



**Ministerio de Educación Superior.
Instituto Superior Minero- Metalúrgico.
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad de geología y minería
Departamento de geología.**

Trabajo de diploma

Título: Caracterización por Espectroscopia Infrarroja de minerales asociados a corteza ferroniquelífera del yacimiento Punta Gorda en Moa, Holguín.

Diplomante: Janler Ramírez Durán.

Tutor: Dr.C Arturo L Rojas Purón.

Curso: 2010-2011

Agradecimientos

A la Revolución Cubana por haberme dado la oportunidad de realizarme como un profesional.

Al departamento de Geología Minería del Instituto y a su claustro de profesores en su conjunto, el cual me ha brindado el conocimiento basto para realizarme como profesional.

A mi tutor el Dr.C Arturo Rojas Purón por apoyarme a lo largo de este trabajo.

Agradecer infinitamente a mi familia por el apoyo que siempre me mostraron a pesar de los problemas que se presentaron en el camino de estos cinco años.

A mis amigos lo cual me han apoyado y se han preocupado en todo momento de mi carrera, Pedro Pico, José Landy, Yomar Blanco, Fidel Pelier, Yordanis Cervantes, Anne Beatriz, Yelaine Reyes, Maribel Cruz y otros...

A mis compañeros de aula, por los incontables momentos que vivimos juntos y por su ayuda en los momentos difíciles a lo largo de estos cinco años, a ellos estoy muy agradecido: Dioelis Guerra, Simón Tobías, Virgilio Martínez, Roel Fajardo, Idilver Urgelles, Isabel Chi, Dayami Galán, Liuska Hernández y otros....

Y para todos aquellos conocidos y no conocidos que en algún momento preguntaron ¿Cómo vas en la tesis?, les agradezco también.

GRACIAS

Dedicatoria

A nuestro Señor Jesucristo por el don de la vida.

A mi padre Manuel Ramírez y a mi madre Virginia Duran por haberme hecho lo que soy hoy, por su cariño, su dedicación y comprensión a lo largo de todos estos años y sobre todo su amor incondicional.

A mi abuela Candida Reyes Pileta, que aunque no este presente físicamente a ella le dedico parte de mi educación y mi carrera.

A mis hermanos Gendry Romero y Liudmila Ramírez los cuales han estado preocupado por mi en todo momento.

Pensamientos

“Nuestra recompensase encuentra en el esfuerzo y no en el resultado.

Un esfuerzo total es una victoria completa.”

Mahatma Gandhi.

Político y pensador indio.

“La victoria ama a los preparados.”

Anónimo.

Resumen

La siguiente investigación tiene como título " Caracterización por Espectroscopia Infrarroja de minerales asociados a corteza ferroniquelífera del yacimiento Punta Gorda en Moa, Holguín", y tiene como objetivo la caracterización de una serie de muestras presentes en dos perfiles L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda en el municipio de Moa, Holguín mediante este método analítico.

Para alcanzar este objetivo, se realizó una recopilación y un análisis bibliográfico, que aportó una información útil, la cual facilitó aun más la investigación. Luego de esto se pasó al análisis de las muestras con el método analítico de Espectroscopia Infrarroja (IR), apoyándose también en otros análisis de Difracción de Rayos-X (DRX) realizados a las mismas muestras.

A partir de los análisis hechos a las muestras por estas técnicas, se obtuvo como resultados que los perfiles L-48 y M-47 estudiados están caracterizados mineralógicamente por goethita, gibbsita, hematita y maghemita, en la zona laterítica y los otros minerales como la lizardita, fayalita, forsterita y clorita en la zona silicatada.

Abstract

The present investigation entitled characterization of weathered crust minerals of Punta Gorda deposit in the municipality of Moa, Holguin using Infrared Spectroscopy. Its main objective is to characterize a series of samples from two profiles L-48 and M-47 from Punta Gorda deposit using analytic method of infrared Spectroscopy.

To achieve the objective different bibliographic references were consulted and analyzed to obtain the necessary information needed for this investigation. The samples were analyzed using infrared spectroscopy and X-rays diffraction analytic techniques.

From the results obtained from infrared and X-rays diffraction analysis, the two studied profiles L-48 and M-47, mineralogical they are characterized by goethite, gibbsite, hematite and maghemite in the laterite zones and lizardite, fayalite, forsterite and chlorite in the silicate zones.

Índice

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Pensamientos	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Índice	vii
Introducción.....	1
Capítulo 1 Localización, Rasgos físico-geográfico y geológico de la región de estudio	5
1.1 Ubicación geográfica.....	5
1.2 Rasgos físico-geográfico y económico.....	6
1.2.1 Aspecto climático.....	6
1.2.2 Red fluvial.....	6
1.2.3 Vegetación.....	6
1.2.4 Relieve.....	7
1.2.5 Principales rasgos económicos de le región.....	7
1.3 Características geológicas de la región.....	8
1.3.1 Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa.....	10
1.4 Características geológicas del yacimiento Punta Gorda.....	12
1.4.1 Tectónica del yacimiento.....	14
1.4.2 Condiciones hidrogeológicas.....	15
1.4.3 Geomorfología.....	16
1.5 Procesos geodinámicos y antrópicos.....	16
Capítulo 2 Materiales y métodos de investigación	20
Introducción.....	20
2.1 Metodología de la investigación.....	20
2.2 Muestreo y muestras de estudio.....	21
2.3 Métodos utilizados.....	22

2.3.1 Espectroscopia Infrarroja.....	22
2.3.2 Difracción de Rayos X.....	24
2.4 Medios utilizados.....	25
Capítulo 3 Interpretación y discusión de los resultados obtenidos.....	29
Introducción.....	29
3.1 Resultados de Espectroscopia infrarroja.....	29
3.2 Resultados de Difracción de Rayos-X.....	37
3.3 Interpretación de los resultados.....	38
Conclusiones.....	40
Recomendaciones.....	41
Bibliografía consultada.....	42
Anexos.....	45

Introducción

Los yacimientos ferroniquelíferos cubanos son genéticamente de tipo residual. Formados por una corteza de intemperismo en forma de manto que descansa sobre la roca madre. Estas cortezas se encuentran desarrolladas sobre una cadena montañosa compuesta por rocas ultrabásicas serpentinizadas, en menor grado por rocas básicas y efusivas. Entre los yacimientos principales tenemos los de Pinares de Mayarí y los de Moa, constituyendo nuestro país uno de los de mayores reservas de níquel a nivel mundial (Almaguer Y, 2005).

Las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas cubanas son enormes reservas para la obtención de varios elementos importantes. En general se le ha dado a estos minerales el término de lateritas, dentro del cual se designan las mezclas de minerales de óxidos o hidróxidos de hierro y del aluminio con los minerales arcillosos. Su composición varía ampliamente de las lateritas de hierro que no contienen prácticamente aluminio hasta las lateritas de aluminio que casi no contienen hierro (bauxitas).

Todos estos minerales componentes de los perfiles lateríticos se presentan físicamente entrelazados y las dimensiones de sus partículas son muy pequeñas (0.1 - 10 μ m) por lo cual su composición no se puede determinar prácticamente por los métodos comunes de análisis.

Actualmente en nuestro país se extrae el níquel y en menor escala el cobalto, los yacimientos niquelíferos mediante dos procesos tecnológicos diferentes, determinados por las características de la materia prima, que son el de lixiviación carbonato-amoniaca y el de lixiviación ácida.

Las rocas madres que originaron las cortezas de meteorización laterítica forman parte de las secuencias del cinturón plegado cubano, del cual afloran fundamentalmente unidades oceánicas reconocidas como ofiolitas septentrionales. (Iturralde-Vinent, 1998).

Las ofiolitas están representadas por rocas ultrabásicas serpentinizadas, constituidas predominantemente por harzburgitas y subordinadamente por dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Las rocas básicas están representadas por gabro olivínico, gabro-noritas, anortositas y gabros normales (Quintas, 1989). Desde el punto de vista tectónico, en la región están presentes estructuras plicativas y disyuntivas agrupadas, sobre todo, en diferentes sistemas de dirección NW-SE y NE-SW (Campos, 1983, Rodríguez, 1998^a, 1998^b).

Problema: La necesidad de establecer las características espectroscópicas infrarrojas (IR) de los minerales asociados a cortezas ferroniquelíferas que contribuya a su identificación y caracterización.

Objeto de estudio: Los minerales asociados a la corteza ferroniquelífera del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín.

Objetivo: Caracterizar espectroscópicamente por infrarrojo los minerales asociados a la corteza ferroniquelífera del yacimiento Punta Gorda.

Objetos específicos:

1. La colección de muestras minerales asociados a las cortezas ferroniquelíferas.
2. Acopio de la información teórica de la espectroscopia infrarroja.
3. Lograr el procesamiento por espectroscopia infrarroja de los minerales lateríticos del yacimiento Punta Gorda.
4. Caracterización espectroscópica por infrarrojo de los minerales asociados a cortezas ferroniquelíferas del yacimiento Punta Gorda.

5. Relacionar la información de difracción de rayos x con los espectros infrarrojos.

Hipótesis: Si se conoce la presencia de los principales minerales en muestras asociados a yacimientos ferroniquelíferos se puede confirmar la existencia de los minerales presentes por espectroscopia infrarroja (IR).

Resultados: Se pretende obtener como resultado los catálogos de espectro infrarrojo lo cual confirmaría la presencia de minerales presente en estas cortezas ferroniquelíferas y valorar en el futuro algunos aspectos cristaloquímicos de determinados minerales.

Fundamentación de la investigación:

Existe un grupo de minerales que tienen un comportamiento espectroscópico notable como son los óxidos-hidróxidos de hierro y aluminio, los silicatos lo cual permite confirmar la existencia de estos minerales y algunas características cristaloquímicas de ellos.

Por otra parte el material laterítico es un material muy heterogéneo tanto química, física y mineralógicamente.

Se necesita emplear diferentes técnicas analíticas entre las que se encuentra la espectroscopia infrarrojo (IR) y difracción de rayos x (DRX), además de una adecuada preparación de muestras.

CAPITULO I

1.2. Rasgos físico-geográficos y económicos.

1.2.1. Aspecto climático:

El clima de la región es tropical, distinguiéndose en el año dos periodos de lluvia (Mayo-Junio) y (Octubre-Enero) y dos periodos de seca (Febrero-Abril) y (Junio-Septiembre). La cantidad de precipitaciones oscila dentro amplios límites y como promedio es de 1 600 a 2 200 mm al año. La temperatura media anual es de 25° C siendo en verano de 30-32° C y en invierno de 22-26° C. El clima de Moa está fuertemente influenciado por el sistema montañoso Sagua-Moa-Baracoa, que actúan como pantalla a los vientos alisios del nordeste, los cuales hacen descargas en la vertiente norte de copiosa lluvias, la evaporación media anual varía entre los 1880 y 7134 mm.

1.2.2. Red fluvial

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

1.2.3 .Vegetación:

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

1.2.4. Relieve:

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.

1.2.5. Principales rasgos económicos de la región:

Económicamente la región de Moa está dentro de las más industrializadas del país; cuenta con dos plantas procesadoras de menas de níquel actualmente en producción, la Comandante Ernesto “Che Guevara” y la Comandante “Pedro Soto Alba”, con capacidades de diseño original de 30 000 y 24 000 t de concentrado de Ni + Co al año respectivamente. Este reglón constituye el segundo rubro exportable del país. Además de estas industrias existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel del Comandante Gustavo Machín Goetdebeche, centro de proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la empresa constructora y reparadora del Níquel (ECRIN), así como otros centros industriales de menor tamaño, vinculados a la actividad económica del territorio. La agricultura tiene un peso fundamental dentro de la vida económica de la región, el municipio Sagua de Tánamo es uno de los más grandes productores de café de la provincia, en municipio Fran País además de la recolección del café se encuentra enclavado el complejo Agroindustrial que lleva el mismo nombre de la localidad. También la ganadería se encuentra entre las actividades económicas que se llevan a cabo en la región pero no tiene un gran peso puesto que no está muy desarrollada. En la zona se encuentran los yacimientos de cromo Merceditas, Amores y Los Naranjos; en Punta Gorda, a 8 km al este de la ciudad de Moa

en Cayo Guam a 15 km se encuentran sendas plantas beneficiadoras de mineral cromífero de los yacimientos Merceditas y Amores. También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geominera Oriente, la Presa Nuevo Mundo, el Tejar, el combinado lácteo y otros.

1.3. Características geológicas de la región:

El área de estudio se enmarca dentro de la región nororiental 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 “neotóctono” (Iturralde-Vinent, 1996a, 1998; Proenza y otros, 1999a, 2000^a). 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 volcánicas del Cretácico y del Paleógeno (Cobiella, 1997, 2000; Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1996, 1998).

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 “Neotóctono” (Iturralde Vinent, 1996).

En la región de estudio se pueden reconocer seis unidades tectónico-estratigráficas (UTE) principales: (Iturralde, 1998 y 1999^a, Proenza et al. 2000).

- 1) Rocas de afinidad ofiolítica.
- 2) Materiales volcánicos y vulcano-sedimentarios asociados a un arco de islas Cretácico.

- 3) Materiales asociados a cuencas transportadas del Campaniense 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 “Neautóctono” desde el Oligoceno al Reciente.

Como se observa en el mapa geológico de la región de estudio (ver la figura 2), las rocas de afinidad ofiolítica son las de mayor distribución en el área, enmarcándose dentro de la llamada faja ofiolíticas Mayarí- Baracoa (Iturralde Vinent, 1994, 1996 y 1998). Estas ofiolitas han sido interpretadas como representativas de un sistema de cuencas de retroarco-mar marginal, ubicado paleogeográficamente entre la Plataforma de Las Bahamas y el Arco de las Antillas Mayores (Iturralde Vinent, 1994, 1996b, 1998; Cobiella, 2000).

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

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

En ocasiones las ofiolitas están cubiertas por materiales 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).

1.3.1 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).

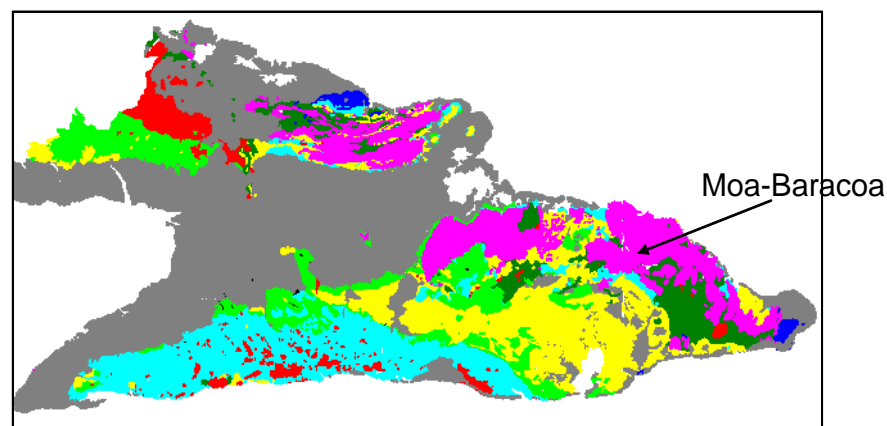
El complejo ultramáficos desde el punto de vista petrológico, se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado por dunita; también se han descritos dunitas plagioclásicas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas (García y Fonseca, 1994; Proenza y otros, 1999).

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 ultramáficas (Fonseca y otros, 1985), aunque Ando y otros (1989) plantean que en algunos sectores el contacto es

transicional. Los principales tipos petrológicos son: gabros olivínicos, gabronoritas, gabros, anortosita y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985; Torre, 1987; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999).

El complejo vulcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte 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 hialoclastitas, tobas, capas de cherts y calizas (Quintas, 1989).

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



Asociaciones Estructuro Formacionales de la región oriental de Cuba

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

Figura 2. Mapa geológico de la región del área de estudio.

1.4. Características Geológicas del yacimiento Punta Gorda.

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

En el basamento se revela una alta complejidad tectónica y mediana complejidad litológica. La litología que predomina es la peridotita serpentizada en mayor o menor grado, que están compuestas por harzburgitas y dunitas serpentizadas principalmente. Ver el mapa de geología local del yacimiento Punta Gorda en los anexos. (Figura 3).

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 ocres. 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. Tectónica del yacimiento

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

del yacimiento. Estas fracturas tienen carácter premineral, ya que en caso contrario hubieran afectado seriamente el cuerpo mineral presente en el yacimiento, en cuestión (Cuencas et al, 2009).

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

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

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

1.4.2. 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).

1.4.3 Geomorfología:

El yacimiento se encuentra enclavado en el bloque morfotectónico El Toldo, de manera que la descripción geomorfológica está vinculada con los rasgos predominantes de dicho bloque (De Dios Leyva, 2000).

Presentan zonas de llanuras desarrolla en toda la parte centro-norte, ocupando desde la barrera arrecifal hasta los niveles de 100–110 m de altura hacia el sur. Su formación está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos. También presentan zonas de montañas bajas aplanadas ligeramente disecionadas, esta es la que adquiere la mayor importancia en el estudio de la zona por el área que abarca y por estar asociados a ella los mayores yacimientos ferroniquelíferos.

Los procesos de intemperismo son predominantes y están condicionados no sólo por la litología y el grado de agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrolla sino también, por la posición hipsométrica que estas ocupan.

1.5 Procesos geodinámicos y antrópicos:

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 acaravamiento, 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. 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.

CAPITULO II

CAPITULO II. Materiales y métodos de investigación.

Introducción.

En el presente capítulo abordaremos aspectos relacionados con la metodología empleada en el trabajo correspondiente con las etapas de investigación (búsqueda bibliográfica, análisis de la información, trabajos de laboratorio en este caso y el trabajo de gabinete), los cuales nos permitirán la caracterización de minerales asociados a cortezas ferroniquelíferas. Para esto fue necesaria la utilización de métodos analíticos como espectroscopia infrarroja y difracción de rayos x, métodos bastante modernos y poco utilizado en nuestro municipio. Luego se sugirieron tres etapas fundamentales que se describen a continuación.

2.1 Metodología de la investigación.

Primera etapa: Búsqueda bibliográfica.

Una vez determinada el área de estudio y el sector específico de la investigación se ejecutó la búsqueda, selección y revisión bibliográfica. Para realizar la revisión bibliográfica referente al tema se consultó en el centro de información del I.S.M.M. los artículos científicos, trabajos de diplomas, tesis de maestrías y doctorales, revistas, libros y otros documentos relacionados con la temática abordada en la investigación. Además, se consultaron los trabajos que precedieron a este, la búsqueda en sitios web especializados (Internet e Intranet), lo que contribuyó al enriquecimiento de la información con datos actualizados y confiables.

Segunda etapa: Trabajo de laboratorio.

Esta etapa de trabajo se desarrolló en tres momentos, en un primer momento realizamos un estudio de la técnica a utilizar y su equipamiento, en el segundo momento nos centramos fundamentalmente en la selección de las muestras y su preparación para su análisis y en el tercer momento se paso a la ejecución y obtención de los espectros infrarrojos. Para esto fue utilizado el WQF-510/520 FTIR Spectrometer, así como otros medios.

Tercera etapa: Trabajo de gabinete.

La tercera etapa consistió en procesar los datos obtenidos en las otras dos etapas de trabajo. Teniendo los espectros de las muestras se procedió a su interpretación, procesamiento y análisis. Para esto tuve que prescindir de la informática, al hacer uso de los softwares Main FTOS y FTOSPR para una correcta interpretación de dichas muestras. De esta forma se le pudo dar solución a los objetivos propuestos en esta investigación

2.2 Muestreo y muestras de estudio.

Para la realización de este trabajo se estudiaron muestras puntuales de 1 Kg de dos perfiles L 48 y M 47 del yacimiento Punta Gorda, estas son representativas de los horizontes que componen la corteza de intemperismo del yacimiento.

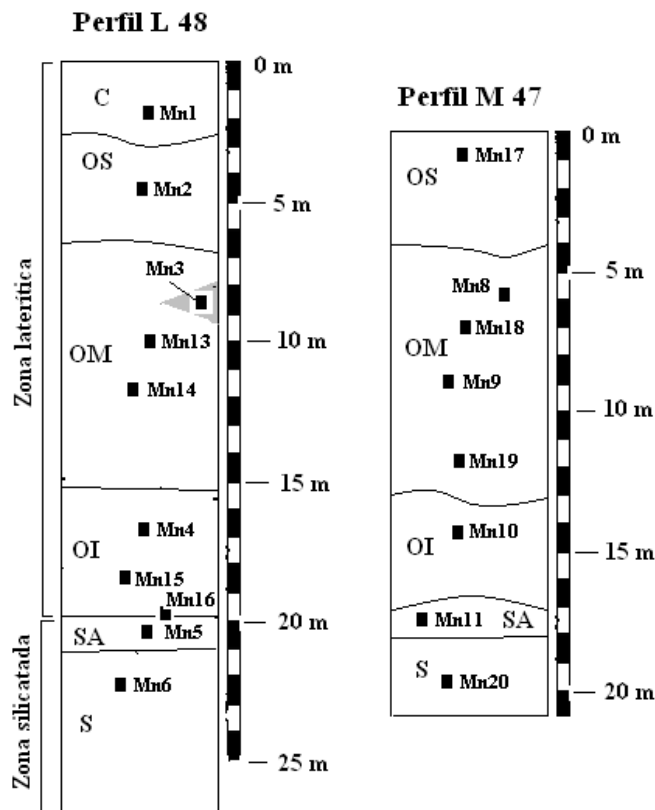


Figura 2.1 Esquema de los perfiles lateríticos L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. Observaciones: Horizontes: C: concreciones ferruginosas; OS: ocre superior; OM: ocre medio; OI: ocre inferior; SA: serpentinita alterada; S: serpentinita inalterada o roca madre. (■) Mn1: toma de muestra.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

2.3 Métodos utilizados:

El poder de la microscopia infrarroja reside en su capacidad para obtener información molecular a escala microscópica. Mediante la obtención masiva de espectros resueltos espacialmente se pueden determinar tanto la identidad como la distribución de los componentes químicos de una muestra.

La difracción de rayos X es el único método que permite, tras un procedimiento generalmente largo y complicado, determinar de modo exacto la estructura molecular de cualquier producto, ya sea un fármaco, un compuesto inorgánico, un mineral, una proteína o incluso un virus.

2.3.1 Espectroscopia:

Es el estudio de la absorción o emisión de radiación electromagnética efectuada por las distintas sustancias. La espectroscopia proporciona a los químicos toda una gama de técnicas de identificación de compuestos de acuerdo con sus características espectrales específicas. Hay varios tipos de espectroscopia, según las longitudes de onda del espectro electromagnético empleadas.

Espectroscopia infrarroja:

La región infrarroja abarca las regiones del espectro comprendidos entre los números de onda de 12800 a 10 cm^{-1} aproximadamente, lo que corresponde a las longitudes de onda de 0.78 a 1000 μm , esta región se divide en tres porciones denominadas: infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano.

Teoría

La porción infrarroja del espectro electromagnético se divide en tres regiones; el infrarrojo cercano, medio y lejano, así nombrados por su relación con el espectro visible. El infrarrojo lejano (aproximadamente 400-10 cm^{-1}) se encuentra adyacente a la región de microondas, posee una baja energía y puede ser usado en espectroscopia rotacional. El infrarrojo medio

(aproximadamente $4000-400\text{ cm}^{-1}$) puede ser usado para estudiar las vibraciones fundamentales y la estructura rotacional vibracional, mientras que el infrarrojo cercano ($14000-4000\text{ cm}^{-1}$) puede excitar sobretonos o vibraciones armónicas.

Para medir una muestra, un rayo de luz infrarroja atraviesa la muestra, y se registra la cantidad de energía absorbida en cada longitud de onda. Esto puede lograrse escaneando el espectro con un rayo monocromático, el cual cambia de longitud de onda a través del tiempo, o usando una transformada de Fourier para medir todas las longitudes de onda a la vez. A partir de esto, se puede trazar un espectro de transmitancia o absorbancia, el cual muestra a cuales longitudes de onda la muestra absorbe el IR, y permite una interpretación de cuales enlaces están presentes.

Esta técnica funciona exclusivamente con enlaces covalentes, y como tal es de gran utilidad en química orgánica. Espectros nítidos se obtienen de muestras con pocos enlaces activos al IR y altos niveles de pureza. Estructuras moleculares más complejas llevan a más bandas de absorción y a un espectro más complejo. Sin embargo esta técnica se ha podido utilizar para la caracterización de mezclas muy complejas.

Preparación de muestra

El método espectroscópico es utilizado en cualquier tipo de muestra, ya sea en estado líquido, sólido o gaseoso, pero en este caso nos centraremos en las muestras sólidas.

Las muestras sólidas se pueden preparar principalmente de dos maneras. La primera es moler la muestra con un agente aglomerante para formar una suspensión (usualmente nujol) en un mortero de mármol o ágata. Una fina película de suspensión se aplica sobre una placa de sal y se realiza la medición.

El segundo método es triturar una cantidad de la mezcla con una sal especialmente purificada (usualmente bromuro de potasio) finamente para

remover efectos dispersores de los cristales grandes. Esta mezcla en polvo se comprime en una prensa de troquel mecánica para formar una pastilla translúcida a través de la cual puede pasar el rayo de luz del espectrómetro.

Es importante destacar que los espectros obtenidos a partir de preparaciones distintas de la muestra se verán ligeramente distintos entre sí debido a los diferentes estados físicos en los que se encuentra la muestra y a que en algunos casos los agentes aglomerantes también absorben en IR mostrando bandas características.

Usos y aplicaciones

La espectroscopia infrarroja es ampliamente usada en investigación y en la industria como una simple y confiable práctica para realizar mediciones, control de calidad y mediciones dinámicas. Los instrumentos son en la actualidad pequeños y pueden transportarse fácilmente, incluso en su uso para ensayos en terreno.

2.3.2 Difracción de Rayos X

La difracción es un fenómeno característico de las ondas, que consiste en la dispersión de las ondas cuando se interaccionan con un objeto ordenado. Ocurre en todo tipo de ondas, desde las sonoras, hasta las ondas electromagnéticas como la luz, y también los rayos X.

2.4 Medios utilizados:

En este trabajo utilizamos una serie de medios los cuales son: espectrofotómetro, prensa mecánica, una balanza eléctrica, computadora y otros aditamentos.



Fotos No 1 y 2: WQF-510/520 FTIR Spectrometer.

Se empleó el espectrofotómetro modelo WQF-510 FTIR, de la BEIJING RAYLEIGH ANALYTICAL INSTRUMENT CORP de la República Popular China, con registros de banda espectral de $4\ 000$ a $400\ \text{cm}^{-1}$, con mediciones de cada $4\ \text{cm}^{-1}$. Los datos fueron obtenidos y procesados por el software WQF-510/520 FTIR Spectrometer – 2009. Este es el equipamiento infrarrojo con que contamos en nuestro instituto.



Foto No 3: Prensa 769 YP-15A

Para la realización de la pastilla comprimimos la muestra en la prensa mecánica a una presión de 10 a 15 MPa durante 1min para que esta se compacte y no se fracture al transportarla.



Foto No 4: Balanza eléctrica **CPA 124C**

Hacemos un pesaje de la muestra para obtener una buena relación de peso entre la muestra mineral y la sal de bromuro de potasio (KBr).

La relación de peso utilizada fue de 1mg a 100mg, es decir 1mg de la muestra y 100mg de bromuro de potasio.



Foto No 5: Computadora **SANSUN Pentium-5**

Luego de colocar la muestra en el espectrómetro, esta es la encargada de reflejar en la pantalla, el espectro obtenido mediante el software Main FTOS y el FTOSPR de esta forma podemos interpretarlo.



Foto No 6: Otros aditamentos

1 Mortero de ágata, 2 Porta muestra, 3 Agente aglomerante, 4 Moldes para la pastilla.

CAPITULO III

CAPITULO III. Interpretación y discusión de los resultados obtenidos.

Introducción

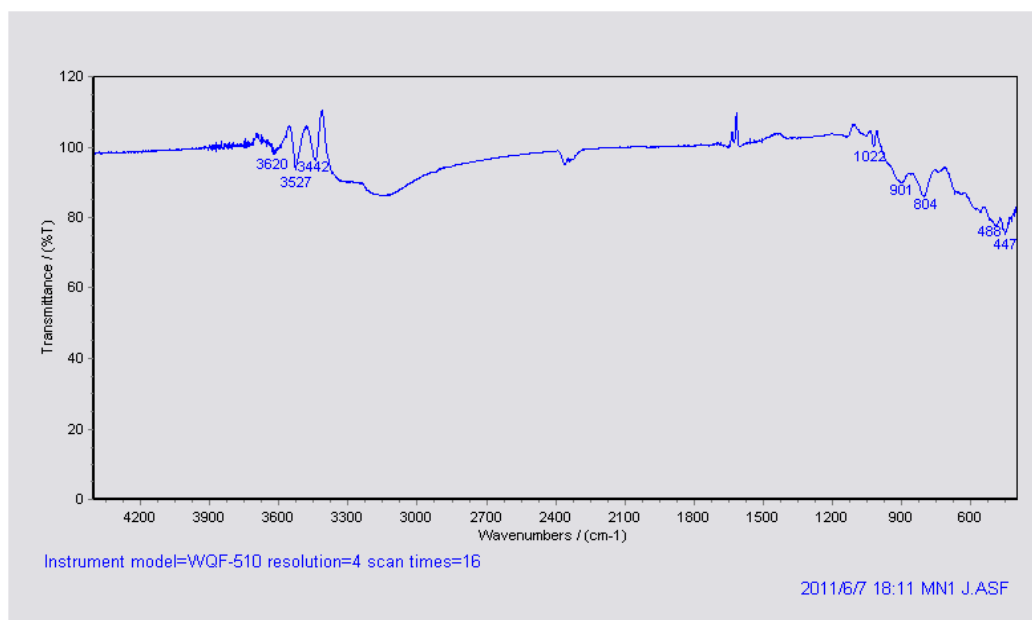
En el presente capítulo se expondrán los principales resultados en la caracterización de los minerales asociados a cortezas ferroniquelíferas en el yacimiento de Punta Gorda. Para esto se realizó un análisis cuantitativo y cualitativo a dichas muestras.

Los resultados se obtuvieron a partir de las interpretaciones sobre la base de datos de Espectroscopia infrarroja y Difracción de rayos-x y la correlación entre ambos métodos.

3.1 Resultados de la Espectroscopia infrarroja (IR).

Fases minerales identificadas en los diagramas espectroscópicos pertenecientes a las muestras tomadas del perfil L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda según los análisis cualitativo y cuantitativo mediante el infrarrojo.

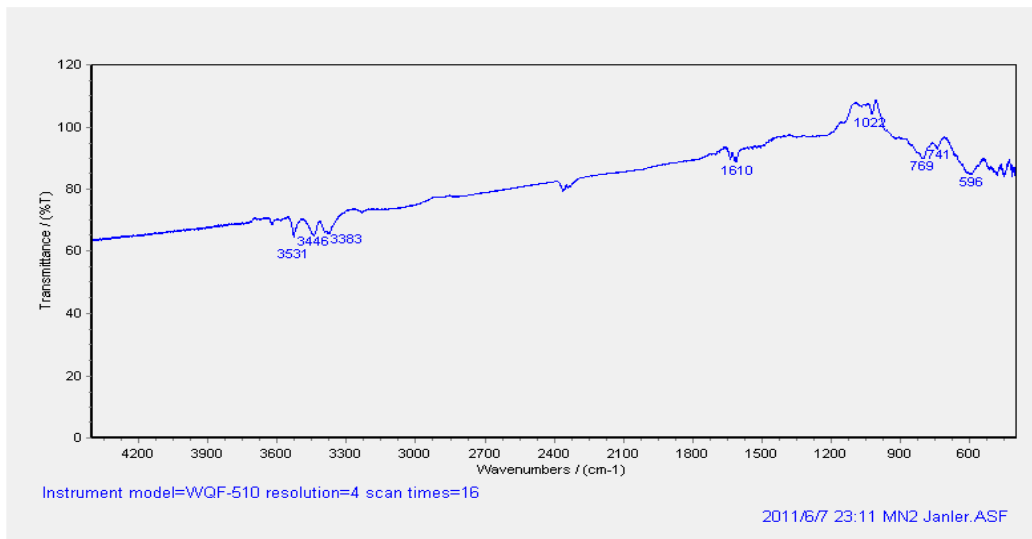
Espectro # 1



En este espectro perteneciente a la muestra MN1, se presentan varias fases minerales principales como la gibbsita, goethita, clorita, lizardita y también aparecen silicatos como la fayalita.

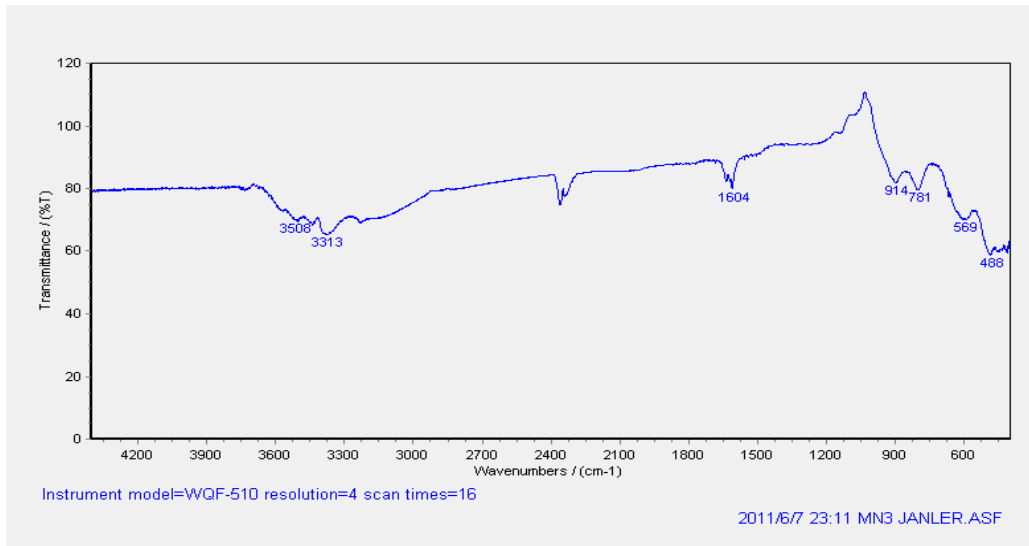
La gibbsita presenta una banda de absorción mayor que los demás con valores de 3620 y 3527 cm^{-1} , luego va disminuyendo el valor de las bandas con la goethita y la clorita con 901 cm^{-1} , también aparecen la fayalita y hematita con 488 cm^{-1} y por ultimo la lizardita con 447 cm^{-1} .

Espectro # 2



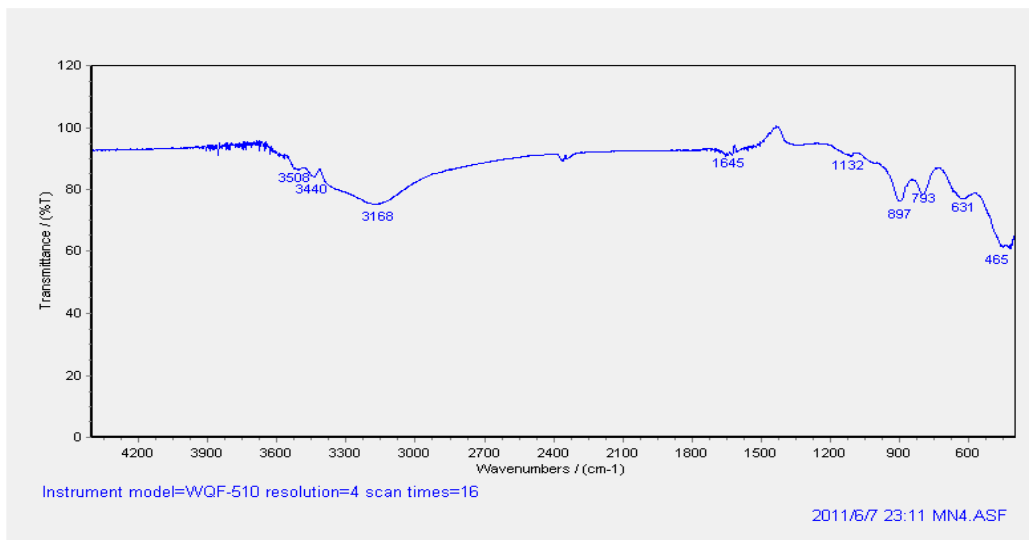
En este espectro perteneciente a la muestra MN2, se presentan varias fases minerales como hematita y aparece también la clorita rica en Fe.

La clorita rica en Fe presenta una banda de absorción de 741 cm^{-1} y la hematita presenta un valor de banda de 596 cm^{-1} .

Espectro # 3

En este espectro perteneciente a la muestra MN3, se presentan varias fases minerales principales como hematita, aparece el silicato fayalita, además de la clorita rica en Al.

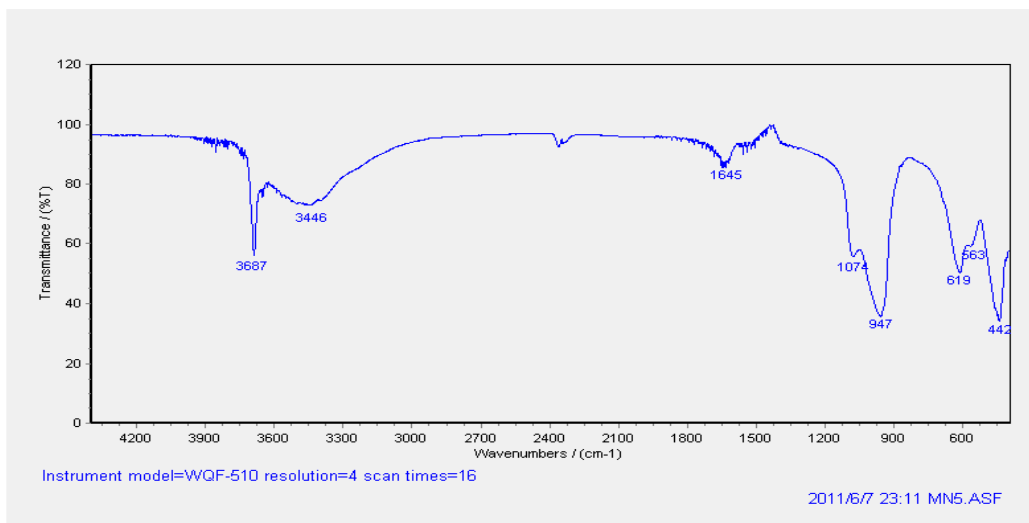
En este espectro aparecen los minerales hematita y clorita rica en Al con la misma banda de absorción con un valor de 569 cm^{-1} y apareció también con el mismo valor de banda la hematita y la fayalita con 488 cm^{-1} .

Espectro # 4

En este espectro perteneciente a la muestra MN4, se presentan varias fases minerales principales como la goethita, hematita, clorita y maghemita.

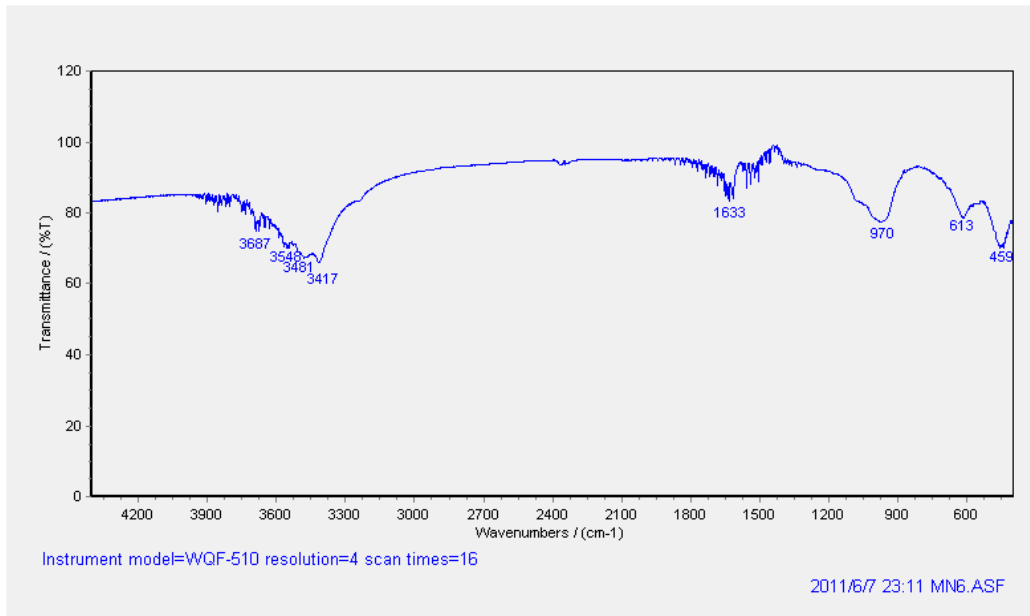
En este espectro presenta a la goethita como el mineral con mayor banda de absorción de 1645 cm^{-1} , luego aparece la goethita junto a la clorita con la misma banda de 897 cm^{-1} , también presenta la maghemita con 631 cm^{-1} y la hematita con un valor de 465 cm^{-1} .

Espectro # 5



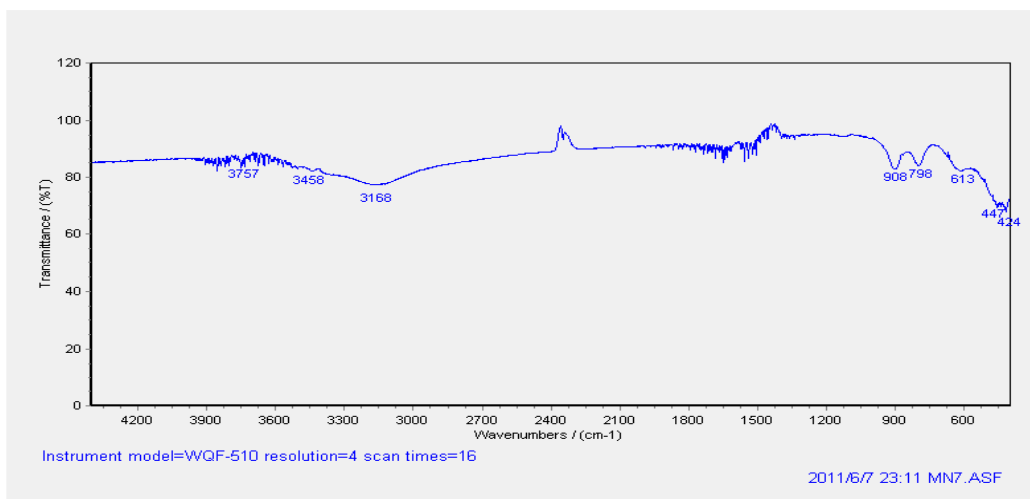
En este espectro perteneciente a la muestra MN5, se presentan varias fases minerales como la forsterita y fayalita, clorita rica en Mg, clorita rica en Al y también aparece lizardita y hematita.

La forsterita y fayalita aparecen con un valor de 947 cm^{-1} , luego la clorita rica en Mg con 619 cm^{-1} , le sigue la hematita y la clorita rica en Al con el mismo valor de 563 cm^{-1} , y por ultimo la lizardita con 442 cm^{-1} .

Espectro # 6

En este espectro perteneciente a la muestra MN6, se presentan varias fases minerales como goethita, clorita, clorita rica en Mg y antigorita.

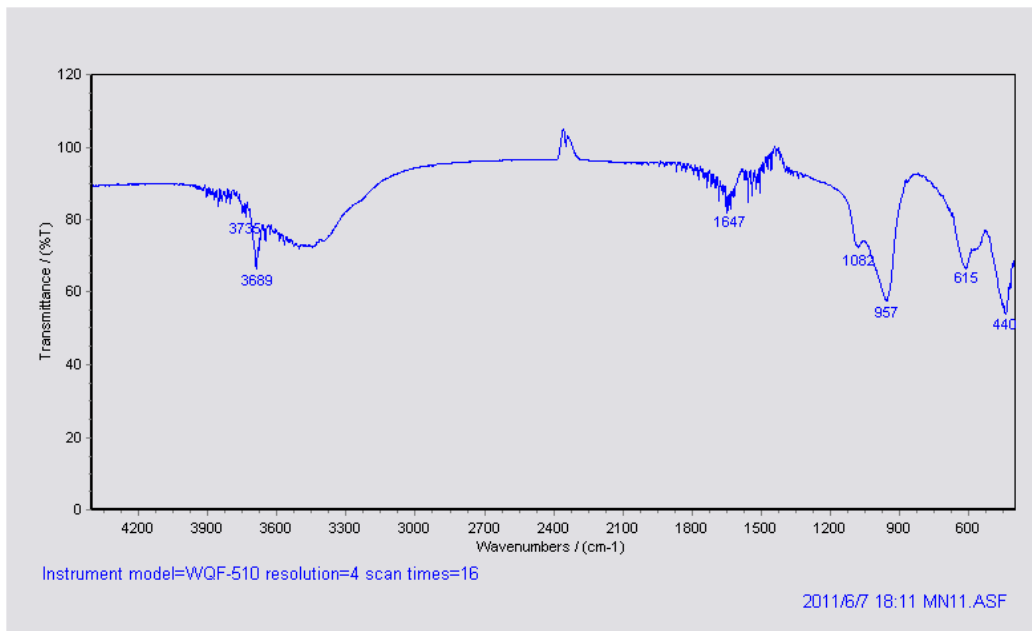
La goethita presenta una banda de absorción de 1635 cm^{-1} , aparece también la clorita rica en Mg con un valor de 613 cm^{-1} y la clorita junto a la antigorita con un mismo valor de 459 cm^{-1} .

Espectro # 7

En este espectro perteneciente a la muestra MN7, aparece nuevamente la goethita, también hay clorita, clorita rica en Mg, hematita y lizardita.

En este caso la goethita y clorita presentan una banda de absorción de 908 cm^{-1} , la goethita con 798 cm^{-1} , apareciendo también la clorita rica en Mg con 613 cm^{-1} , la lizardita con 447 cm^{-1} y la hematita con 424 cm^{-1} .

Espectro # 11



En este espectro perteneciente a la muestra MN11, aparecen como fases minerales la clorita rica en Mg, lizardita y forsterita.

La forsterita aparece con una banda de absorción de 957 cm^{-1} , la clorita rica en Mg con 615 cm^{-1} y la lizardita con 440 cm^{-1} .

Tabla 1: Resultados de las muestras estudiadas por el método de infrarrojo.

No Muestra	λ (cm^{-1})	Transmitancia en (%)	Mineral
1	3620	97.80	Gibbsita
	3527	93.57	Gibbsita
	3442	96.20	
	1022	100.23	
	901	89.84	Goethita y Clorita
	804	86.01	Goethita
	488	77.44	Hematita y Fayalita
	447	75.40	Lizardita
2	3531	64.74	
	3446	65.32	
	3383	65.83	
	1610	88.69	
	1022	89.93	
	769	92.92	
	741	84.97	Clorita rica en Fe
	596	84.31	Hematita
3	3508	69.45	
	3313	68.72	
	1604	65.36	
	914	80.16	
	781	81.69	
	569	79.72	Hematita y Clorita rica en Al
	488	70.27	Hematita y Fayalita
4	3508	86.45	
	3440	84.16	
	3168	75.34	
	1645	90.56	Goethita

	1132	88.49	
	897	76.23	Goethita y Clorita
	793	78.43	
	631	77.05	Maghemita
	465	61.23	Hematita
5	3687	56.19	
	3446	72.90	
	1645	85.36	
	1074	55.83	
	947	35.69	Forsterita y Fayalita
	619	50.55	Clorita rica en Mg
	563	59.26	Hematita y Clorita rica en Al
	442	34.21	lizardita
6	3687	74.79	
	3548	69.97	
	3481	67.39	
	3417	66.23	
	1633	83.93	Goethita
	970	77.58	
	613	78.50	Clorita rica en Mg
	459	70.11	Antigorita y Clorita
7	3757	83.35	
	3458	82.38	
	3168	77.37	
	908	82.86	Goethita y Clorita
	798	84.01	Goethita
	613	82.21	Clorita rica en Mg
	447	69.34	Lizardita
	424	68.22	Hematita

11	3735	80.78	
	3689	66.50	
	1647	81.74	
	1082	72.43	
	957	57.73	Forsterita
	615	66.50	Clorita rica en Mg
	440	53.78	Lizardita

3.2 Resultados de la Difracción de Rayos-X.

En esta tabla se expondrán los resultados de las muestras por el método de Difracción de Rayos-X y el software AUTOQUAN. (Simón Tobías, 2011).

Tabla 2: Resultados obtenidos por el método de rayos-x.

No. Muestra	Mineral	% en la muestra
MN 1	Goethite	81.8
	Gibbsite	11.7
	Maghemite	0.93
	Hematite	5.56
MN 2	Goethite	58
	Gibbsite	27.3
	Hematite	13.17
	Maghemite	1.59
MN 3	Goethite	76.8
	Gibbsite	14.3
	Lithiophorite	5.68
	Hematite	3.25
MN 4	Goethite	99.27
	Magnesiocromite	0.73
MN 5	Goethite	49.9
	Lizardite (1T)	26.2
	Chlorite (IIb-2)	14.1
	Fayalite	5.05
	Forsterite (Fe)	4.8

MN 6	Lizardite (1T)	52.4
	Chlorite (IIb-2)	33.9
	Magnetite	7.1
	Forsterite (Fe)	6.6
MN 11	Goethite	35.3
	Chlorite (IIb-2)	24.7
	Lizardite (1T)	15
	Forsterite (Fe)	12.1
	Magnetite	5.07
	Maghemite	4.48
	Fayalite	3.3

En las muestras MN 1, 2, 3, presenta a la goethite como el mineral con mayor por cientos en dichas muestras, seguido por la gibbsite, luego otros minerales como maghemite, hematite y la lithiophorite con por cientos muy bajos.

En la muestra MN 4 se puede decir que es netamente óxido de hierro presentando el por ciento muy alto de 99.27, apareciendo también con un por ciento muy bajito a la megnesiochromita.

En la muestra MN 5, también la goethita es el principal mineral con un 49.9 %, seguido por lizardite y chlorite, apareciendo también los silicatos fayalite y forsterite con por cientos bajos.

En la muestra MN 6, presente como mineral principal la lizardite con 52.4%, seguido por la chlorite, la magnetite y la forsterita.

La muestra MN 11, presenta nuevamente como mineral principal a la goethite y los otros minerales como la chlorite, lizardite, los silicatos, la magnetite y la maghemite.

3.3 Interpretación de los resultados.

A partir de los resultados de análisis de infrarroja y difracción de rayos-x se puede establecer que los dos perfiles L-48 y M-47 estudiados están caracterizados mineralógicamente por goethita, gibbsite, maghemita y hematita

en zonas lateríticas y los minerales ferromagnesianos (lizardita, fayalita, forsterita y clorita) en zonas silicatadas.

Los minerales presentes en la zona laterítica antes expuestos pertenecen a las muestras 1, 2, 3 y 4, compuestas principalmente por la goethita, apareciendo otras muestras 5, 6 y 11 con minerales propios de zonas silicatadas como son lizardita, fayalita, forsterita, magnetita y la clorita. También se nota la aparición de tres tipos de cloritas, es decir, la clorita rica en Mg con unos valores de bandas de absorción de 613 a 619, la clorita rica en Fe con un valor de 741 y la clorita rica en Al con valores de 563 a 569, apareciendo en gran parte del perfil, es de resaltar que la clorita rica en Mg es la más abundante.

También podemos decir que los minerales que se encuentran en los perfiles son los diferentes óxidos e hidróxidos de Fe y Al, se pudo llegar a esta conclusión porque, ésta nos muestra a la goethita como el mineral principal en estos perfiles al poseer más de un 80%, seguido por la gibbsita con valores oscilantes entre 27.3 – 2.2%.

Conclusiones

Podemos concluir que:

1. La determinación por difracción de rayos-x de los minerales presentes en las muestras lateríticas pudo ser confirmada mediante la espectroscopia infrarroja, permitiendo iniciar la confección de un catalogo de espectros IR para estos tipos de minerales.
2. El análisis realizado mostró que los minerales principales en los perfiles L-48 y M-47 son la goethita y la gibbsita al presentar altos por cientos, por lo cual podemos decir que los minerales que se encuentran en los perfiles son los diferentes óxidos e hidróxidos de Fe y Al.
3. Los espectros IR confirman la presencia de los principales minerales como son los óxidos de Fe: la goethita, y hematita, hidróxido de Al, gibbsita y los silicatos del grupo de la serpentina y cloritas.
4. A partir de los resultados de análisis infrarrojo y difracción de rayos-x se puede establecer que los dos perfiles L-48 y M-47 estudiados están caracterizados mineralógicamente por goethita, gibbsita, maghemita y hematita en zonas lateríticas y los minerales ferromagnesianos (lizardita, fayalita, forsterita y clorita) en zonas silicatadas.

Recomendaciones

Se recomienda que:

1. Continuar trabajos relacionados con la caracterización de minerales y rocas mediante la Espectroscopía Infrarroja, aprovechando que se dispone de esta técnica en el ISMM.
2. Que se prepare un especialista en la materia, para que pueda enseñar a alumnos y profesores en la utilización de estos equipos, de tal manera que podamos cuidar lo que con gran sacrificio nuestro instituto pone en nuestras manos y así podemos también aumentar o enriquecer nuestra cultura profesional como geólogo.
3. Diseñar línea de trabajo para la confección de una monografía en Espectroscopía Infrarroja, para el estudio de los minerales presentes en los yacimientos cubanos.

Bibliografías Consultadas

1. Agyei, G; Rojas-Purón, A; Hernández-Flores, A: Distribución fraccional de metales y minerales en la laterita de balance del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. Minería y Geología, [en línea]. v. 26, n. 4, Octubre – Diciembre, p.36-52. 2010. Disponible en <http://10.28.1.1>.
2. Almaguer A, Zamarsky V: Estudio de la distribución del Fe, Ni y Co en los tamaños de granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultrabásicas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralogía. Revista Minería y Geología No. 2/93. 17-23.10.1993.
3. Almaguer-Carmenates, Y: Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo serpentinitico de Moa. 2001.
4. Arderil-García.A; García, M.I: Control de la dilución en el yacimiento Punta Gorda. Memorias GEOMIN 2003, 24-28/Marzo. ISBN 959-7117-11-8, La Habana
5. Bassas-Noa, P.R; Determinación de la distribución del níquel en las macrofases del mineral laterítico. Trabajo de Diploma. Departamento de Geología.1990.
6. Batista, J.A: Caracterización Geológica de cortezas lateríticas a partir de datos aerogamma espectrométricos y aeromagnéticos. Revista Minería y Geología. No 3-4. 2003. P 87-87.
7. Belete-Fuentes, O: Vías para el perfeccionamiento del cálculo de volumen de minerales extraído en los yacimientos lateríticos cubanos. Ediciones Universitarias Moa. 2002.
8. Bientz-Perdomo, A.E; Estudio preliminar de las fases minerales portadoras de níquel en el horizonte serpentinitico del yacimiento Moa. Trabajo de Diploma. Departamento de Geología.1990.
9. Bishop, J.L; Pieters, C.M and Edwards, J.O: Infrared Spectroscopy analysis on the nature of water in montmorillonite. Clay and clay minerals .vol 42. No 6. 702-716.1994.
10. Cuencas, L.R. 2007. Presencia de óxidos de manganeso en el perfil laterítico del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín, Cuba. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa. Trabajo de diploma.
11. Cuenca-Reyes, L: Presencia de óxido de manganeso en el perfil laterítico del yacimiento Punta Gorda, Moa, 2009.

12. Espectrofotometría de infrarrojo en identificaciones de compuestos orgánicos. Wikipedia, La enciclopedia libre. [en línea]. [consultado 2010.12.19].
13. Espectroscopia infrarroja. Wikipedia, La enciclopedia libre. [en línea]. [consultado 2010.12.19].
14. 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.
15. Hayashi, H, Oinuma, K: Relationship between infrared absorption spectra in the region of 450-900 cm⁻¹ and chemical composition of chlorite. The American Mineralogist, Vol 50, March-April, 1965.
16. Hurlbut C.S.; Klein C.: Manual de Mineralogía de Dana. Edición revolucionaria. 564p. 1976.
17. Iturralde-Vinet, M. A. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution. No 1. 1996. pp. 83-120.
18. Klopogge, J.T, Raun, H.D and Forest, R.L: Thermal decomposition of bauxite mineral: Infrared emission spectroscopy of Gibbsite, Boehmite and Diaspore.
19. Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction. U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041 [on line] <http://pubs.usgs.gov/openfile/of01-041/index.htm> [consulted: 20 Oct. 2009].
20. Lavaut Copa, W: Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental. . Revista Minería y Geología. Vol. [en línea] 15. p 9-16. 1998. Disponible en <http://10.28.1.1>.
21. Lewis, J.F; Draper, G; Proenza, J.A; Espailat, J and Jimenes, J: Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinites) in the Caribbean Region: A Review of their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement and Ni-Laterite Soil Formation. Geologica Acta, Vol.4, N°1-2, 2006, 237-263.
22. Martínez-Santos, Y: Evaluación Geológica de la limonita de balance en el cuerpo mineral LD2 del yacimiento La Delta, 2009, Trabajo de Diploma.
23. Muñoz-Gómez, J.N: Geología y Minería de yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co. Departamento de Geología – ISMMM.
24. Muñoz-Gómez, J.N; Rodríguez-Infante, A; Vera-Sardiñas, L.O; Martínez-Vargas, A: Modelo genético teórico de los yacimientos lateríticos

asociados al macizo ofiolítico de Moa-Baracoa: Implicaciones de la exploración de explotación. Departamento de Geología-ISMMM.2009.

25. Njila, T. & Días-Martínez, R. 2009. Desarrollo actual de los estudios de diferentes cortezas de meteorización y mineralización asociada a la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa. VIII Congreso Cubano de Geología. La Habana, Cuba, 16-20 marzo. (Resúmenes), 72.
26. Pérez, S; Ponce Seoane: Particularidades geológicas y estructura de la corteza de intemperismo níquelífera del yacimiento Camarioca. Serie Geológica. No 4. 1984. Pág. 121-142.
27. Rodríguez-Infante, A: Características geólogo-geomorfológicas del yacimiento Punta Gorda, Moa. Revista Minería y Geología. No 1. 1983.
28. Rodríguez-Pacheco, R.L: Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba): influencia del comportamiento hidromecánico. Tesis doctoral. 2002.
29. Rojas- Purón, A: Principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa. Tesis doctoral en ciencias geológicas. Moa 1994.
30. 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.

Anexos

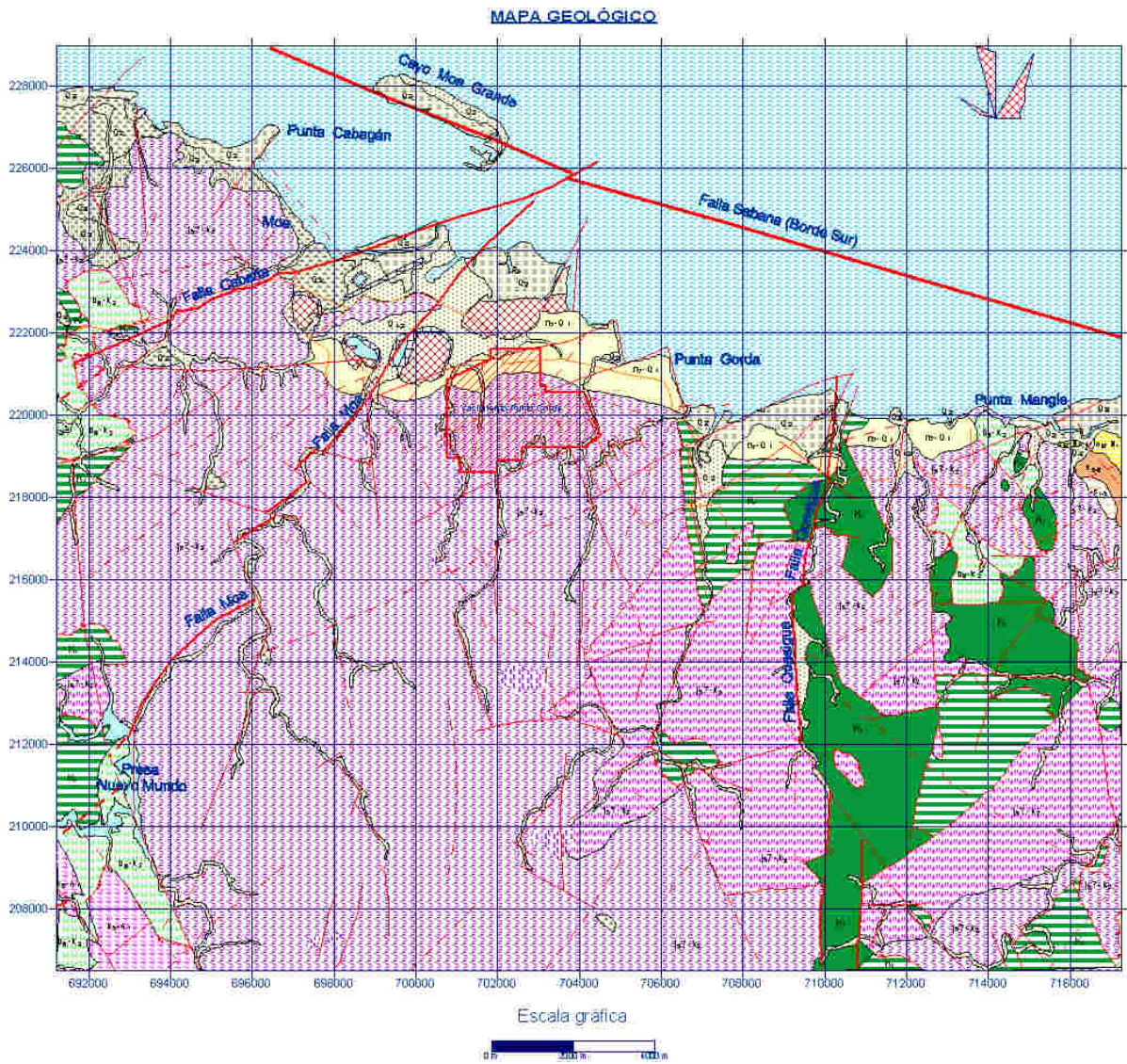


Figura 3. Mapa geológico local del yacimiento Punta Gorda.

LEYENDA

GEOLÓGICO

Litológico-formacionales.

	Depósitos aluviales y marinos de playas.
	Depósitos palustres.
	Depósitos deluviales proluviales.
	Depósitos deluviales.
	Depósitos sedimentarios fluvio-marinos (Fm. Punta Gorda).
	Formación Yateras, constituida por calizas organodetríticas con intercalaciones de margas.
	Formación Sierra de Capiro, compuesta por areniscas, limolitas, margas y conglomerados.
	Formación Sabaneta, constituida por rocas vulcanógenas sedimentarias zeolitizadas o montmorillonizadas.
	Formación La Picota, constituida por conglomerados polimicticos y conglomerado-brechas mal seleccionado.
	Formación Santo Domingo, constituida por tobias, lavabrechas y aglomerados.
	Serie de grabros isotrópicos del Complejo Cumulativo de la Asociación Ofolítica.
	Serie de grabros bandeados, Complejo cumulativo de la Asociación Ofolítica.
	Harzburgitas serpentinizadas y dunitas subordinadas.
	Dunitas algo-serpentinizadas.

Tectónicos.

	Fallas verticales o subverticales.
	Cabalgamientos o mantos tectónicos.
	Dirección general de la fracturación para toda el área.

HIDROGEOLÓGICO

Litofacial

	Carbonatado.
	Intrusivos básicos.
	Ultrabásico serpentinizado (metamórfico).
	Vulcanógeno.
	Carbonatado clástico.
	Terri geno.
	Humedal.

Otros

	Acuíferos locales en rocas fisuradas.
	Contorno de superficie potenciométrica (Hidroshipsas).

LATERITAS

Litofacial

	Secuencias del Plioceno-Cuaternario.
	Corteza de intemperismo potente.
	Corteza de intemperismo de potencia variable.
	Corteza de intemperismo redepositada de potencia variable.
	Rocas del basamento.

Otros símbolos.

	Ríos principales y afluentes.
	Rellenos.
	Colas (residuos del proceso metalúrgico).
	Océano.
	Embalses y/o lagunas.
	Límite de la concesión minera del yacimiento punta Gorda.
	Asentamientos poblacionales principales.
	Dirección del norte geográfico.

En estas tablas están los valores de las bandas de absorción (cm^{-1}) de las muestras patrones de los minerales obtenidos en el presente trabajo.

Tabla # 3: Bandas de absorción de la goethita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Goethita	1043
	1056
	1625
	1639
	902
	800

Tabla # 4: Bandas de absorción de la gibbsita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Gibbsita	3617
	3524
	3436
	3365
	3522
	3433
	3364

Tabla # 5: Bandas de absorción de la hematita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Hematita	600
	570
	550
	480
	475
	468
	427
	406
	268

Tabla # 6: Bandas de absorción de la fayalita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Fayalita	947
	873
	829
	558
	482
	410

Tabla # 7: Bandas de absorción de la forsterita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Forsterita	983
	950
	888
	838
	605
	504
	410

Tabla # 8: Bandas de absorción de la maghemita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Maghemita	694
	640

Tabla # 9: Bandas de absorción de la magnetita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Magnetita	670
	575

Tabla # 10: Bandas de absorción de la clorita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Clorita	900
	450
	400

Tabla # 11: Bandas de absorción de la clorita rica en Mg.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Clorita rica en Mg	695
	620

Tabla # 12: Bandas de absorción de la clorita rica en Al.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Clorita rica en Al	560
	540

Tabla # 13: Bandas de absorción de la clorita rica en Fe.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Clorita rica en Fe	745
	744

Tabla # 14: Bandas de absorción de la lizardita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Lizardita	440

Tabla # 15: Bandas de absorción de la antigorita.

Mineral	Bandas (cm^{-1})
Antigorita	455

