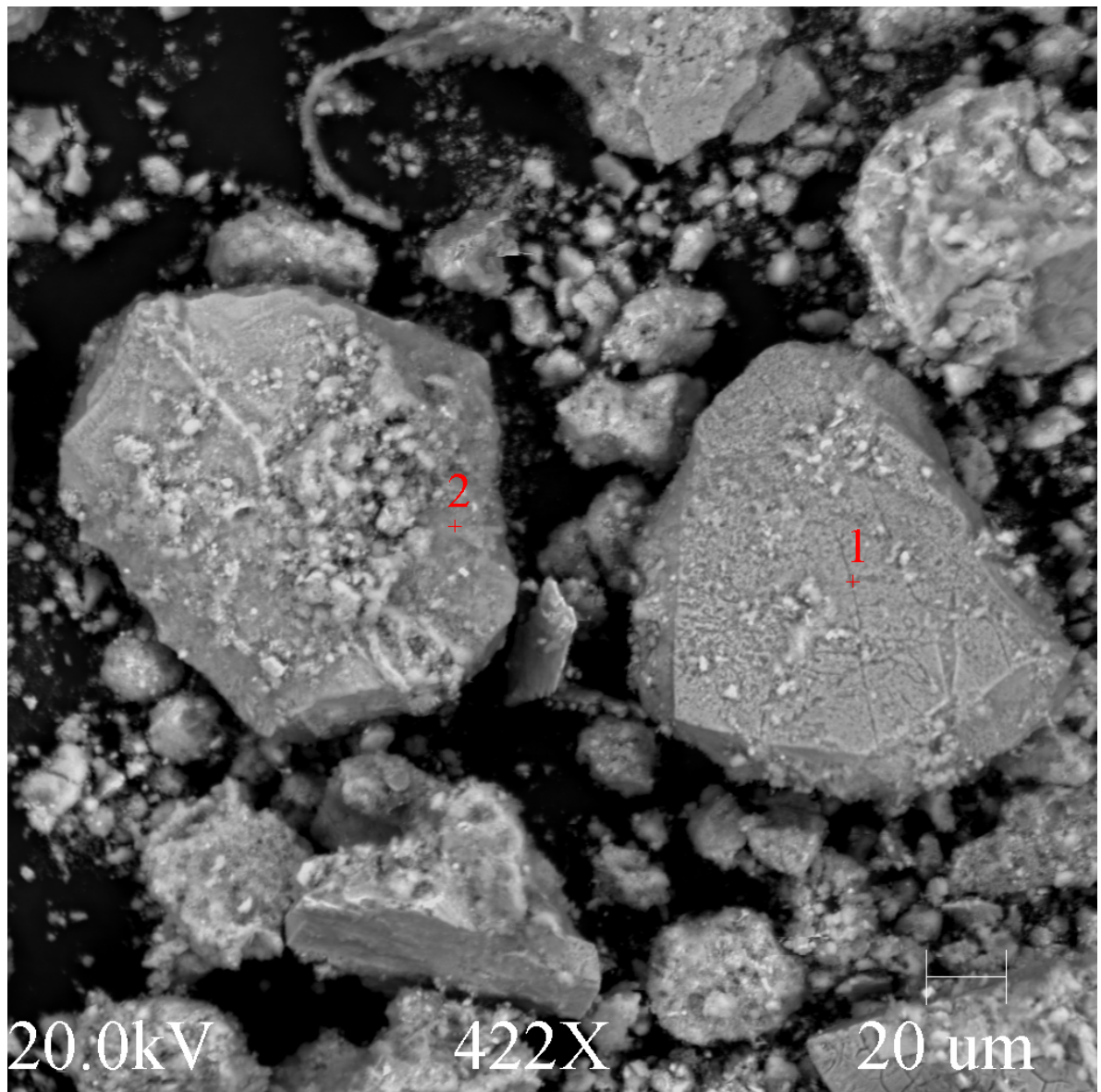


Imagen: 3.2

Punto 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. %	

Tabla: 3.4