



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE MOA  
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”  
FACULTAD DE GEOLOGÍA- MINERÍA**

**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo**

**Comportamiento geoquímico de los elementos  
menores y de tierras raras en perfiles lateríticos  
del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín.**

**Autora: Dayana Leyva Hernández**

**Tutor: Dr.C Arturo Rojas Purón**

*Moa, 2019.*

*Año 61 del Triunfo de la Revolución*



## **Agradecimientos**

- ✚ Le agradezco primeramente a Dios por darme la sabiduría y la fuerza para ejercer mi carrera y hacer posible la realización de mi presente tesis de grado.
- ✚ Le agradezco a mi madre Doralis y a mi padre Ubel por siempre estar presente en mi vida y apoyarme en todo al máximo para que mis perspectivas como profesional se hiciera realidad; y a mi hermanito Pichi por mi motivo de seguir adelante.
- ✚ Le agradezco a mi esposo Arlahys por apoyarme en todo y por creer en mi sobre todas las cosas.
- ✚ Le agradezco muchísimo a mi querido tutor Dr.C Luis Arturo Rojas Purón por dedicar su preciado tiempo en ayudarme, apoyarme y realizar mi investigación con la calidad que se requiere y en el tiempo preciso.
- ✚ A mis compañeros de aula en especial a Leysa que nos ayudamos mutuamente en los 5 años de la carrera y a Francisco por ayudarme en los últimos momentos de mi tesis.
- ✚ Al colectivo de profesores por brindarme todo el conocimiento y formarme como ingeniera en tal valiosa ciencia como es la “Geología”.

## **Dedicatoria**

Dedico mi tesis a mi hermanito para que escale por la escabrosa cima de la ciencia; a mi madre, a mi padre y a mi esposo por ser tan importantes y especiales en mi vida.

"Gracias"

## **Pensamiento**

*“[...] No se concibe en el mundo de hoy, cualquiera que sea el sistema social, un progreso sin la ciencia, un avance sin la ciencia”.*

*Fidel Castro Ruz*



*“El aspecto fundamental en el cual la juventud debe señalar el camino es precisamente en el aspecto de ser vanguardia en cada uno de los trabajos que le compete.”*

*Ernesto Guevara de la Serna*



**Índice**

Agradecimientos .....	I
Dedicatoria.....	II
Pensamiento.....	III
Índice .....	IV
Resumen.....	VI
Abstract .....	VII
Introducción. ....	1
Capítulo # 1: Características geográficas y geológicas de la región de estudio.....	6
1.1 Introducción.....	7
1.2 Ubicación geográfica .....	7
1.2.1 Red fluvial .....	8
1.2.2 Aspectos climatológicos.....	8
1.2.3 Vegetación .....	9
1.2.4 Relieve.....	9
1.2.5 Principales rasgos económicos de la región .....	10
1.3. Características geológicas de la región.....	10
1.4 Características geológicas del área de estudio.....	17
1.4.1 Tectónica del yacimiento .....	21
1.4.3 Condiciones hidrogeológicas. ....	21
1.5 Procesos geodinámicos .....	22
1.6 Tierras Raras .....	26
1.6.1 Aplicación práctica de las tierras raras.....	28
Conclusiones .....	28
Capítulo # 2. Materiales y métodos de investigación .....	29
2.1 Introducción. ....	30
2.2 Metodología de trabajo.....	30
2.3 Definición de la zona de estudio en el yacimiento Punta Gorda. ....	30
2.4 Materiales.....	33
2.5 Métodos de Investigación. ....	35
2.5.1 Generalidades del método de Difracción de rayos – X (DRX). ....	36
2.5.3 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) .....	39
2.6. Análisis de Correlación.....	42
Capítulo # 3. Resultados y discusión. ....	43
3.1 Introducción.....	44
3.2 Características químicas de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda. ....	44
3.3 Características mineralógicas de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda. ....	48

3.4 Identificar los horizontes de mayor concentración de elementos minoritarios en el yacimiento Punta Gorda. ....	62
3.5 Establecer correlaciones entre los elementos mayoritarios (Fe, Al, Si y Mg), minoritarios relevantes (Ni, Co y Mn) y minoritarios como metales críticos: ETR, EGP y el Sc, V, existentes en perfiles del yacimiento Punta Gorda. ....	76
Conclusiones .....	85
Recomendaciones .....	86
Bibliografía .....	87
Anexos.....	1

**Resumen**

El actual trabajo presenta los resultados obtenidos del Comportamiento geoquímico de los elementos menores y de tierras raras en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín. El objetivo general de nuestra investigación es valorar el comportamiento geoquímico de los elementos minoritarios y de tierras raras asociados al Ni y Co en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda para determinar la correlación que existe entre ellos y los horizontes de mayor concentración; mediante técnicas de Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Químicamente se caracterizan los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda L-48 y M-47, ambos con elevados contenidos de hierro y aluminio de tipo óxido en las zonas lateríticas y altas concentraciones de sílice y magnesio de tipo óxido en la zona silicatada. Mineralógicamente la fase mineral principal en ambos perfiles es la goethita, y de forma secundaria la gibssita, la hematita, maghemita, magnetita, lizardita, magnesita y forsterita; además la lithioforita es el principal mineral portador de manganeso, con altos contenidos en la muestra Mn3. En la zona laterítica de estos perfiles el horizonte de mayor concentración de elementos menores (Sc, V, Ni, Co, Mn, Zn y Cr) y elementos trazas (REE y EGP) es el horizonte de ocre medio (OM), asociado a altos contenidos de Mn. En tanto en la zona silicatada, estos elementos se concentran en el horizonte de serpentina alterada (SA) para el perfil L-48 y en la serpentina inalterada (S) para el perfil M-47. Se detectó en estos perfiles lateríticos (L-48 y M-47) que el Sc mantiene una perfecta correlación positiva con los ETR, Ru y Rh, tanto en la zona laterítica como silicatada; similar comportamiento se observó entre el V y los EGP como el Os, Ir, Pt y Pd, en la zona silicatada.

**Abstract**

The present work presents the results obtained from the geochemical behavior of the minor and rare earth elements in lateritic profiles of the Punta Gorda, Moa, Holguín deposit. The general objective of our research is to evaluate the geochemical behavior of the minority and rare earth elements associated with Ni and Co in the lateritic profiles of the Punta Gorda deposit to determine the correlation that exists between them and the horizons of greater concentration; by X-ray Diffraction (XRD) and Electronic Scanning Myoscopy (SEM) techniques. The lateritic profiles of the Punta Gorda deposit L-48 and M-47 are chemically characterized, both with high contents of iron and aluminum of oxide type in the lateritic zones and high concentrations of silica and magnesium of oxide type in the silicate zone. Mineralogically, the main mineral phase in both profiles is goethite, and secondarily gibbsite, hematite, maghemite, magnetite, lizardite, magnesite and forsterite; In addition, lithium formate is the main mineral containing manganese, with high contents in the Mn3 sample. In the lateritic zone of these profiles, the horizon with the highest concentration of minor elements (Sc, V, Ni, Co, Mn, Zn and Cr) and trace elements (REE and EGP) is the middle ocher horizon (OM), associated with high contents of Mn. In the silicate zone, these elements are concentrated in the altered serpentine horizon (SA) for the L-48 profile and in the unaltered serpentine (S) for the M47 profile. It was detected in these lateritic profiles (L-48 and M-47) that the Sc maintains a perfect positive correlation with the ETR, Ru and Rh, both in the lateritic and silicate zones; Similar behavior was observed between V and EGP as Os, Ir, Pt and Pd, in the silicate zone.



**Introducción.**

Los yacimientos lateríticos de Ni-Co producen actualmente alrededor del 40% del Ni mundial y contienen aproximadamente el 70% de las reservas (Gleeson, *et al.*, 2003; Freyssinet, *et al.*, 2005; Mudd, 2010; Marsh & Anderson, 2011). Asimismo, las lateritas representan una fuente de obtención de Co de importancia mundial (Llorca, 1993), con leyes que alcanzan hasta 0,84 % CoO (Lambiv Dzemua, *et al.*, 2013).

Los elementos de tierras raras se concentran en el horizonte limonítico de los depósitos lateríticos de Ni y pueden constituir un subproducto del proceso metalúrgico de extracción de Ni-Co. De hecho, actualmente los depósitos de bauxitas y de lateritas niquelíferas son considerados los recursos más prometedores para la producción de Sc (Wang, *et al.*, 2011). Por ejemplo, en los perfiles lateríticos del Caribe, el horizonte limonítico está sistemáticamente enriquecido en REE (REE en inglés, ETR en español) con respecto al substrato peridotítico y al horizonte saprolítico, donde alcanza valores máximos de hasta 375 ppm en los depósitos de República Dominicana, asociados a niveles arcillosos (Aiglsperger, *et al.*, 2015b). Es evidente que los contenidos de REE en las lateritas niquelíferas son muy bajos si se comparan con los depósitos convencionales de REE (Chakhmouradian & Wall, 2012). Sin embargo, los depósitos lateríticos de Ni-Co pueden ser considerados económicos dado que son relativamente fáciles de explotar (minería a cielo abierto), y de procesar desde un punto de vista metalúrgico (Simandl, 2014). Además, en estos depósitos las menas tienen la ventaja de que los contenidos en elementos radioactivos son muy bajos.

Las lateritas desarrolladas sobre rocas ultramáficas pueden estar enriquecidas en EGP y actualmente constituyen un objetivo de exploración (Aiglsperger, *et al.*, 2015a, 2015b). Por ejemplo, las lateritas de Nueva Caledonia (zona de Pirogues) contienen valores de Pt hasta 2 ppm (Augé, *et al.*, 1994). Por otra parte,

Eliopoulos y Economou-Eliopoulos (2000) encuentran un enriquecimiento en Pt y Pd en las lateritas de Grecia. El Pt alcanza valores de hasta 86 ppb (roca madre < 31 ppb), y el Pd, de hasta 186 ppb (roca madre < 1 ppb). Estos autores concluyen que los valores más bajos de EGP se encuentran en la zona de saprolita y los más altos en la limonítica.

La Unión Europea actualizó recientemente la lista de materias primas consideradas críticas para su industria sobre la base de su alta importancia económica y su relativo riesgo de oferta. Esta lista ahora define 26 materias primas críticas que incluyen entre otros, elementos de tierras raras (REE), escandio, vanadio y cobalto. Los recursos primarios de estos metales críticos, depósitos lateríticos, son particularmente dirigidos. Investigaciones recientes han demostrado que estos últimos elementos pueden acumularse durante la intemperie, como consecuencia de residuos y secundarios. Estos entornos también se caracterizan por concentraciones significativas de metales de transición (por ejemplo, Mn, Cr, Ni), que no están definidos como críticos hasta la fecha, pero son de importancia económica primaria (Ulrich, *et.al.* 2019).

El yacimiento Punta Gorda es uno de los principales depósitos lateríticos del nordeste oriental cubano, formado a partir de rocas básicas y ultrabásicas pertenecientes al macizo ofiolítico Moa-Baracoa, (Iturralde Vinet, 1996; Proenza y otros, 1998, Lavaut, 1998). En él han sido detectados contenidos apreciables de manganeso y cobalto (Vera, 2001) que conducen a la necesidad de conocer el comportamiento geoquímico de los elementos menores y de tierras raras en perfiles lateríticos, lo cual exige un estudio minucioso para comprobar si existen correlaciones entre estos elementos de interés.

Las lateritas de Ni se consideran objetivos dignos para la exploración de metales críticos (CM en inglés, MC en español) como Tierras Raras (REE en inglés, ETR en español), Sc y los grupos de platino (PGE en inglés, EGP en español) que pueden concentrarse durante la intemperie como resultado de la residencia secundaria y enriquecimiento. En este contexto, se presentan datos geoquímicos

y mineralógicos de CM de dos tipos diferentes de lateritas de níquel: tipos (i) del área minera de la Bahía de Moa en Cuba (tipo óxido) y (ii) del área minera de Falcondo en la República Dominicana (tipo de silicato de Mg hidratado), (Aiglsperger, *et al.* 2016).

Rojas (2005), Galí *et al.* (2006), Labrador (2006) y Cuenca (2009) han realizados estudios para determinar la presencia de óxidos de Mn en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, Moa, donde reportaron que las fases de óxidos de Mn que existen en el material laterítico aparecen en forma de fases de lithioforita y asbolana, en los cuales se hace alusión de la presencia de elementos minoritarios (EGP, ETR, Sc y V entre otros) que puede llegar a ser significativa en estos perfiles lateríticos enriquecidos en óxidos de Mn .

Numerosas investigaciones se han realizado sobre la presencia de los elementos mayoritarios y minoritarios y sus aspectos mineralógicos (Proenza, 2015; Aiglsperger, *et al.*, 2016; Chassé, *et al.*, 2016; Maulana, *et al.*, 2016; Muñoz, *et al.*, 2018) pero no han valorado las posibles relaciones que pueden existir entre los elementos minoritarios y elementos trazas en estos perfiles lateríticos; es por eso que esta investigación tiene la necesidad de valorar el comportamiento geoquímico de los elementos menores y de tierras raras en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda para definir correlaciones entre estos elementos, a partir de los resultados obtenidos mediante la Microscopía Electrónica de Barrido y Difracción de Rayos X, en el horizonte limonítico de los depósitos lateríticos de Ni en la región de Moa.

Para el yacimiento Punta Gorda, Moa, uno de los depósitos lateríticos cubanos más conocidos, el presente trabajo trata de aportar conocimiento sobre los horizontes de concentración, las correlaciones existentes y los posibles minerales portadores de estos elementos minoritarios y trazas.

**Problema científico:**

La necesidad de valorar, bajo el punto de vista geoquímico el comportamiento entre los elementos mayoritarios (Fe, Al, Si, Mg), los elementos minoritarios (Ni, Co, Mn) y los elementos trazas (Tierras raras y elementos del Grupo del Platino - EGP) y los aspectos mineralógicos presentes en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, donde se podrán determinar los horizontes de mayor concentración y las posibles correlaciones entre ellos.

**Objeto de la investigación:**

Los elementos mayoritarios (Fe, Al, Si, Mg), los elementos minoritarios (Ni, Co, Mn) y los elementos trazas (Tierras raras y elementos del Grupo del Platino - EGP) presentes en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

**Campo de acción:**

Características geoquímicas de los elementos mayoritarios (Fe, Al, Si, Mg), los elementos minoritarios (Ni, Co, Mn) y los elementos trazas (Tierras raras y elementos del Grupo del Platino - EGP) en el yacimiento Punta Gorda.

**Objetivo general**

Valorar el comportamiento geoquímico de los elementos minoritarios y de tierras raras asociados al Ni y Co en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda para determinar la correlación que existe entre ellos y los horizontes de mayor concentración.

**Objetivos específicos**

1. Características geológicas regionales y local del yacimiento Punta Gorda.
2. Caracterizar químicamente los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.
3. Caracterizar mineralógicamente los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

4. Identificar los horizontes de mayor concentración de elementos minoritarios en el yacimiento Punta Gorda, Moa, Holguín.
5. Establecer correlaciones entre los elementos mayoritarios (Fe, Al, Si y Mg), minoritarios relevantes (Ni, Co y Mn) y minoritarios como metales críticos: ETR, EGP y el Sc, V, existentes en perfiles del yacimiento Punta Gorda.

### **Hipótesis**

Si se valoran materiales prospectivos en elementos menores y de tierras raras presentes en perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, así como sus aspectos mineralógicos y las correlaciones entre ellos, se podrá conocer el comportamiento geoquímico de los estos elementos asociados al Ni y Co.

## **Capítulo # 1: Características geográficas y geológicas de la región de estudio.**

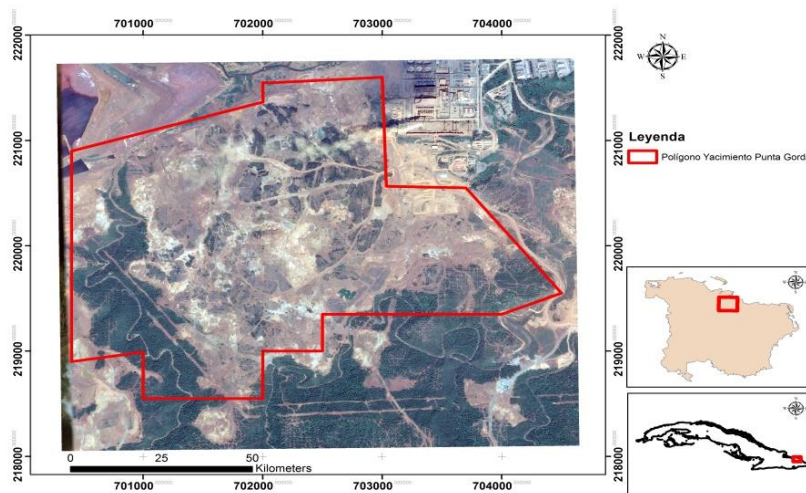
## Capítulo # 1: Características geográficas y geológicas de la región de estudio.

### 1.1 Introducción

Los yacimientos minerales de menas residuales de níquel desarrollados sobre litologías ultramáficas 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.

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



**Figura 1.1.** Fotografía del mapa de ubicación geográfica del yacimiento Punta Gorda.

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)

### **1.2.1 Red fluvial**

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, que desembocan por las arterias principales en el Océano Atlántico, que forman deltas cubiertos de sedimentos palustres y vegetación típica de manglar. La mayor parte del yacimiento está ocupada por la zona de divisorias entre el río Yagrumaje y el arroyo La Vaca, en la que presenta 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.

### **1.2.2 Aspectos climatológicos**

El clima: Es tropical con abundantes precipitaciones, y están 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°C 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°C 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°C – 30.5°C, donde los meses más calurosos son los de julio, agosto y septiembre y los más fríos enero y febrero; el promedio de precipitaciones anuales entre 1231-5212 mm, donde los meses más lluviosos son noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto; la evaporación media anual oscila entre 1880-7134 mm.

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

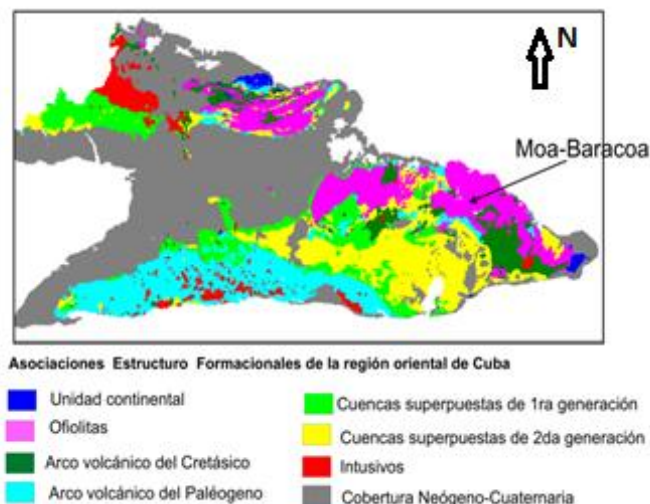
### **1.2.4 Relieve**

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 sobrecorrimento, 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. Esta producción constituye el segundo rubro exportable del país. Además de estas industrias existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y la minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel—Comandante Gustavo Machín Goetdebeche, Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), así como otros centros industriales de menor tamaño, vinculados a la actividad económica del territorio. La agricultura no tiene un peso fundamental dentro de la vida económica de la región. En la actualidad se realizan esfuerzos para su desarrollo. También la ganadería se encuentra incipientemente desarrollada. En la zona se encuentran los yacimientos de cromo Merceditas, Amores y Los Naranjos, pero no están en producción. También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geominera Oriente, la Presa Nueva Mundo, el Tejar de Centeno, el combinado lácteo y otros.

### 1.3. Características geológicas de la región



**Figura1.2.** Fotografía del mapa geológico de la región de estudio (Simón, 2011).

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 “neoaútóctono” (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, en la que predominan 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 “Neoaútóctono” (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 “Neoaútóctono” desde el Oligoceno al Reciente (Iturralde, 1999<sup>a</sup>, 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 peridotitas con texturas de tectónitas, “acumulados ultramáficos”, acumulados máficos, diques de diabasas y secuencias efusivas-sedimentarias. Estas ofiolitas se disponen en forma de escamas tectónicas, donde cabalgan 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).

- **Macizo ofiolítico Mayarí-Cristal**

El complejo ofiolítico Mayarí-Cristal se ubica en la parte occidental de la faja ofiolíticas Mayarí-Baracoa, ocupa un área aproximada de 1200 km<sup>2</sup> 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 Km<sup>2</sup> (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 tremo líticos, actino líticos, diques de pegmatitas y granitoides masivos.

Las metamórficas de La Corea, afloran hacia el extremo sureste de la región de estudio, y que están 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 Melange está constituido por bloques totalmente alóctono y exótico enclavado 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 peridotitas 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 peridotitas serpentinizadas) forman

una zona compleja de “Melange” (Proenza et al. 1999).

En Mayarí-Cristal también están presentes diques de piroxenitas, los cuales cortan las peridotitas 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 garbeos 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 y afinidad ofiolítica, se ubica en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupa un área de 1500 km<sup>2</sup> (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 del 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 Mayarí-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 Mayarí-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 andesita-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).



#### **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 serpentizada en mayor o menor grado.

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

En menor grado aparecen piroxenos monoclinicos. Tanto los piroxenos como el olivino han sido transformados a minerales del grupo de la serpentina, y ocasionalmente forman parte de 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 ocupan 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 gabbro, 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 serpentizadas 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.

### **Lateritas Redepositadas.**

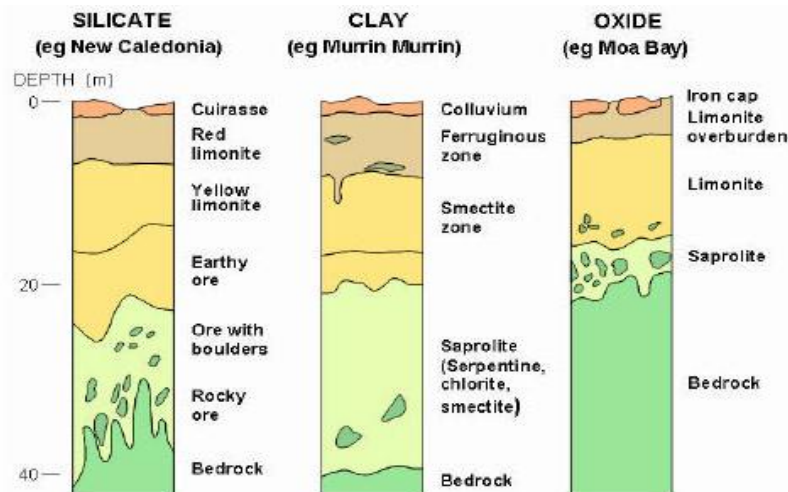
Los redepósitos están presentes hacia el norte y este con una distribución discontinua. Los materiales que lo componen, tuvieron su fuente de suministro en terrenos donde existió una corteza friable desarrollada, lo que determinó que las litologías presentes en este conjunto tengan alguna semejanza a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

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 lateralización 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:

- Perfil de lateritas oxidadas
- Perfil de lateritas arcillosas

- Perfil de lateritas silicatadas



**Figura 1.3.** Comparación esquemática de los principales tipos de perfiles lateríticos. (Tomado de Brand, *et al*, 1998).

### ■ 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 % (3000 ppm) para el Ni y de 0,02 % para el Co (200 ppm).

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

#### ■ Perfil de lateritas arcillosas

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

La lixiviación de la sílice no ocurre con tanta intensidad y se combina con pequeñas cantidades de Al y Fe, donde forman 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 – y llegan a hasta contenidos del 5 % de Ni, como promedio el contenido de Ni es 2-3 % Ejemplos típicos de este perfil laterítico se localizan en Nueva Caledonia.

#### **1.4.1 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° donde el período de su formación es del Cretácico Superior, donde 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).

#### **1.4.3 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, y tienen 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, y que corresponden los mayores valores al corte completo, inalterado aun por el laboreo minero.

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

### **1.5 Procesos geodinámicos**

#### ➤ 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.

#### ➤ 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 acarreamiento, que aumentan sus dimensiones rápidamente en el tiempo. La dirección de las

cárcavas está condicionada fundamentalmente por las condiciones estructurales de los suelos residuales.

### **Generalidades sobre las cortezas de meteorización laterítica.**

Como la presente investigación se realiza en cortezas de meteorización laterítica, resulta necesario declarar algunos conceptos y aspectos generales sobre estos tipos de depósitos.

**La laterita:** es el suelo propio de las regiones cálidas, caracterizado por la pobreza en sílice y su elevada cantidad de hierro, alúmina y/u otros minerales. Las costras lateríticas se deben a la meteorización de la capa superficial del suelo, es decir, a la acción *in situ* de los agentes meteorológicos (lluvia, insolación, viento, acción de los seres vivos, etc.) <https://es.wikipedia.org/wiki/Laterita>

Se llama **meteorización** a la descomposición de minerales y rocas que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre donde estos materiales entran en contacto con la atmósfera, hidrosfera y la biosfera. Sin embargo existen varias definiciones más, lo que ha hecho que el término signifique diferentes cosas para distintos científicos.

La meteorización representa la respuesta de minerales que estaban en equilibrio a profundidades variables en la litosfera a condiciones de la superficie terrestre o cerca de esta. En este lugar los minerales entran en contacto con la atmósfera, hidrosfera y biosfera en los que originan cambios, generalmente irreversibles, que los tornan hacia un estado más clástico o plástico de manera que aumenta el volumen, disminuye la densidad y el tamaño de las partículas además de formarse nuevos minerales que son más estables bajo las condiciones de interfaz. Chorley, *et al*, (1984).

Las lateritas se forman a partir de la lixiviación de rocas madres que pueden ser sedimentarias, metamórficas; ígneas o proto-menas. Dicha lixiviación deja en el residuo los iones más insolubles que son predominantemente el hierro y aluminio.

El mecanismo de lixiviación sigue los siguientes pasos: 1) ácidos disuelven la estructura cristalina de un mineral determinado del material madre, 2) esto es seguido por la hidrólisis y precipitación de óxidos insolubles y sulfatos de hierro, aluminio y sílice. Todo esto bajo en condiciones de alta temperatura de un clima monzónico subtropical húmedo. Una característica esencial para la formación de laterita es la repetición de las estaciones húmedas y secas. Las rocas son lixiviadas por el agua de lluvia que se filtra durante la temporada de lluvias; la solución resultante que contiene los iones lixiviados es llevada a la superficie por la acción capilar durante la estación seca. Estos iones forman sales que se secan en la superficie. Dichas sales son lavadas durante la próxima temporada de lluvias. La formación de laterita se ve favorecida en zonas de relieve atenuado como suaves crestas y mesetas que evitan la erosión de material superficial. Durante la formación de lateritas existe una zona de reacción en donde las rocas están en contacto con agua que abarca el nivel más bajo al más alto en el que fluctúa el nivel freático. Esta zona de reacción se agota progresivamente de los iones fácilmente lixiviados de sodio, potasio, calcio y magnesio. Una solución con estos iones puede tener el pH adecuado para disolver preferentemente óxido de silicio en lugar de los óxidos de aluminio y óxidos de hierro.  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Laterita>

Níquel: El níquel es un elemento químico cuyo número atómico es 28 y su símbolo es Ni, situado en el grupo 10 de la tabla periódica de los elementos.

- ✓ Es un metal de transición de color blanco con un ligerísimo tono amarillo, conductor de la electricidad y del calor, muy dúctil y maleable por lo que se puede laminar, pulir y forjar fácilmente, y presenta además ferromagnetismo a temperatura ambiental.

Cobalto: El **cobalto** (del alemán *kobalt*, voz derivada de *kobolds*, los "gnomos" que, según los mineros de Sajonia de la Edad Media, eran espíritus de la tierra que tenían embrujado el mineral, por lo que, aunque parecía mena de cobre, no producía este elemento con el tratamiento habitual<sup>1</sup>) es un elemento químico de



número atómico **27** y símbolo **Co** situado en el grupo 9 de la tabla periódica de los elementos.

- ✓ El cobalto es un metal ferromagnético, de color blanco azulado. Su temperatura de Curie es de 1388 K. Normalmente se encuentra junto con níquel, y ambos suelen formar parte de los meteoritos de hierro. Es un elemento químico esencial para los mamíferos en pequeñas cantidades. El  $\text{Co}^{60}$  un radioisótopo de cobalto, es un importante trazador y agente en el tratamiento del cáncer. <https://es.wikipedia.org/wiki/Cobalto>

**Manganeso:** El manganeso es un elemento químico de número atómico 25 situado en el grupo 7 de la tabla periódica de los elementos y se simboliza como Mn<sup>12</sup>. Se encuentra como elemento libre en la naturaleza, a menudo en combinación con el hierro y en muchos minerales. Como elemento libre, el manganeso es un metal con aleación de metales industriales con importantes usos, sobre todo en los aceros inoxidables.

El manganeso es un metal de transición blanco grisáceo, parecido al hierro. Es un metal duro y muy frágil, refractario y fácilmente oxidable. El manganeso metal puede ser ferromagnético, pero sólo después de sufrir un tratamiento especial. <https://es.wikipedia.org/wiki/Manganeso>

**Grupo del platino:** El grupo del platino es un grupo de seis elementos metálicos con propiedades físicas y químicas similares. Son todos metales de transición y ocupan un área rectangular en la tabla periódica. Estos elementos son todos metales de transición, situados en el bloque d (grupos 8, 9 y 10, los periodos de 5 y 6). Son los elementos que ocupan los grupos de la tabla periódica (columnas) 8, 9 y 10, excepto los elementos cabeceras del grupo, es decir, sólo los de los periodos de la tabla periódica 5 y 6. Esta familia comprende al rutenio, el rodio, el paladio, el osmio, el iridio y el platino. Ellos tienen propiedades físicas y químicas similares, y tienden a aparecer juntos en los mismos yacimientos de minerales.

- ✓ Los metales del grupo platino se destacan por sus propiedades como catalizadores. Son muy resistentes al desgaste y a las manchas, por lo que el platino, en particular, es muy adecuado para la joyería fina. Otras características distintivas incluyen la resistencia al ataque químico, excelente resistencia a las altas temperaturas y propiedades estables a la electricidad. Todas estas propiedades han sido aprovechadas para su uso en la industria. [https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo\\_del\\_platino\\_](https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo_del_platino_)

## 1.6 Tierras Raras

**Tierras Raras o lantánidos:** la serie de lantánidos es el grupo de elementos químicos que siguen al lantano en el grupo IIIB de la tabla periódica y lo compone los siguientes elementos: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.

**Tierras raras:** Tierras raras es el nombre común de 17 elementos químicos: escandio, itrio y los 15 elementos del grupo de los lantánidos (lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio). Hay que notar que en esta clasificación no se considera la serie de los actínidos.

- ✓ Aunque el nombre de «tierras raras» podría llevar a la conclusión de que se trata de elementos escasos en la corteza terrestre, algunos elementos como el cerio, el itrio y el neodimio son más abundantes. Se las califica de "raras" ya que es muy poco común encontrarlos en una forma pura, pero resulta que hay depósitos de algunos de ellos en todo el mundo. Y el término "tierra" no es más que un vocablo arcaico para algo que se puede disolver en ácido. La parte "tierra" en el nombre es una denominación antigua de los óxidos. [https://es.wikipedia.org/wiki/Tierras\\_raras](https://es.wikipedia.org/wiki/Tierras_raras).

El término de "tierras raras" se utiliza por defecto para definir a los minerales que contienen como principal componente a alguno de los elementos que en la tabla periódica se definían de la misma forma, como "tierras raras". Si echamos la vista

atrás y abrimos nuestro libro de química básica, recordaremos que se trata de aquellos que estaban abajo del todo, en la columna del Escandio (Sc) y el Itrio (Y), de hecho este último incluso se considera como uno de ellos. Son los que conforman el periodo 6, el de los lantánidos, entre el 57 y el 71 (descartamos de aquí los actínidos), y diferenciándose habitualmente entre tierras raras ligeras (peso atómico más bajo. ej. Lantano (La) o Cerio (Ce)) y tierras raras pesadas (con un peso atómico más elevado. ej. Disprosio (Dy) o Terbio (Tb)).

El apelativo de “tierras raras” les viene porque en laboratorio se encontraban habitualmente como componentes residuales en las mezclas de los distintos óxidos “tierras” en estudio, que presentan propiedades muy parecidas entre sí. Pero esta misma presencia habitual en las distintas muestras es lo que puede convertir lo “raro” en “abundante”. De hecho, en contra de la creencia habitual, algunos de los elementos que encontramos en las tierras raras son muy abundantes en la corteza terrestre. Elementos como el Cerio (Ce) son, por ejemplo, tan abundantes como el propio Cobre (Cu).

La única rareza que quizás se les podría achacar a estos minerales es que su presencia en las muestras minerales habituales suele ser inferior a 1 ppm (parte por millón de muestra), es decir, presentan una concentración lo suficientemente baja como para complicar considerablemente su explotación y extracción, y que carece en su obtención como producto puro.

Estos elementos se concentran en el horizonte limonítico de los depósitos lateríticos de Ni y pueden constituir un subproducto del proceso metalúrgico de extracción de Ni-Co. De hecho, actualmente los depósitos de bauxitas y de lateritas niquelíferas son considerados los recursos más prometedores para la producción de Sc (Wang, *et al.*, 2011). El interés en estos elementos ha crecido exponencialmente en los últimos tiempos, debido a su creciente uso en la industria de la alta tecnología, los que los hace insustituibles para el desarrollo de la sociedad actual y futura. La identificación de todas las posibles fuentes de aporte de elementos de las tierras raras es, por tanto, un reto, pues cada día se amplían las posibilidades de hallazgo en nuevos tipos de depósitos (no

convencionales), donde aumentan las posibilidades de que se detecten concentraciones de interés económico en el país.

### **1.6.1 Aplicación práctica de las tierras raras**

En los últimos tiempos se ha incrementado de manera acelerada y creciente el uso por parte de la industria moderna de los metales puros y compuestos a base de tierras raras.

Se ha creado tal dependencia que la lista de artículos de uso cotidiano que contienen tierras raras es casi interminable, no concibiéndose el desarrollo actual y futuro de la sociedad sin la participación de estos elementos. Para que se tenga una idea más elocuente de lo expuesto, una moderna turbina de 3 MW, por ejemplo, lleva como parte integral de sus elementos metálicos componentes entre 300 a 600 kg de ETR (Nd + Pr). Un automóvil convencional contiene en sus agregados cerca de 0,5 kg de ETR y uno de tipo híbrido (combustible eléctrico) requiere de 20 kg - 30 kg. Los móviles celulares usan 1g de ETR cada uno, al igual que los semiconductores fosfóricos, emisores de luz de baja potencia, a los que ahora comienzan a incorporarse los de alta potencia, llamados, estos últimos, a sustituir las luminarias incandescentes públicas por otras de menor consumo energético por cantidad unitaria de luz y con mayor durabilidad, así como en medicina (tomografía magnética). (Cazañas, *et al*, 2016)

### **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 tectonizados, se convierten en factores condicionales para el desarrollo procesos erosivos y de deslizamientos.

## **Capítulo # 2. Materiales y métodos de investigación.**

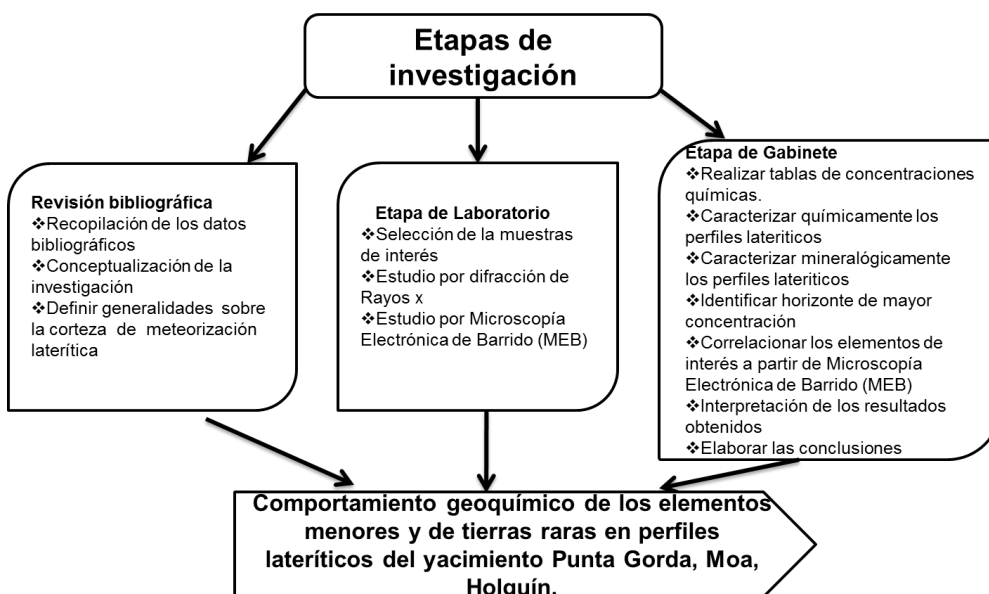
## Capítulo #2: Materiales y métodos de investigación.

### 2.1 Introducción

En la presente investigación se emplearon técnicas instrumentales modernas de análisis tales como la Difracción de rayos – X (DRX), y la Microscopia electrónica de Barrido (MEB), que son herramientas de inapreciable valor científico para abordar diversos aspectos de las investigaciones de la química del estado sólido.

### 2.2 Metodología de trabajo

Para el desarrollo de nuestra investigación se realizó un diagrama de flujo de los trabajos realizados. Donde se observan tres etapas fundamentales, para una mejor organización del mismo.



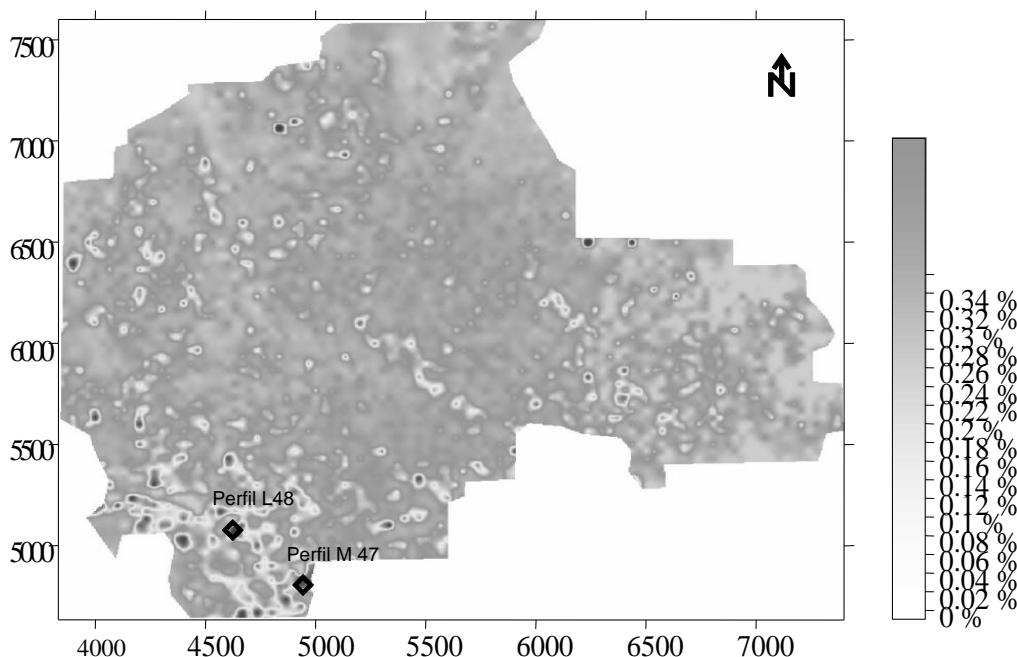
**Figura 2.1.** Flujograma de las etapas fundamentales de la investigación.

### 2.3 Definición de la zona de estudio en el yacimiento Punta Gorda

Para valorar el comportamiento geoquímico de los elementos minoritarios y de tierras raras asociados al Ni y Co en los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda, se aprovechó la perspectiva que tienen los perfiles enriquecidos en cobalto y manganeso, los cuales también han sido registrados por Cuenca (2009) y Aiglsperger, *et al.* (2016) por poseer significativos contenidos de metales críticos como V, Sc, así como Tierras Raras (TR) y elementos (EGP).

En este sentido, en la definición de la zona de estudio se tomaron dos perfiles lateríticos enriquecidos en cobalto, dentro del yacimiento Punta Gorda, en lo cual resultaron muy útiles los resultados obtenidos por Vera (2001), en que 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 (alcanza 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, y puede 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, y puede 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.

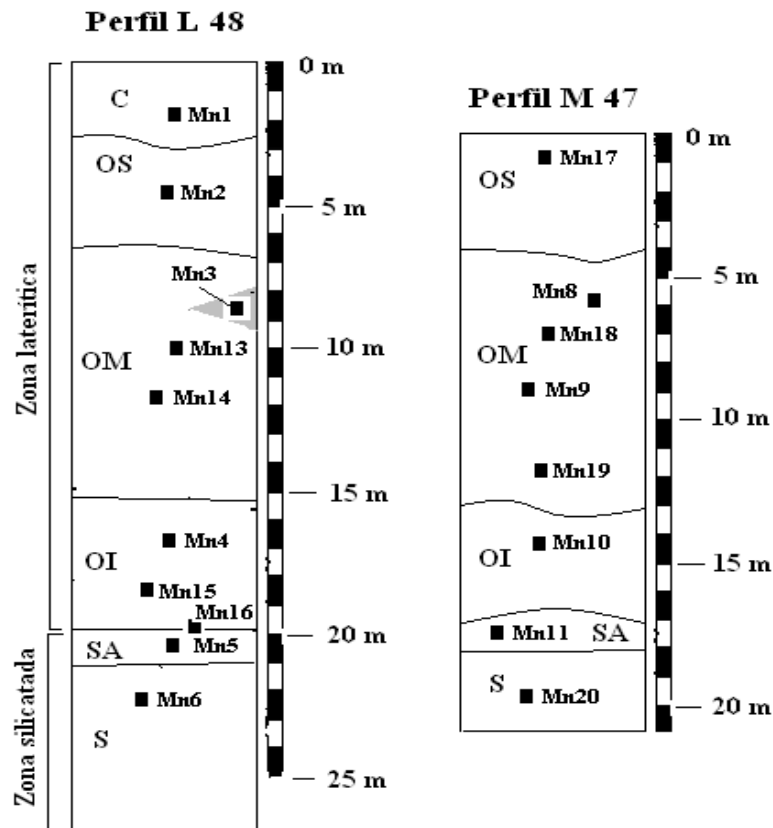
A partir de los resultados de Vera (2001) se pudieron establecer los sectores perspectivas para el estudio de las fases de óxidos de Mn, localizados al suroeste del yacimiento Punta Gorda, (Figura 2.2), dentro de los cuales se encuentran los perfiles de estudios L-48 y M-47, donde existen contenidos significativos de Co y por ende de Mn, además de los elementos menores, tierras raras (ETR) y EGP en el yacimiento Punta Gorda.



## **2.4 Materiales**

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 Figura 2.2. 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 2.3. Ellos exhiben diferentes potencias de los horizontes lateríticos de acuerdo a la intensidad de la meteorización que han tenido, el primero es típico de un perfil maduro (L-48), en tanto el segundo (perfil M-47) es representativo y menos maduro o inmaduro.

Se utilizaron muestras de cada uno de los perfiles (L-48 y M-47), ya evaluadas mineralógicamente por DRX para cada horizonte por Rojas 2012, y para el análisis de la presencia de los **elementos mayoritarios**: Fe, Al, Si y Mg; **minoritarios relevantes**: Ni, Co y Mn; y minoritarios como **Metales Críticos**: **ETR** = La + Ce + Nd + Sm + Eu + Tb + Yb + Lu, Sc y **EGP** = Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd; en lo que se destaca el **Sc, V**.



**Figura 2.3.** Esquema de los perfiles lateríticos, L-48 y M-47, del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. Observaciones: Horizontes: C: concreciones ferruginosas; OS: ocre superior; OM: ocre medio; OI: ocre inferior; SA: serpentinita alterada; S: serpentinita inalterada o roca madre. (■) Mn1: toma de muestra. Dibujo no está realizado a escala.

**Tabla 2.1.** Relación de muestras estudiadas en el análisis de correlación, en el yacimiento Punta Gorda.

Perfil	Muestra	Tipo de horizonte y Zona	Componente químico estudiado
<b>Perfil L-48</b>	Mn1	C(Concreciones ferruginosas), zona laterítica	V, Co, Ni, Zn, Cr, Mn, Os, Ir, Pt, Pd.
	Mn2	OS(Ocre superior), zona laterítica	V, Co, Ni, Cr, Mn.
	Mn3	OM(Ocre medio), zona laterítica	Sc, V, Co, Ni, Zn, Cr, Mn, La, Ce, Pr, Nd,

			Sm, Eu, Gd, Tb, Dy. Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd.
	Mn3f1	OM(Ocre medio), zona laterítica	V, Co, Ni, Zn, Cr, Mn, Os, Ir, Pt, Pd.
	Mn3f2	OM(Ocre medio), zona laterítica	V, Co, Ni, Cr, Mn,
	Mn5	SA(Serpentina alterada o saprolita), zona silicatada	Sc, V, Co, Ni, Zn, Cr, La, Ce, Pr, Nd, Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd.
	Mn6	S(Serpentina inalterada o roca madre), zona silicatada	V, Co, Ni, Cr, Mn, Os, Ir, Pt, Pd.
<b>Perfil M-47</b>	Mn8	OM(Ocre medio), zona laterítica	V, Co, Ni, Cr, Mn.
	Mn8f1	OM(Ocre medio), zona laterítica	V, Co, Ni, Cr, Mn.
	Mn11	SA(Serpentina inalterada o roca madre), zona silicatada	V, Co, Ni, Cr, Zn, Mn, Os, Ir, Pt, Pd.
	Mn17	OS(Ocre superior), zona laterítica	Sc, V, Co, Ni, Cr, Zn, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy. Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd.
	Mn19	OM(Ocre medio), zona laterítica	V, Co, Ni, Zn, Cr, Mn, Os, Ir, Pt, Pd.
	Mn20	S(Serpentina inalterada o roca madre), zona silicatada	Sc, V, Ni, Co, Cr, Zn, La, Ce, Pr, Nd, Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd.

## 2.5 Métodos de Investigación

Para la determinación de la composición mineralógica se empleó la técnica de Difracción de Rayos – X (DRX) según método policristalino en la que se utiliza el

difractómetro de la PHILIPS, modelo PW 3710, con radiación de Cu. 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.

Para la detección de los elementos minoritarios: Sc, V; EGP y ETR, además de la forma de los granos minerales y la composición química puntual se determinaron por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), con un microscopio electrónico de la Carl Zeiss, modelo LEO-1430, con voltaje de 20 kV para imágenes de electrones retrodispersados y de 10 kV para imágenes de electrones secundarios, distancia de 15 mm y corriente de flujo de electrones de 90 mA; las muestras fueron metalizadas con carbono.

### **2.5.1 Generalidades del método de Difracción de rayos – X (DRX)**

A medida que 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 ( $\lambda$ ) el ángulo incidente ( $\emptyset$ ) respecto de plano reflector sean compatible con la ley de Bragg ( $n \lambda = d \sin \emptyset$ ). 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:

En el método de Laue: se mantiene fijo un monocristal y sobre él se hace incidir una radiación politrómica (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.

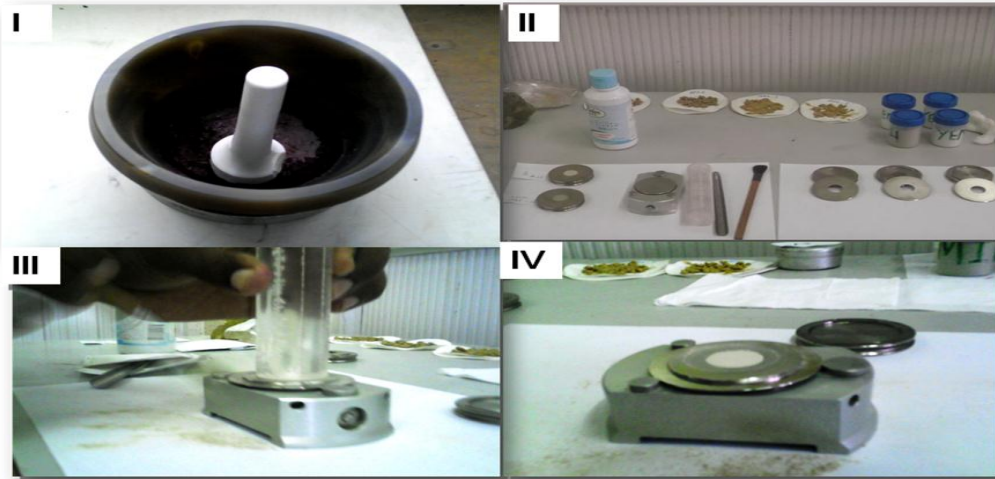
Las fotografías Laue o Lauegramas de transición tienen un papel importante en los estudios estructurales previos y en la orientación de cristales que se investigaran estructuralmente con mayor profundidad por otros métodos, por ejemplo, por Weissenberg o cristal rotatorio u oscilante.

En el método de cristal giratorio: se hace girar (un 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.

En el método de los polvos: también  $\theta$  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.

En esta técnica se realizan los siguientes pasos operativos:

- 1- Enumerar la muestra (hacer referencia);
- 2- Pulverizar la muestra;
- 3- Preparar en el porta muestras;
- 4- Colocar (prensar) la muestra de la porta-muestra;
- 5- Pegar muestra importa-muestra;
- 6 - Llevar y colocar muestra en el soporte de muestras del Difractómetro de Rayos-X.



**Figura 2.4.** Imágenes que ilustran los procedimientos de preparación en el laboratorio de las muestras en el laboratorio de Rayos-X. (I), accesorios usados para la preparación de las Porta-Muestras; (II), aplicación del polvo en el Porta-Muestras; (III) Porta-Muestras con el polvo nivelado y preparado para el procesamiento en el difractómetro (IV).

Después en el proceso de interpretación de los difractogramas se utilizó el programa Xpert HighScore 1b, 2002(software), que permitió identificar las fases minerales en las muestras.



**Figura 2.5-** Difractómetro X'Pert PRO de la PANalytical de la Universidad Federal de Pará, Brasil.

### **2.5.3 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, y utilizados en 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 ( $\lambda$ ). 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 800-200 nm de la luz). La ventaja que tienen los electrones sobre otras partículas de pequeña 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.

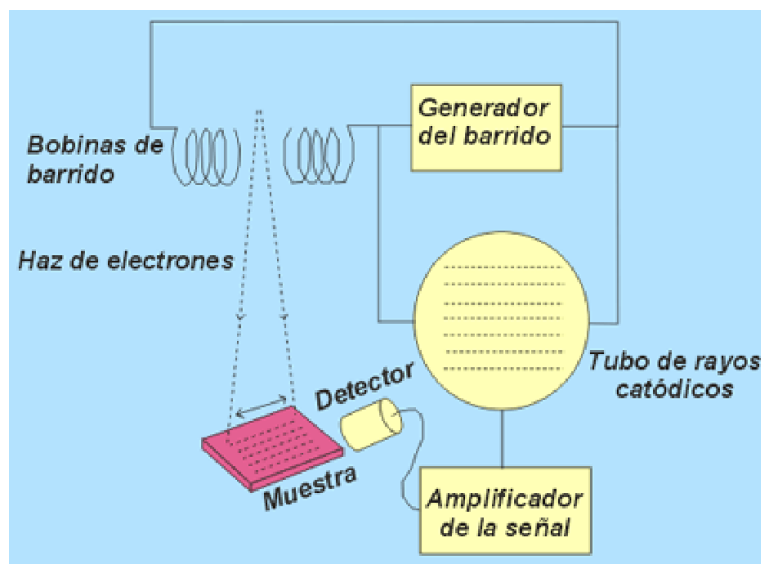
En microscopía electrónica se trabaja siempre en el vacío. Esto se debe a que como se opera con electrones que viajan con una trayectoria prefijada desde la fuente hasta su destino es imprescindible que esta trayectoria no sea desviada por la presencia de átomos o moléculas que no sean las de la muestra 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.

#### **2.5.4 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 que sigue una trayectoria de líneas paralelas.



**Figura: 2.6.** Esquema de equipo (MEB).

De todas las formas de radiación resultantes de la interacción del haz incidente y la muestra (ver fig.2.6) 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  $1 \text{ mm}^2$  de la muestra y la imagen en la pantalla es de  $100 \text{ mm}^2$ , 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 recubrirla con una película conductora metálica o de carbono para evitar que ésta se cargue a medida que 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.

## **2.6. Análisis de Correlación**

**Correlación:** Es el estudio de la asociación no causal entre dos (o más) variables, es decir, si los cambios en una variable corresponden a cambios en la otra. Éstos pueden ser en la misma dirección (mientras una aumenta, la otra aumenta: **correlación positiva**) o en dirección contraria (mientras una aumenta, la otra disminuye: **correlación negativa**); o pueden no relacionarse (mientras una aumenta, la otra a veces aumenta, a veces disminuye y a veces sigue igual: **correlación nula**). (Norma, 1984)

Para analizar la relación entre variables se utilizan los llamados «coeficientes de correlación». Se realizan sobre variables cuantitativas o cualitativas. Ello determinará si se calcula o bien el coeficiente de correlación de Pearson, el de Spearman, o el de Kendall. Existen otras como pueden ser las correlaciones o las medidas de distancia o disimilaridad de intervalos, recuentos o binarias (ej. distancia euclídea, euclídea al cuadrado, etc.)

Es una técnica ampliamente documentada, con múltiples fuentes de información abiertas para que cualquiera pueda acceder a sus principios y realizar sus propios análisis.

Hasta el momento la aplicación de la correlación ha sido amplia y diversa en diferentes campos como ciencias naturales, economía, psicología, etc. y por supuesto, en investigaciones de todo tipo. En lo que se refiere al campo de la seguridad de la información los fundamentos son los mismos, aunque por el momento aún está en desarrollo. <https://www.incibe-cert.es/blog/correlacion-herramientas-analisis-datos>.

## **Capítulo # 3. Resultados y discusión.**

## Capítulo # 3. Resultados y discusión.

### 3.1 Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los elementos de interés en nuestra investigación a través de los métodos de Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) en los perfiles L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda, los cuales tienen importantes características que componen la corteza de meteorización laterítica.

### 3.2 Características químicas de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

Para la caracterización química de los perfiles L-48 y M-47 nos basamos en los elementos mayoritarios significativos en nuestra investigación. Primeramente, las muestras correspondientes al perfil L-48 son las siguientes: Mn1, Mn2, Mn3, Mn13, Mn14, Mn4, Mn15, de la zona laterítica y Mn5 y Mn6 de la zona silicatada.

**Tabla 3.1.** Composición química según los elementos mayoritarios del perfil L-48 del yacimiento Punta Gorda.

Componentes*	Mn1	Mn2	Mn3	Mn4	Mn5	Mn6	Mn13	Mn14	Mn15
SiO <sub>2</sub>	1,32	1,6	3,58	2	35,17	40,9	1,6	1,5	1,9
Al <sub>2</sub> O	10,7	20,2	7,98	6,8	1,84	0,6	8,9	7,9	8,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	68,5	57,5	68,66	71,7	16,17	8,6	72	73,2	72,1
MnO	0,11	0,39	4,24	0,83	0,18	0,1	0,14	1,98	1,08
MgO	0,26	0,41	0,49	0,42	30,81	35,9	0,46	0,74	1,14
CaO	0,01	0,22	0,05	0,02	0,03	0,28	0,01	0,01	0,01
Na <sub>2</sub> O	<0,06	<0,06	0,15	<0,06	0,07	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
K <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,13	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,29	0,61	0,06	0,04	0,01	0	0,12	0,03	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,0	<0,0	0,02	<0,0	0,01	<0,0	<0,02	<0,02	<0,02

	2	2		2		2			
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,53	<0,0 2	2,13	2,54	0,81	0,39	2,92	2,44	3,58
<b>Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	0,05	0,04	0,65	0,1	0,03	0,01	0,03	0,28	0,17
<b>NiO</b>	0,93	0,54	1,06	1,62	2,28	1,69	1,04	0,95	0,17
<b>LOI</b>	0	0	10,4 6	0	13,0 9	0	0	0	0

Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso.

La muestra **Mn1** perteneciente a la zona laterítica del perfil L-48 contiene elevados valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 68.5 % y de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 10.7 % y en menor concentración P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con <0.02 % y de K<sub>2</sub>O con 0.01 %.

La muestra **Mn2** está ubicada en la zona laterítica del perfil L-48 con valores altos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 57.5 %, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 20.2 % y en menor concentración P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con valores <0.02 % y K<sub>2</sub>O con 0.01 %.

La muestra **Mn3** presenta valores altos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con un 68.66 %, de LOI con un 10.46 % y de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 7.98 %, y valores muy bajos de CaO con 0.05 %, de TiO<sub>2</sub> con 0.06 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con 0.02 %. Esta muestra está compuesta principalmente en abundancia de materiales ferrosos que hacen a su vez que esta zona laterítica sea ferrosa y por ende al perfil L-48.

La muestra **Mn4** pertenece al perfil L-48 a la zona laterítica con altos contenidos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 71.7 %, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 6.8 % y contenidos bajos de TiO<sub>2</sub> con 0.04 %, de CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con valores <0.02 % y de K<sub>2</sub>O con 0.01 %.

La muestra **Mn5** perteneciente a la zona silicatada presenta altos valores de SiO<sub>2</sub> con 35.17 %, de MgO con 30.81 %, de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 16.17 % un poco menos que en la zona laterítica, y con valores muy bajos de CaO, K<sub>2</sub>O y Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> con 0.03 %, de TiO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con 0.01 %.

La muestra **Mn6** está ubicada en la zona silicatada del perfil L-48 con altos contenidos de SiO<sub>2</sub> con 40.9 %, de MgO con 35.9 % y valores <0,02 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> con 0.01 %.

La muestra **Mn13** está concentrada en la zona laterítica del perfil L-48 con altos contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  con 72 %, de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con 8.9 % y en menos contenidos al  $\text{Co}_3\text{O}_4$  con 0.03 %, al  $\text{P}_2\text{O}_5$  con valores <0.02 %, y  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  con 0.01 %.

La muestra **Mn14** está ubicada en la zona laterítica del perfil L-48 con valores altos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  con 73.2 %, de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con 7.9 % y valores muy bajos de  $\text{TiO}_2$  con 0.03 %, de  $\text{P}_2\text{O}_5$  con valores <0.02 %, y de  $\text{K}_2\text{O}$  con 0.01 %.

La muestra **Mn15** perteneciente a la zona laterítica del perfil L-48 presenta altos contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  con 72.1 %, de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con 8.1 % y valores muy bajos de  $\text{TiO}_2$  con 0.03 %, de  $\text{P}_2\text{O}_5$  con valores <0.02 % y de  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  con 0.01 %.

Las muestras que pertenecen al perfil M-47 son: Mn8, Mn9, Mn10, Mn17, Mn18, Mn19 de la zona laterítica y Mn11, Mn20 de la zona silicatada.

**Tabla 3.2.** Composición química según los elementos mayoritarios del perfil M-47 del yacimiento Punta Gorda.

Componentes*	Mn8	Mn9	Mn10	Mn11	Mn17	Mn18	Mn19	Mn20
<b>SiO<sub>2</sub></b>	1,9	1,8	1,9	39,2	2,69	1,9	2	39,43
<b>Al<sub>2</sub>O</b>	7,2	7,3	6,2	2,6	15	8,6	8,3	0,94
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	72,8	72,8	74,3	9	65,81	71,6	70,3	9,28
<b>MnO</b>	1,35	0,79	0,89	0,11	0,38	0,56	1,59	0,12
<b>MgO</b>	0,47	0,75	0,62	34,1	0,72	0,74	0,55	35,69
<b>CaO</b>	0,01	0,02	0,01	0,11	0,04	0,01	0,01	0,06
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<0,0 6	<0,0 6	<0,06	<0,06	0,11	<0,06	<0,06	<0,06
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,03
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,03	0,04	0,03	0,01	0,51	0,07	0,04	0,01
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<0,0 2	<0,0 2	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	0,01
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,52	2,74	2,53	0,43	4,05	2,62	2,71	0,34

<b>Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	0,34	0	0,16	0,01	0,01	0,06	0,32	0,02
<b>NiO</b>	1,22	1,4	1,29	1,43	1,38	1,14	1,19	0,52
<b>LOI</b>	0	0	0	0	10,55	0	0	13,91

Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso.

La muestra **Mn8** pertenece a la zona laterítica del perfil M-47 contiene altos contenidos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 72.8 %, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 7.2 % y valores muy bajos de TiO<sub>2</sub> con 0.03 %, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><0.02 % y K<sub>2</sub>O, CaO con 0.01 %.

La muestra **Mn9** está ubicada en la zona laterítica del perfil M-47 con altos contenidos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 72.9 %, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 7.3 % y bajas concentraciones de TiO<sub>2</sub> con 0.04 %, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO<0.02 % y de K<sub>2</sub>O con 0.01 %.

La muestra **Mn10** está concentrada en la zona laterítica del perfil M-47 con altos valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 74.3 %, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 6.2 % y en menor concentración TiO<sub>2</sub> con 0.03 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con valores <0.02 % y de CaO, K<sub>2</sub>O con 0.01 %.

La muestra **Mn11** perteneciente a la zona silicatada del perfil M-47 contiene altos contenidos de SiO<sub>2</sub> con 39.2 %, de MgO con 34.1 % y valores <0.02 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> con 0.01 %.

La muestra **Mn17** perteneciente a la zona laterítica del perfil M-47 contiene valores elevados de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 65.81 %, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 15.00 %, de LOI con 10.55 % y valores muy bajos de K<sub>2</sub>O con 0.06 %, de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con 0.03 %, de Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> con 0.01 %.

La muestra **Mn18** está ubicada en la zona laterítica del perfil M-47 con altos contenidos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 71.6 %, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 8.6 % y valores muy bajos de TiO<sub>2</sub> con 0.07 %, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>O con 0.06 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con valores <0.02 % y de CaO, K<sub>2</sub>O con 0.01 %.

La muestra **Mn19** está ubicada en la zona laterítica del perfil M-47 con altos contenidos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 70.3 %, de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con 8.3 % y valores muy bajos de TiO<sub>2</sub> con 0.04 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con <0.02 % y de CaO, K<sub>2</sub>O con 0.01 %.

La muestra **Mn20** perteneciente a la zona silicatada presenta contenidos elevados de  $\text{SiO}_2$  con 39.43 %, de  $\text{MgO}$  con 35.69 %, de  $\text{LOI}$  con 13.91 % y valores muy bajos de  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  con 0.06 %, de  $\text{K}_2\text{O}$  con 0.03 %, de  $\text{Co}_3\text{O}_4$  con 0.02 % y de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  con 0.01 %.

Los perfiles **L-48** y **M-47** ambos en la zona laterítica presentan altos contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y en la zona silicatada alta concentración de  $\text{SiO}_2$  y de  $\text{MgO}$ ; en lo que se estipula que estos perfiles lateríticos son ricos en hierro, aluminio, sílice y magnesio.

### **3.3 Características mineralógicas de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.**

#### **Perfil L-48**

Este perfil L-48 se caracteriza por exhibir un buen desarrollo de la zona laterítica, donde alcanza una potencia de hasta 25 m, distinguiéndose bien los cuatro horizontes, incluyendo al horizonte de concreciones ferruginosas. Además, resulta relevante el horizonte de ocre medio, con un típico color amarillo – parduzco, con porciones más oscura (dada la presencia de los óxidos de Mn) y fina granulometría.

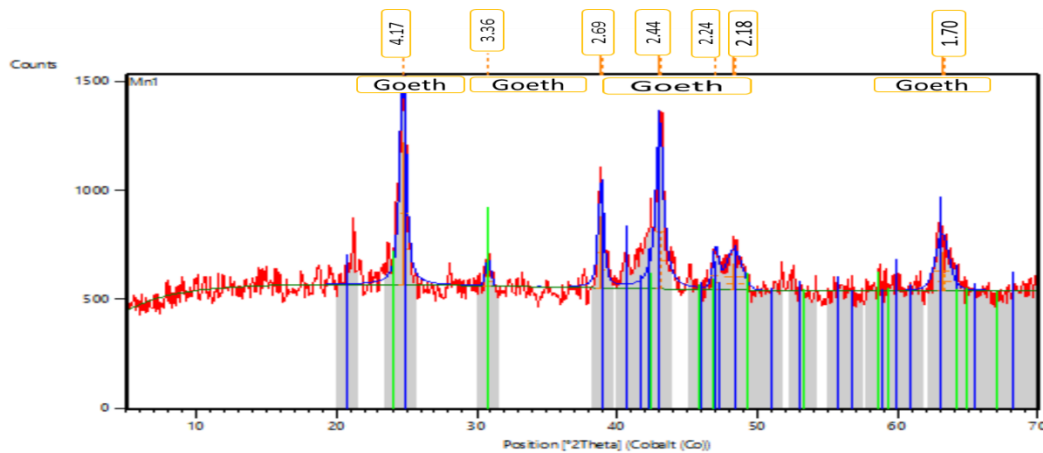
En esta zona del perfil L-48 se realizaron DRX a 4 muestras, donde se tomó 1 muestra por cada horizonte para de esta forma interpretar los difractogramas.

#### **Muestra Mn1**



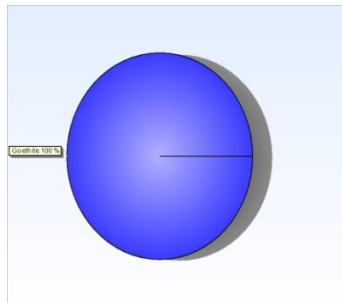
**Figura 3.1.** Muestra de concreciones ferruginosas, de color marrón oscuro, de forma terrosa, perteneciente a la zona oxidada.





**Figura 3.2.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn1. Se confirma la presencia de goethita (Goeth). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

En la muestra Mn1 perteneciente a las concreciones ferruginosas del perfil L-48 se encontró una fase mineral de goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) con un 100 %. Dentro de los picos principales de están:  $4.17\text{Å}$ ,  $2.69\text{Å}$ ,  $2.24\text{Å}$ ,  $2.18\text{Å}$ ,  $1.70\text{Å}$ .

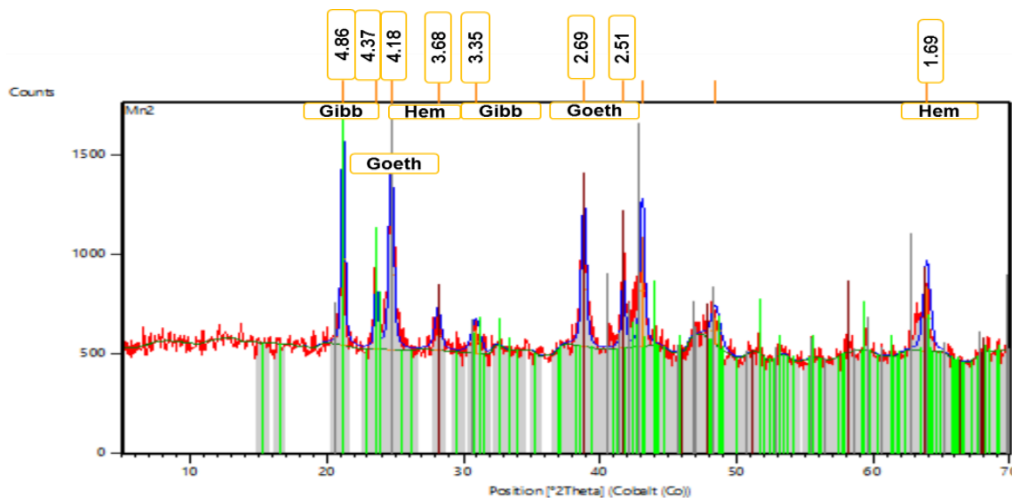


**Figura 3.3.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn1.

### Muestra Mn2

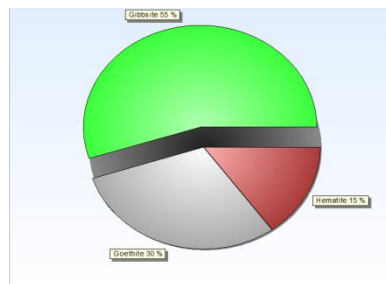


**Figura 3.4.** Muestra perteneciente al ocre superior de coloración parduzca rojiza de forma terrosa de la zona laterítica.



**Figura 3.5.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn2. Se confirma la presencia de goethita (Goeth), gibbsita (Gibb), y hematita (Hem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

La muestra Mn2 ubicada en el ocre medio contiene un 55 % de gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH}_3)$ ), con picos principales de  $4.86 \text{ \AA}$ ,  $4.37 \text{ \AA}$ ,  $3.35 \text{ \AA}$ , 30 % de goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ) con  $4.18 \text{ \AA}$ ,  $2.69 \text{ \AA}$ ,  $2.51 \text{ \AA}$  y un 15% de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con  $3.68 \text{ \AA}$ ,  $1.69 \text{ \AA}$ .

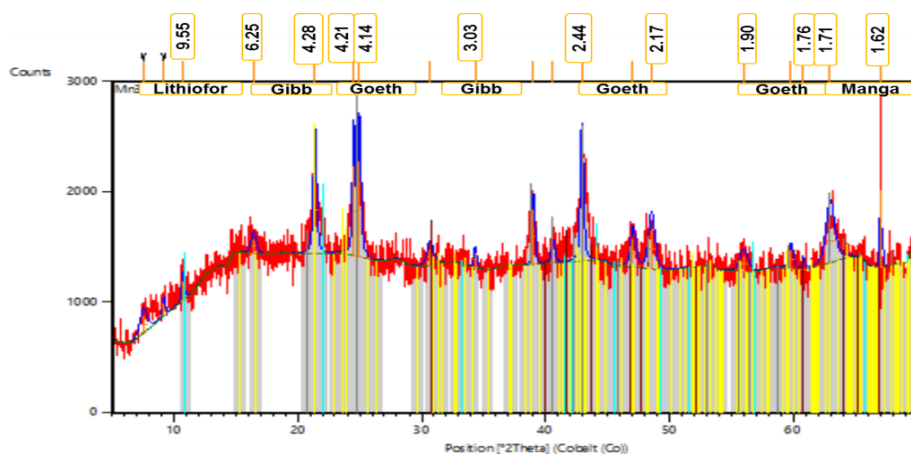


**Figura 3.6.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn2.

### Muestra Mn3

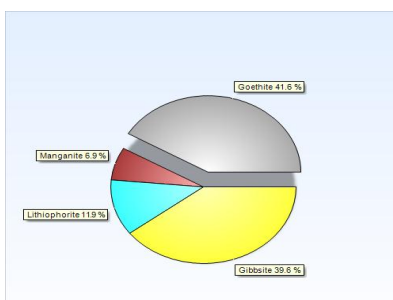


**Figura 3.7.** Muestra perteneciente al ocre medio de color marrón oscuro de forma terrosa ubicada en la zona laterítica.



**Figura 3.8.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn3. Se confirma la presencia de lithioforita (Lithiofor), gibbsita (Gibb), goethita (Goeth) y manganita (Manga). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

La muestra Mn3 perteneciente al ocre medio del perfil L-48 contiene 41.6 % de goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O(OH)}$ ), donde se reflejan picos principales de  $4.21 \text{ \AA}$ ,  $4.14 \text{ \AA}$ ,  $2.44 \text{ \AA}$ ; un 39.6 % de gibbsita ( $\text{Al(OH)}_3$ ) con  $6.25 \text{ \AA}$ ,  $4.28 \text{ \AA}$ ,  $3.03 \text{ \AA}$ , un 11.95 % de lithioforita con  $9.55 \text{ \AA}$  y 6.95 % de manganita ( $\text{MnO(OH)}$ ) con  $1.62 \text{ \AA}$ .

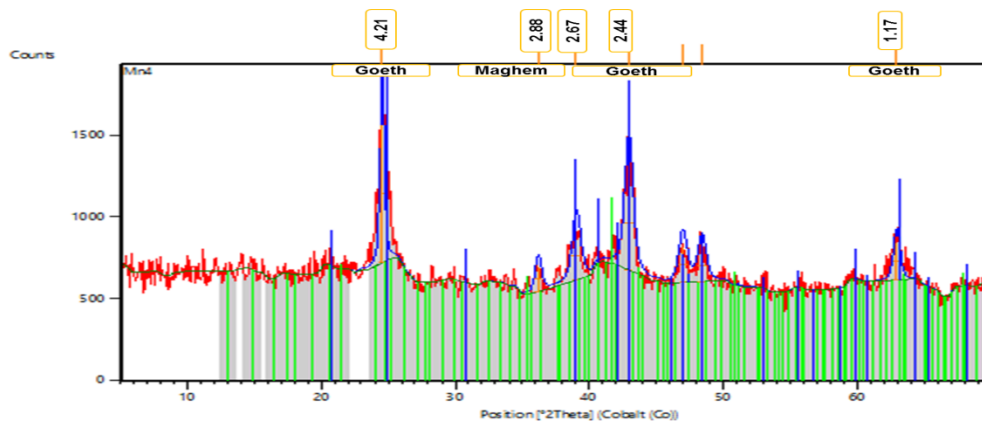


**Figura 3.9.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn3

#### Muestra Mn4

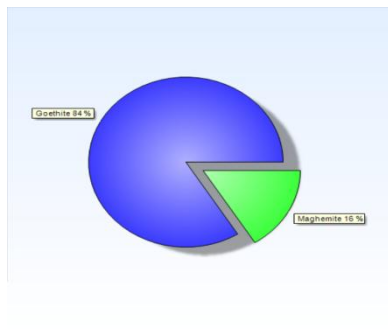


**Figura 3.10.** Muestra del ocre inferior con coloración parduzca de forma terrosa perteneciente a la zona laterítica.



**Figura 3.11.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn4. Se confirma la presencia de goethita (Goeth) y maghemita (Maghem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

La muestra Mn4 pertenece al ocre inferior del perfil L-48 con 84 % de goethita ( $\alpha$ - $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ), y 16 % de maghemita ( $\text{Fe}_{2.67}\text{O}_4$ ); donde se reflejan picos principales de goethita con 4.21 Å, 2.44 Å, 1.17 Å y de maghemita con 2.88 Å.



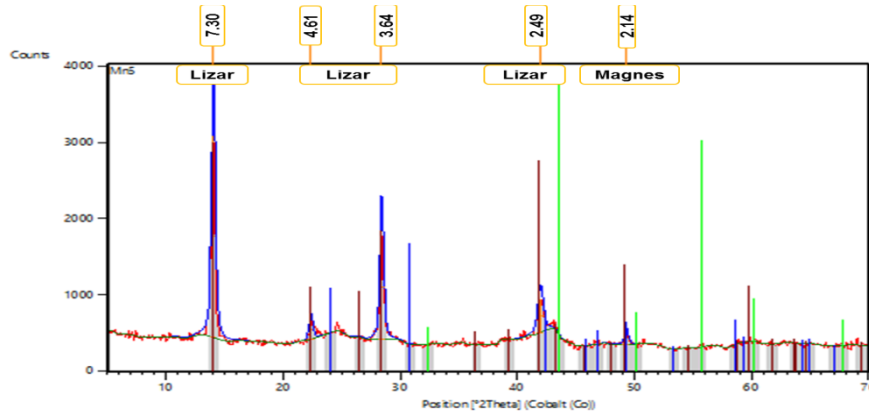
**Figura 3.12.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn4.

### Zona silicatada del perfil L-48.

En esta zona del perfil L-48 se realizaron DRX a 2 muestras significativas, donde se tomó 1 muestra por cada horizonte para de esta forma interpretar los difractogramas.

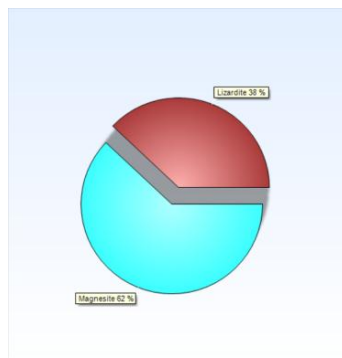
**Muestra Mn5**

**Figura 3.13.** Muestra de la serpentina alterada con coloración blanca plateada perteneciente a la zona silicatada.



**Figura 3.14.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn5. Se confirma la presencia de lizardita (Lizar) y magnesita (Magnes). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

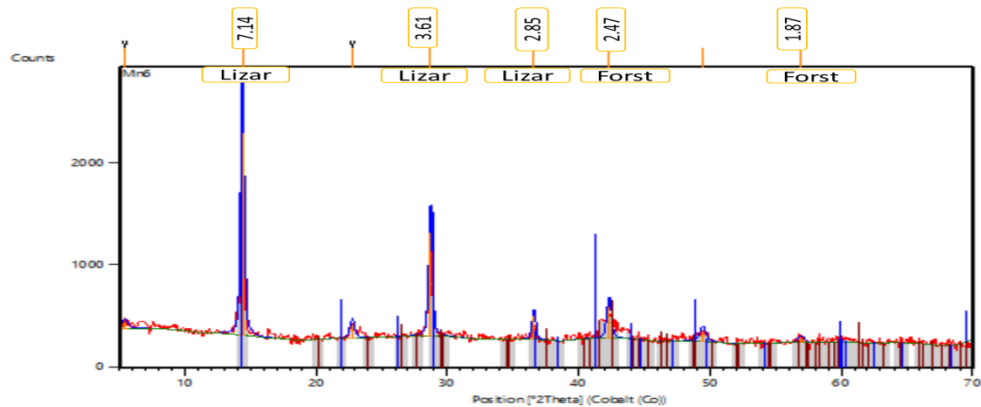
La muestra Mn5 ubicada en la serpentinita alterada o saprolita del perfil L-48 contiene un 62 % de magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) donde se refleja un pico principal de  $2.14 \text{ \AA}$ , y un 38 % de lizardita con  $7.30 \text{ \AA}$ ,  $3.64 \text{ \AA}$ ,  $2.49 \text{ \AA}$ .



**Figura 3.15.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn5.

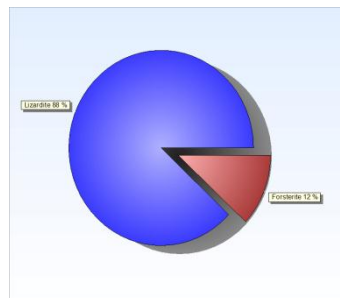
**Muestra Mn6**

**Figura 3.16.** Muestra de la serpentina inalterada con coloración parduzca oscura de la zona silicatada.

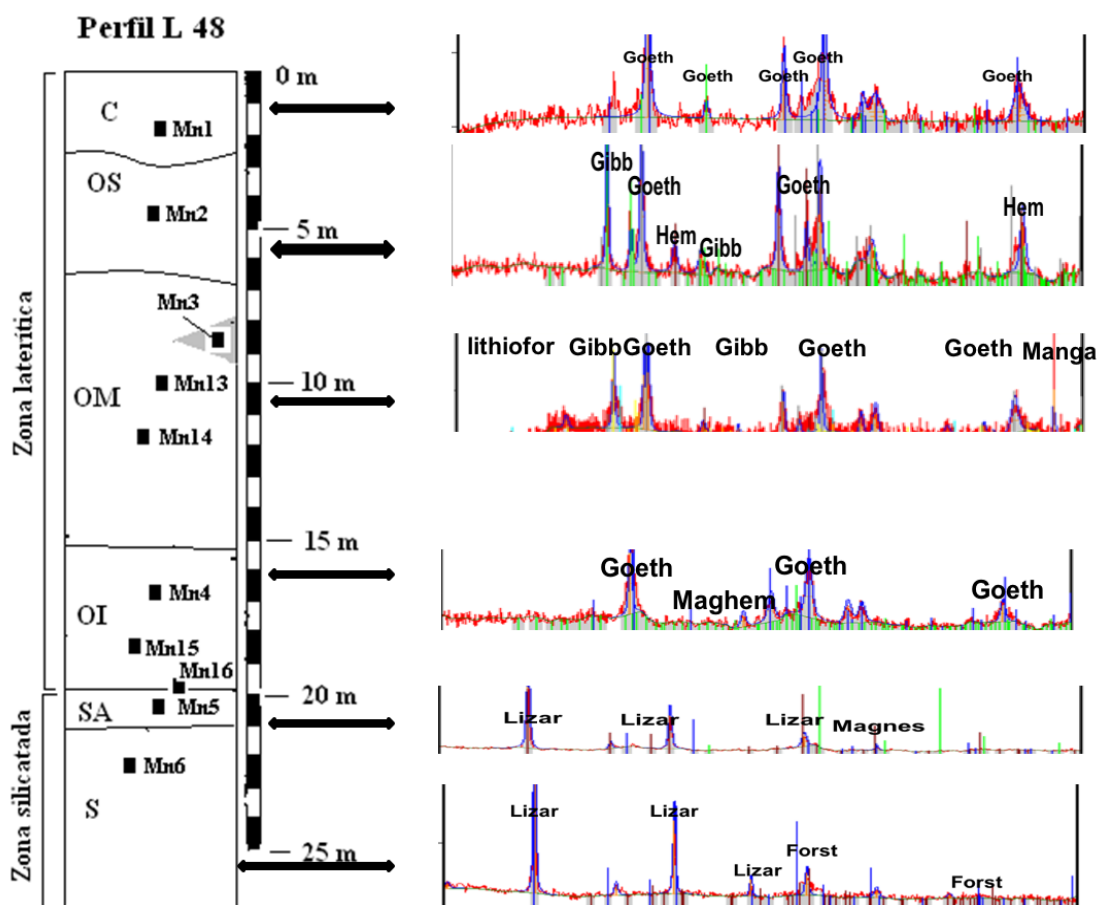


**Figura 3.17.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn6. Se confirma la presencia de lizardita (Lizar) y forsterita (Forst). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

La muestra Mn6 pertenece a la serpentina inalterada del perfil L-48 donde contiene un 88 % de lizardita, y 12 % de forsterita ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ), se reflejan picos principales de lizardita con  $7.14 \text{ \AA}$ ,  $3.61 \text{ \AA}$ ,  $2.85 \text{ \AA}$ ; y de forsterita con  $1.87 \text{ \AA}$  y  $2.47 \text{ \AA}$ .



**Figura 3.18.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn6.



**Figura 3.19.** Representación esquemática de la composición mineralógica a través del Perfil L-48.

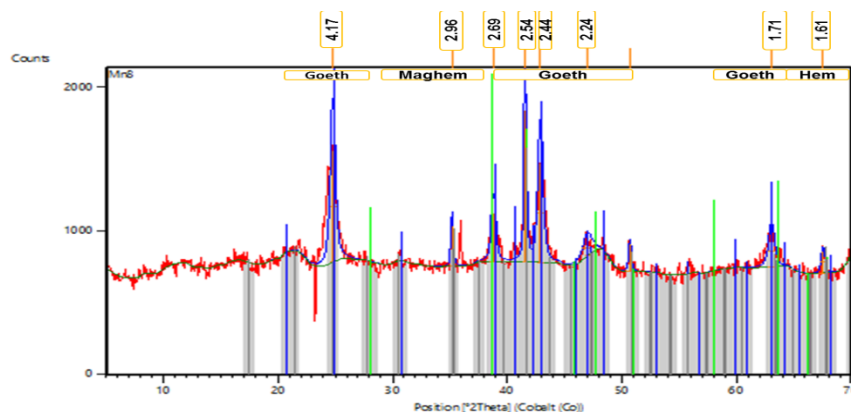
### Perfil M-47.

Este perfil M-47 se caracteriza por exhibir un buen desarrollo de la zona laterítica, donde alcanza una potencia de hasta 20 m, distinguiéndose bien los cuatro horizontes. Además, resulta relevante el horizonte de ocre medio, con un típico color amarillo – parduzco, con porciones más oscura (dada la presencia de los óxidos de Mn) y fina granulometría.

En esta zona del perfil M-47 se realizaron DRX a 3 muestras, donde se tomó 1 muestra por cada horizonte para de esta forma interpretar los difractogramas.

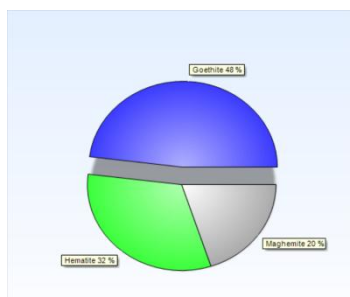
**Muestra Mn8**

**Figura 3.20.** Muestra del ocre medio con coloración amarillenta parduzca perteneciente a la zona laterítica.



**Figura 3.21.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn8. Se confirma la presencia de goethita (Goeth), maghemita (Maghem) y hematita (Hem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

La muestra Mn8 perteneciente al ocre medio del perfil M-47 contiene en sus fases mineralógicas a la goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O(OH)}$ ) con un 48 %, a la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con un 32 % y a la maghemita ( $\text{Fe}_{2.67}\text{O}_4$ ) con un 20 %. Dentro de los picos principales de la goethita están: 4.17 Å, 2.44 Å, 1.71 Å; la hematita con 1.61 Å y la maghemita con 2.96 Å.

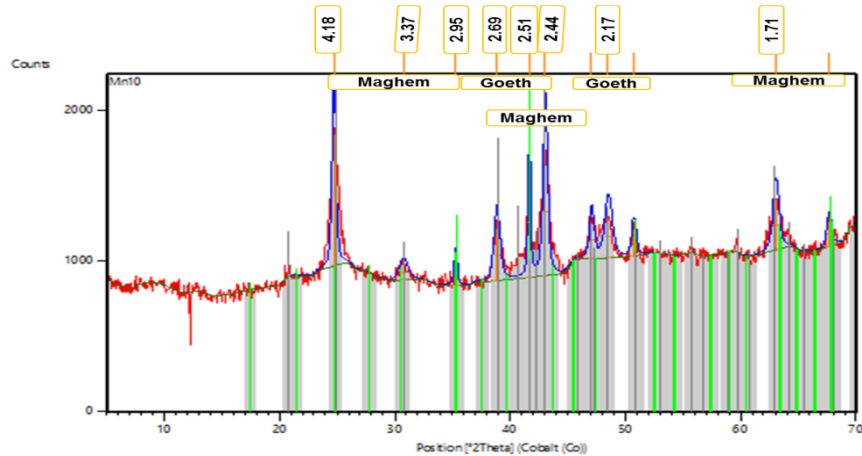


**Figura 3.22.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn8.



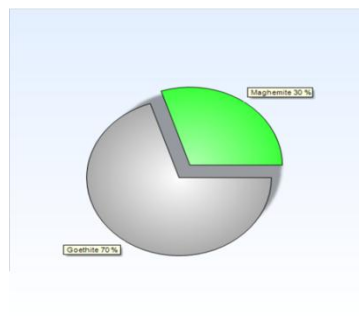
**Muestra Mn10**

**Figura 3.23.** Muestra del ocre inferior con coloración parduzca perteneciente a la zona laterítica.



**Figura.3.24.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn10. Se confirma la presencia de goethita (Goeth) y maghemita (Maghem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

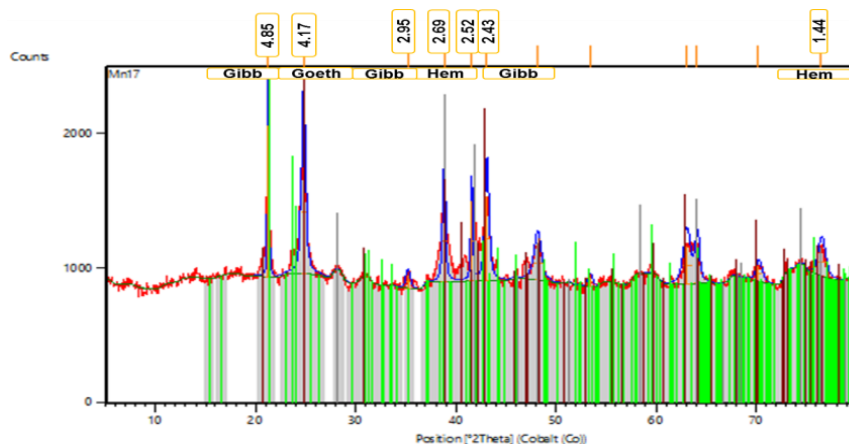
La muestra Mn10 pertenece al ocre inferior del perfil M-47 donde contiene un 70 % de goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O (OH)}$ ) con picos principales de 2,69  $\text{\AA}$ , 2,44  $\text{\AA}$ , 2,17  $\text{\AA}$  y un 30 % de maghemita ( $\text{Fe}_{2.67}\text{O}_4$ ) con 4,18  $\text{\AA}$ , 2,51  $\text{\AA}$ , 1,71  $\text{\AA}$ .



**Figura 3.25.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn10.

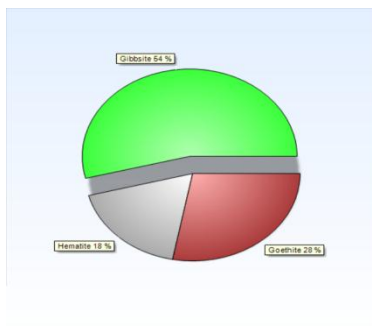
**Muestra Mn17**

**Imagen 3.26.** Muestra del ocre superior con coloración parduzca rojiza perteneciente a la zona laterítica.



**Figura 3.27.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn17. Se confirma la presencia de goethita (Goeth), gibbsita (Gibb) y hematita (Hem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

La muestra Mn17 pertenece al ocre superior del perfil M-47 donde contiene un 54% de gibbsita con picos principales de  $4.85 \text{ Å}$ ,  $2.95 \text{ Å}$ ,  $2.43 \text{ Å}$ , un 28 % de goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O(OH)}$ ) con  $4.17 \text{ Å}$  y un 18 % de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con  $2.69 \text{ Å}$ ,  $1.44 \text{ Å}$ .



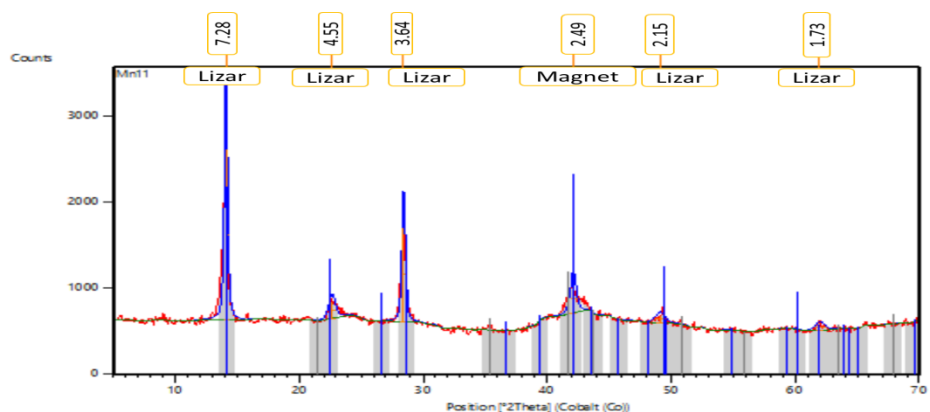
**Figura 3.28.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn17.

**Zona silicatada del perfil M-47.**

En esta zona del perfil L-48 se realizaron DRX a 2 muestras significativas, donde se tomó 1 muestra por cada horizonte para de esta forma interpretar los difractogramas.

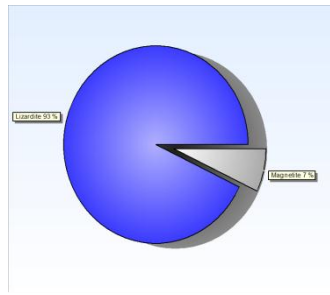
**Muestra Mn11**

**Figura 3.29.** Muestra de la serpentina inalterada con coloración blanca perteneciente a la zona silicatada.



**Figura 3.30.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn11. Se confirma la presencia de lizardita (Lizar), y magnetita (Magnet). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

La muestra Mn11 perteneciente a la serpentina inalterada del perfil M-47 contiene un 93 % de lizardita con picos principales de 7.28 Å<sup>0</sup>, 4.55 Å<sup>0</sup>, 3.64 Å<sup>0</sup>, 2.15 Å<sup>0</sup>; 1.73 Å<sup>0</sup> y 7 % de magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) con 2.49 Å<sup>0</sup>.

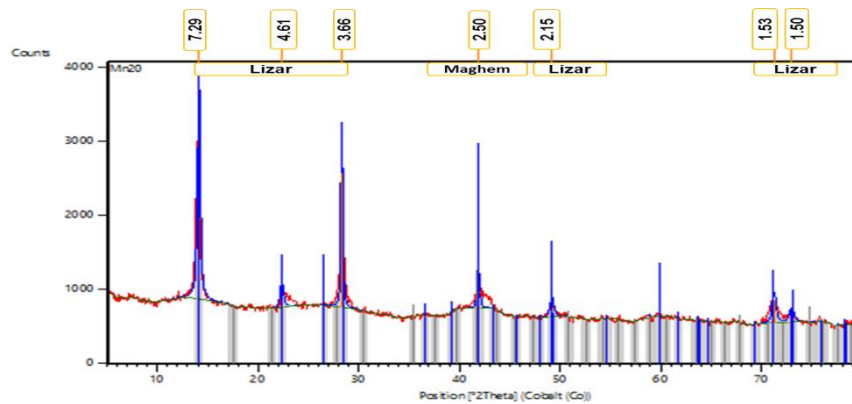


**Figura 3.31.** Porcentaje de los minerales de la muestra Mn11.

### Muestra Mn20



**Imagen 3.32.** Muestra de la serpentina inalterada con coloración blanca perteneciente a la zona silicatada.



**Figura 3.33.** Difractograma de Rayos-X de la muestra Mn20. Se confirma la presencia de lizardita (Lizar) y maghemita (Maghem). En la parte superior se exponen los valores difractométricos en angstrom.

La muestra Mn20 pertenece a la serpentina inalterada del perfil M-47 con un 94 % de lizardita con picos principales de  $7.29 \text{ \AA}$ ,  $3.66 \text{ \AA}$ ,  $1.53 \text{ \AA}$  y un 6 % de maghemita ( $\text{Fe}_{2.67}\text{O}_4$ ), aunque sólo existe el pico  $2.50 \text{ \AA}$ .

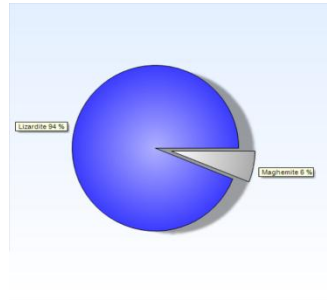


Figura 3.34. Porcentaje de los minerales de la muestra Mn20.

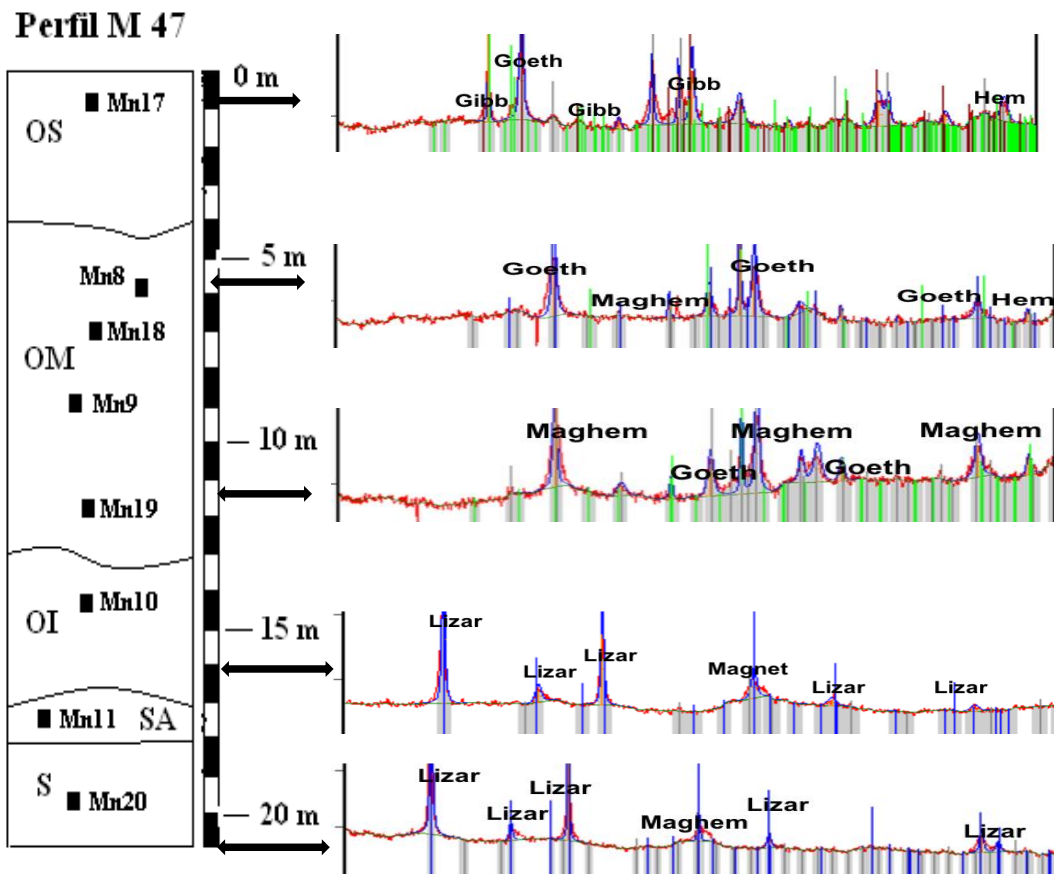


Figura 3.35. Representación esquemática de la composición mineralógica a través del Perfil M-47.

### 3.4 Identificar los horizontes de mayor concentración de elementos minoritarios en el yacimiento Punta Gorda.

Los perfiles lateríticos L-48 y M-47 tienen contenidos de elementos menores muy significativos como el Sc, V, Co, Ni, Zn, Cr, Mn presentes en casi todas las muestras estudiadas y además de las tierras raras y EGP. Se ilustrarán las concentraciones de estos elementos en las tablas y en gráficos por perfil para demostrar en que horizonte se concentran más estos elementos de interés.

\*En esta parte se utilizaron muestras de Rojas, *et.al.* 2012 y Aiglsperger, *et.al* 2016.

**Tabla 3.3.** Contenidos promedio de elementos minoritarios del perfil L-48 del yacimiento Punta Gorda.

Componentes*	Mn1	Mn2	Mn3	Mn3f1	Mn3f2	Mn5	Mn6
<b>Sc</b>	0	0	0,008	0	0	0,001	0
<b>V</b>	0,075	0,165	0,063	0,019	0,039	0,006	0,053
<b>Co</b>	0,998	0,601	1,720	6,160	1,381	0,024	0,146
<b>Ni</b>	0,629	0,920	1,165	6,848	2,116	1,788	0,912
<b>Zn</b>	0,073	0	0,046	0,121	0	0,011	0
<b>Cr</b>	1,875	6,347	1,358	0,666	1,735	0,567	0,085
<b>Mn</b>	0,143	0,037	5,538	46,180	19,680	0	0,141

Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso partir de datos de Microscopía Electrónica

**Tabla 3.4.** Tierras raras del perfil L-48 del yacimiento Punta Gorda.

REE*	Mn3	Mn5
<b>La</b>	0,00125	0,00012
<b>Ce</b>	0,00346	0,00004
<b>Pr</b>	0,00026	0,00001
<b>Nd</b>	0,00093	0,00002
<b>Sm</b>	0,00018	0

<b>Eu</b>	0,00005	0
<b>Gd</b>	0,00017	0
<b>Tb</b>	0,00003	0
<b>Dy</b>	0,00016	0
<b>Ho</b>	0,00003	0
<b>Er</b>	0,00009	0
<b>Tm</b>	0,00002	0
<b>Yb</b>	0,00011	0
<b>Lu</b>	0,00002	0

Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso partir de datos de Microscopía Electrónica

**Tabla 3.5.** Contenidos promedios de elementos del grupo del platino del perfil L-48 del yacimiento Punta Gorda.

EGP*	Mn1	Mn3	Mn3f1	Mn5	Mn6
<b>Os</b>	1,22	0,0000008	0,53	0,0000007	0,749
<b>Ir</b>	1,258	0,0000022	0,4472	0,0000008	0,638
<b>Ru</b>	0	0,0000042	0	0,0000015	0
<b>Rh</b>	0	0,0000013	0	0,0000003	0
<b>Pt</b>	0,986	0,0000107	0,626	0,0000013	0,586
<b>Pd</b>	0,078	0,0000047	0,025	0,0000015	0,126

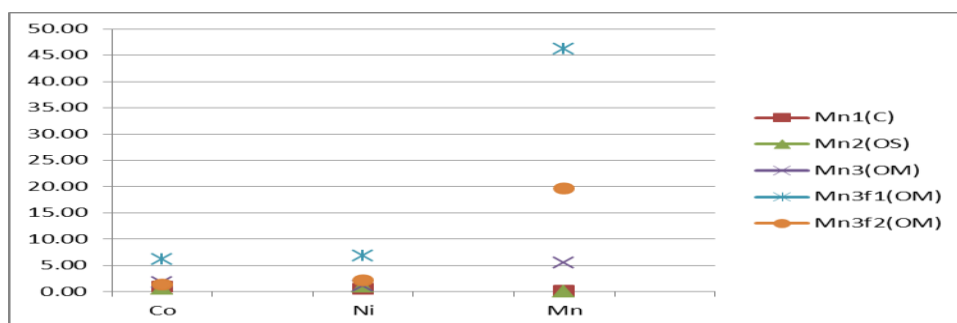
Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso partir de datos de Microscopía Electrónica

**Tabla 3.6.** Rango de los contenidos de las muestras del perfil L-48.

Componentes*	Mn1	Mn2	Mn3	Mn3f1	Mn3f2	Mn6
<b>Sc**</b>	-	-	-	-	-	
<b>V</b>	(0,008-0,287)	(0,148-0,183)	(0,008-0,148)	-***	(0,021-0,11)	(0,011-0,097)
<b>Co</b>	(0,191-	(0,538-	(0,277-	(1,659-	(0,479-2,1879	(0,015-0,57)

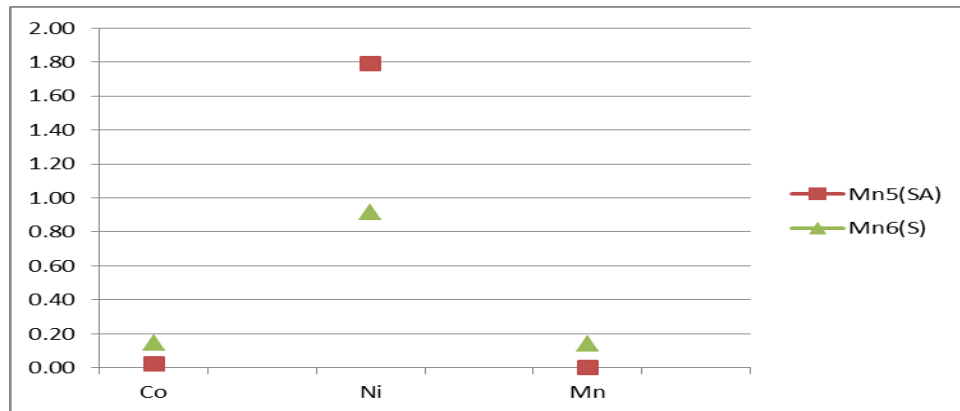
	1,866)	0,707)	3,348)	12,687)		
<b>Ni</b>	(0,101- 1,336)	(0,037- 1,482)	(0,486- 2,3)	(2,286- 13,416)	(0,525- 3,561)	(0,265- 2,141)
<b>Zn</b>	(0,031- 0,163)	-	-	(0,03- 0,218)	-	-
<b>Cr</b>	(1,051- 2,341)	(2,607- 11,18)	(0,564- 2,069)	(0,042- 1,481)	(0,672- 3,106)	(0,022- 0,148)
<b>Mn</b>	(0,092- 0,241)	(0,033- 0,041)	(0,816- 16,217)	(7,27- 73,169)	(3,069- 53,22)	(0,075- 0,32)
<b>Os</b>	(0,077- 4,102)	-	-	(0,407- 0,647)	-	(0,577- 1,007)
<b>Ir</b>	(0,444- 2,072)	-	-	(0,312- 0,637)	-	(0,454- 0,874)
<b>Ru**</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Rh**</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Pt</b>	(0,457- 2,658)	-	-	(0,475- 0,857)	-	(0,385- 0,8)
<b>Pd</b>	(0,013- 0,311)	-	-	(0,016- 0,028)	-	(0,01- 0,297)

Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso partir de datos de Microscopía Electrónica \*\*: Para este elemento no se tienen un rango de contenido. \*\*\*: - Este elemento en esta muestra no tiene un rango de contenido.

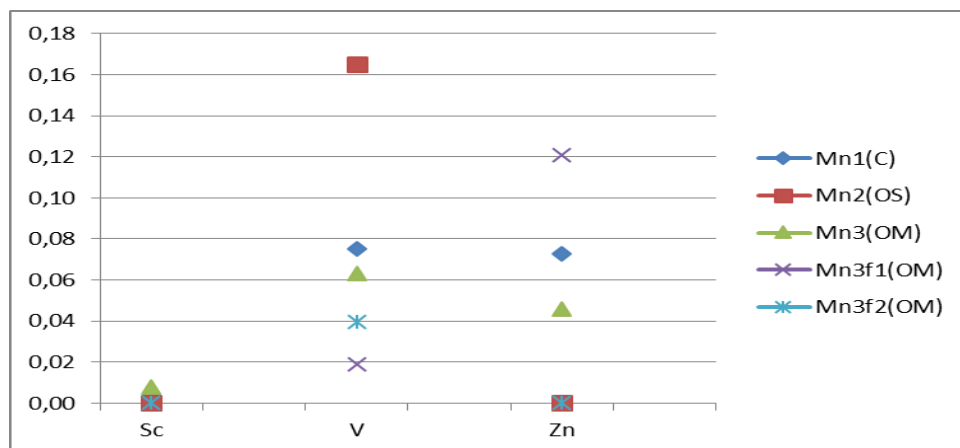


**Figura 3.36.** Concentración de los elementos menores relevantes (Co, Ni, Mn) del perfil L-48 de la zona laterítica.

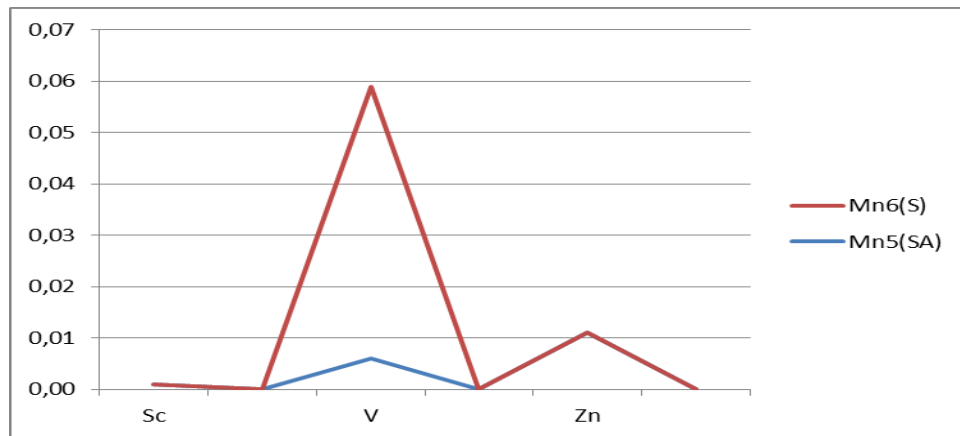




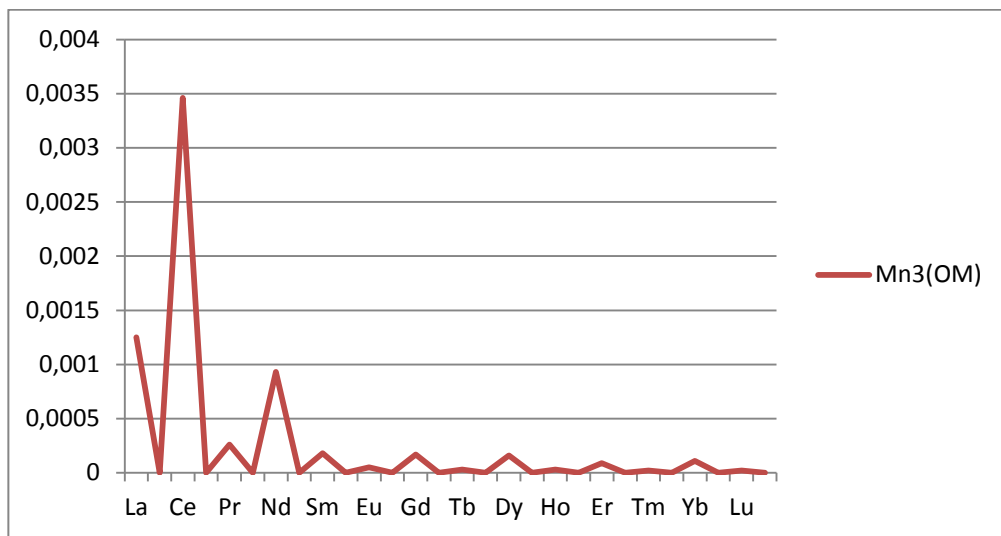
**Figura 3.37.** Concentración de los elementos menores relevantes (Co, Ni, Mn) del perfil L-48 de la zona silicatada.



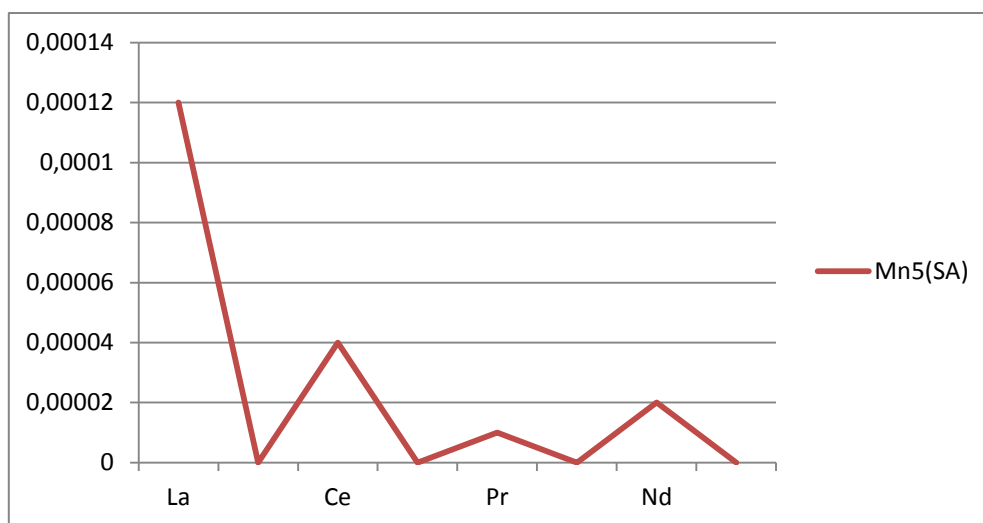
**Figura 3.38.** Concentración de los elementos menores (Sc, V, Zn) del perfil L-48 de la zona laterítica.



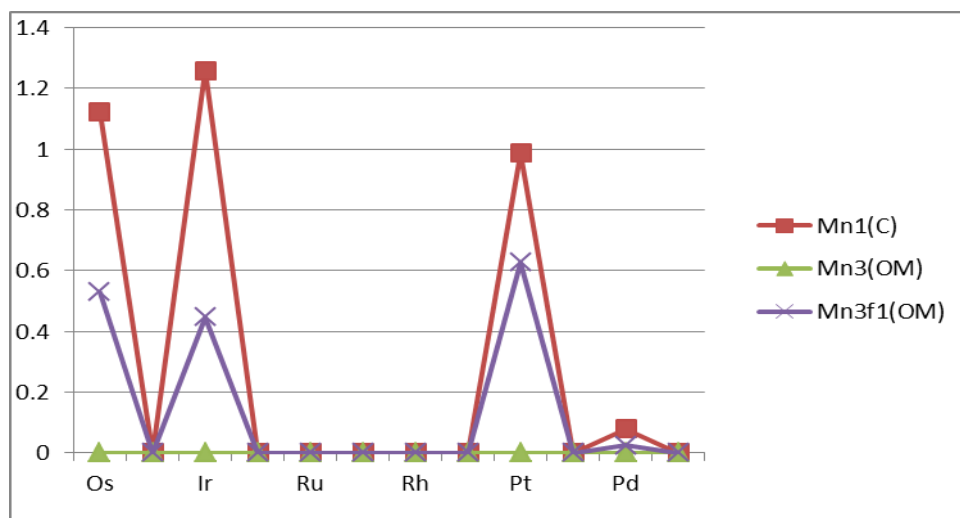
**Figura 3.39.** Concentración de los elementos menores (Sc, V, Zn) del perfil L-48 de la zona silicatada.



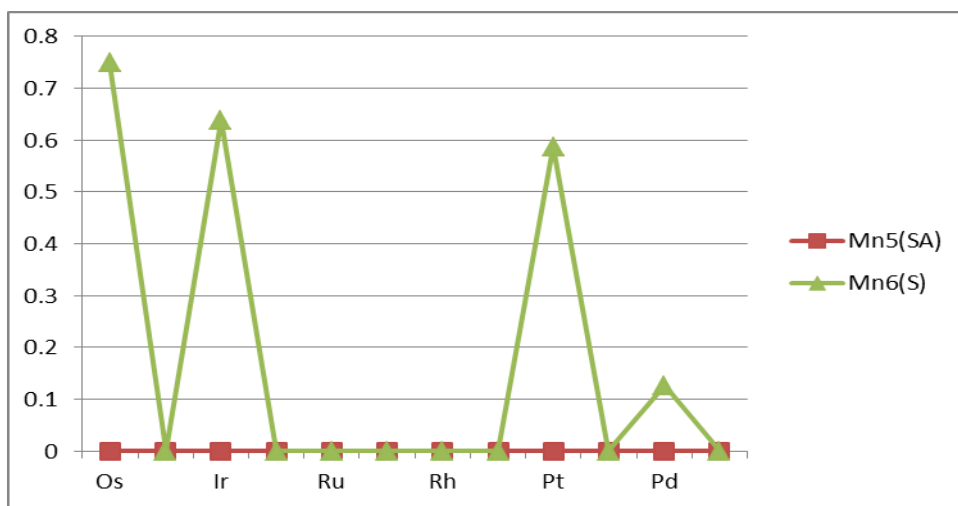
**Figura 3.40.** Concentración de la tierras raras del perfil L-48 de la zona laterítica.



**Figura 3.41.** Concentración de la tierras raras del perfil L-48 de la zona silicatada.



**Figura 3.42.** Concentración de los elementos del grupo del platino del perfil L-48 de la zona laterítica.



**Figura 3.43.** Concentración de los elementos del grupo del platino del perfil L-48 de la zona silicatada.

A partir de estos gráficos, se comentará dicha tendencia de concentración, donde se declaran los horizontes de concentración y los elementos correspondientes.

#### Muestra **Mn1**

La muestra **Mn1** del perfil L-48 está ubicada en el horizonte de concreciones ferruginosas (C) en la zona laterítica con un alto contenido de elementos menores de Cr con 1.875 % y en menor contenido al Zn con un 0.078 %, en cuanto a los elementos del grupo del platino presenta altos valores de Ir con 1.258 % y bajos valores de Pd con 0.078 %. Rango del Cr: (1.051-2.341); Zn: (0.031-0.163); Ir: (0.444-2.072) y Pd: (0.013-0.311).

La muestra **Mn2** está concentrada en el ocre superior (OS) del perfil L-48 en la zona laterítica con un alto contenido de Cr de 6.376 % y muy bajo de Mn con 0.037 %. Rango del Cr: (2.607-11.18) y Mn: (0.033-0.041).

La muestra **Mn3** es una de las muestras más representativas de nuestra investigación pues contiene elementos minoritarios, tierras raras (ETR) y elementos del grupo de platino (EGP), está situada en el ocre medio (OM) en la zona laterítica con alto contenido de Mn de 5.538 % y en menor grado al Sc con 0.0085 %, presenta valores altos de tierras raras del Cerio (Ce) con 0.00346 % y

en menor grado al (Tm) tulio y (Lu) lutecio con 0.00002 %, en relación al EGP tiene altos contenidos de Pt con 0.0000107 % y bajo contenido de Os con 0.0000008 %. Esta muestra tiene dos fracciones: Mn3f1 y Mn3f2; donde presentan altísimos contenidos de Mn y bajos de V, donde Mn3f1 tiene contenidos altos contenidos de Pt de más de 0.626 % y bajos de Pd con 0.252 %. De la muestra Mn3, rango del Mn: (0.816-16.217); de la Mn3f1, rango del Mn: (7.27-73.169); Pt: (0.475-0.857); Pd: (0.016-0.028); de la muestra Mn3f2, el Mn: (3.069-53.022), V: (0.021-0.11).

La muestra **Mn5** es otra de las muestras más significativas de nuestro trabajo, está ubicada en el horizonte de serpentina alterada o saprolita (SA) en la zona silicatada con altos contenidos de Ni con 1.787 %, en menor grado, al Sc con 0.0017 %, contiene altos valores de La con 0.00012 % y muy bajo de praseodimio (Pr) con 0.000001 %, altos valores de Ru y Pd de 0.0000015 % y bajo de Rh con 0.0000003 %.

La muestra **Mn6** está ubicada en la serpentina inalterada (S) en la zona silicatada con altos valores de Ni con 0.912 % y bajos valores de V con 0.0538 %, además de los altos contenidos de Os de 0.749 %, de Ir con 0.638 % y Pt con más de 0.5 % y bajos contenidos de Pd con 0.126 %. Rango del Ni: (0.265-2.141); V: (0.011-0.097); Os: (0.577-1.007); Ir: (0.454-0.874); Pt: (0.385-0.8).

Se considera que dentro de este perfil laterítico (L-48) los horizontes que contienen mayor concentración de los elementos menores y de elementos trazas son el ocre medio (OM) y la serpentina alterada (SA), donde se presentan con mayor concentración el Mn, Ni, Ce, La, Ir y Os.

**Tabla 3.7.** Elementos minoritarios del perfil M-47 del yacimiento Punta Gorda.

Componentes*	Mn8	Mn8f1	Mn11	Mn17	Mn19	Mn20
<b>Sc</b>	0	0	0	0,007	0	0,0008
<b>V</b>	0,059	0,062	0,0713	0,019	0,042	0,003
<b>Co</b>	0,640	0,673	0,350	0,011	1,724	0,011
<b>Ni</b>	1,149	0,851	4,337	1,085	1,305	0,361

<b>Zn</b>	0	0	0,208	0,013	0,146	0,005
<b>Cr</b>	0,876	2,070	0,723	2,776	28,203	0,223
<b>Mn</b>	0,430	0,177	0,148	0	5,176	0

Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso partir de datos de Microscopía Electrónica

**Tabla 3.8.** Tierras raras del perfil M-47 del yacimiento Punta Gorda.

REE*	Mn17	Mn20
<b>La</b>	0,00039	0,00005
<b>Ce</b>	0,00091	0,00003
<b>Pr</b>	0,0001	0,00001
<b>Nd</b>	0,00037	0,00002
<b>Sm</b>	0,00008	0
<b>Eu</b>	0,00002	0
<b>Gd</b>	0,00007	0
<b>Tb</b>	0,00001	0
<b>Dy</b>	0,00008	0
<b>Ho</b>	0,00002	0
<b>Er</b>	0,00005	0
<b>Tm</b>	0,00001	0
<b>Yb</b>	0,00007	0
<b>Lu</b>	0,00001	0

Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso partir de datos de Microscopía Electrónica

**Tabla 3.9.** Elementos del grupo del platino del perfil M-47 del yacimiento Punta Gorda.

EGP*	Mn11	Mn17	Mn19	Mn20
<b>Os</b>	1,122	0,0000004	0,468	0,0000003
<b>Ir</b>	1,258	0,0000018	0,500	0,0000003

<b>Ru</b>	0	0,0000032	0	0,0000008
<b>Rh</b>	0	0,0000007	0	0,0000001
<b>Pt</b>	0,986	0,0000034	0,679	0,0000006
<b>Pd</b>	0,078	0,0000014	0,093	0,0000006

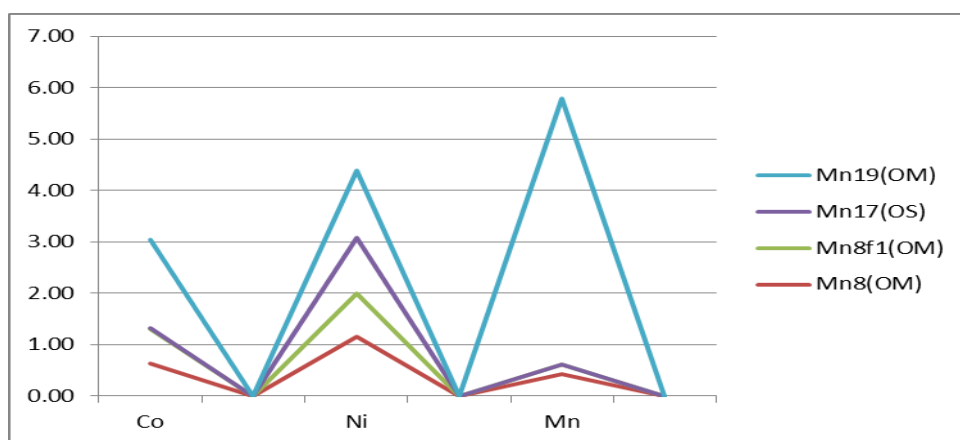
Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso partir de datos de Microscopía Electrónica

**Tabla 3.10.** Rango de los contenidos de las muestras del perfil M-47.

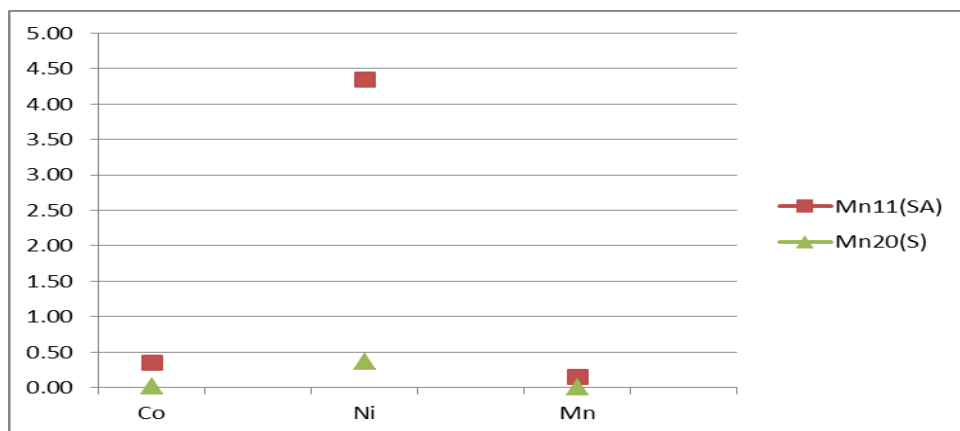
Componentes*	Mn8	Mn8f1	Mn11	Mn19
<b>Sc***</b>	-	-	-	-
<b>V</b>	(0,031-0,098)	(0,028-0,11)	(0,049-0,085)	(0,01-0,075)
<b>Co</b>	(0,346-0,816)	(0,228-0,728)	(0,193-0,512)	(0,346-3,103)
<b>Ni</b>	(0,718-1,424)	(0,326-1,192)	(3,259-5,434)	(0,205-2,406)
<b>Zn</b>	-	-	-**	(0,12-0,173)
<b>Cr</b>	(0,298-1,39)	(1,024-4,146)	(0,204-1,359)	(1,445-54,962)
<b>Mn</b>	(0,116-0,655)	(0,045-0,384)	(0,076-0,223)	(0,166-10,186)
<b>Os</b>	-	-	(0,7-1,253)	(0,405-0,531)
<b>Ir</b>	-	-	(0,528-1,767)	(0,448-0,553)
<b>Ru</b>	-	-	-	-

<b>Rh</b>	-	-	-	
<b>Pt</b>	-	-	(0,697-1,776)	(0,576-0,782)
<b>Pd</b>	-	-	(0,106-0,358)	(0,035-0,15)

Observaciones: \*: Contenido en por ciento en peso a partir de datos de Microscopía Electrónica. \*\*: Para este elemento no se tienen un rango de contenido. \*\*\*: - Este elemento en esta muestra no tiene un rango de contenido.

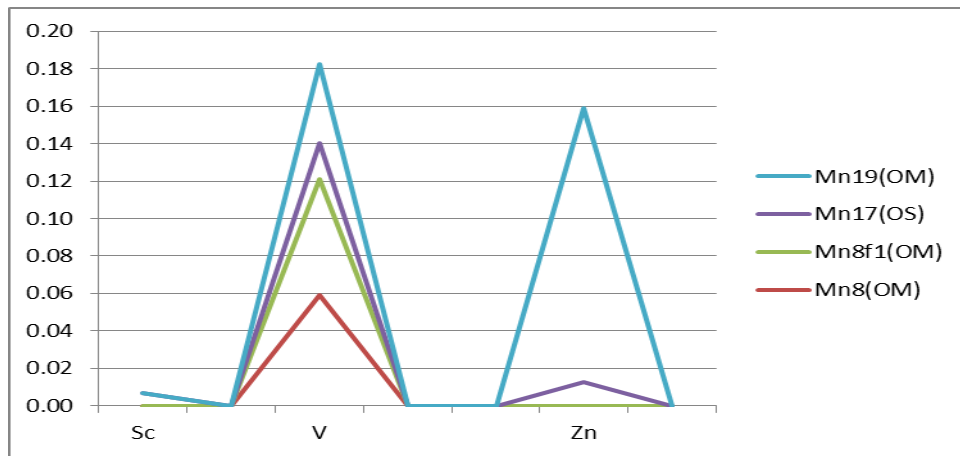


**Figura 3.44.** Concentración de los elementos menores relevantes (Co, Ni, Mn) del perfil M-47 de la zona laterítica.

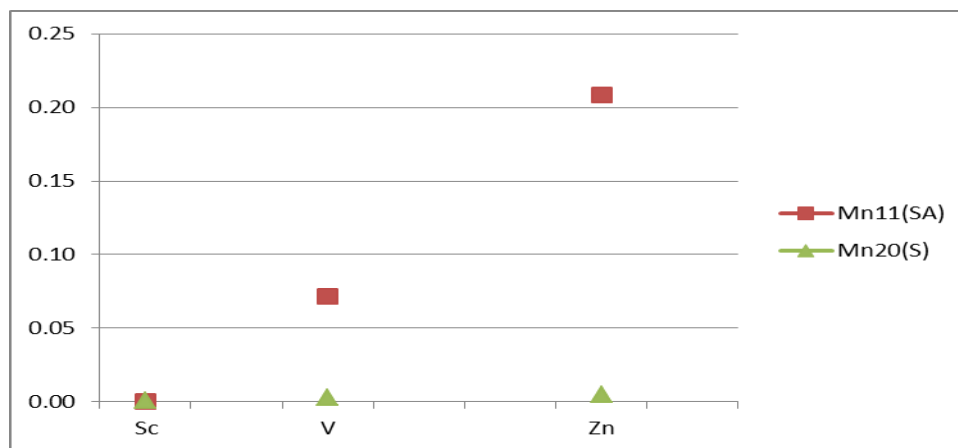


**Figura 3.45.** Concentración de los elementos menores relevantes (Co, Ni, Mn) del perfil M-47 de la zona silicatada.

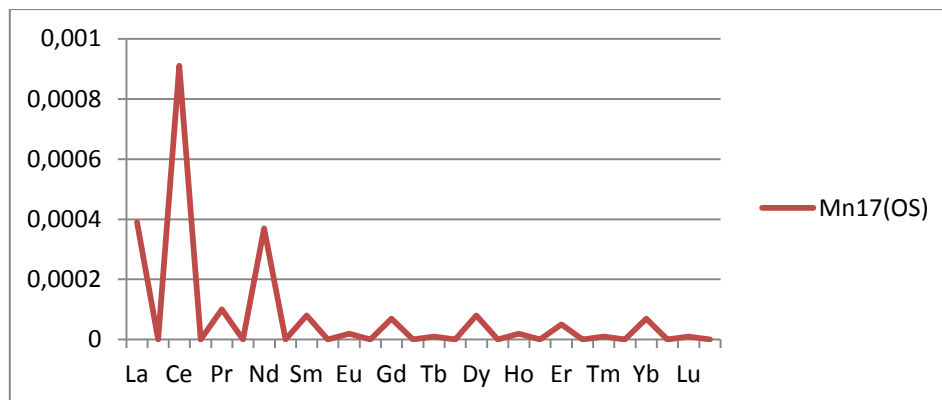




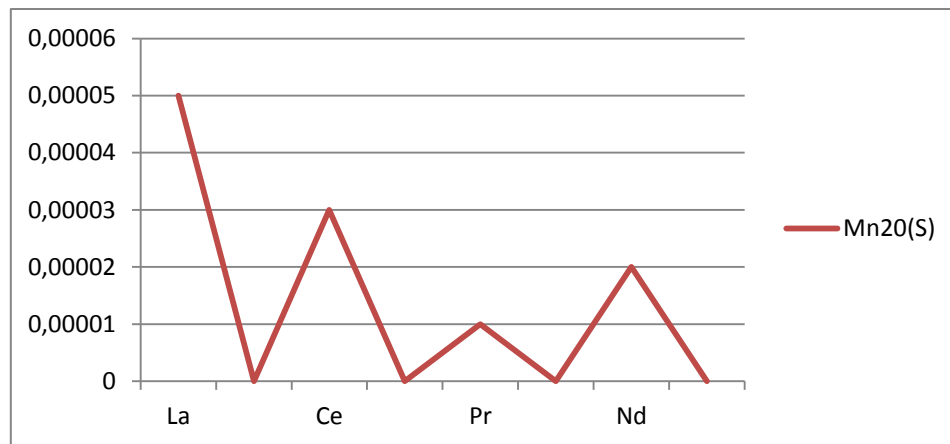
**Figura 3.46.** Concentración de los elementos menores (Sc, V, Zn) del perfil M-47 de la zona laterítica.



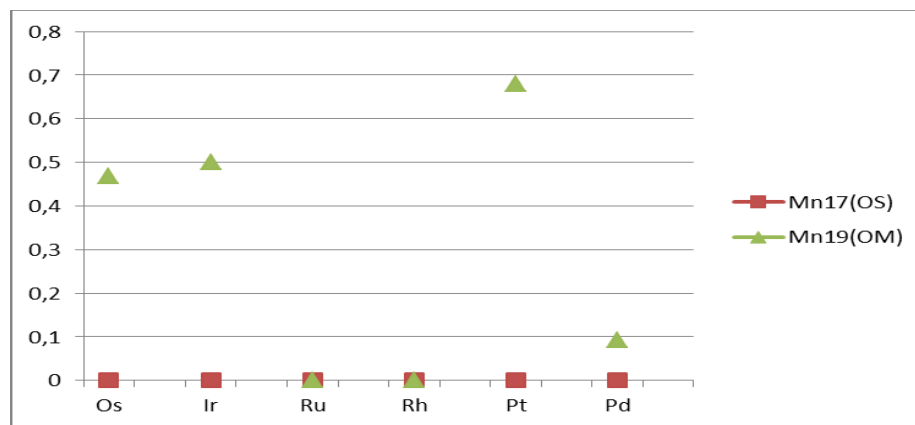
**Figura 3.47.** Concentración de los elementos menores (Sc, V, Zn) del perfil M-47 de la zona silicatada.



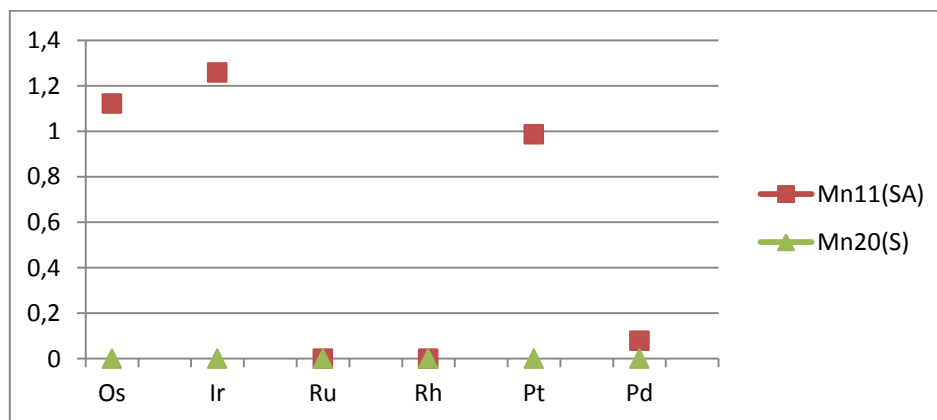
**Figura 3.48.** Concentración de las tierras raras del perfil M-47 de la zona laterítica.



**Figura 3.49.** Concentración de las tierras raras del perfil M-47 de la zona silicatada.



**Figura 3.50.** Concentración de los elementos del grupo del platino del perfil M-47 de la zona laterítica.



**Figura 3.51.** Concentración de los elementos del grupo del platino del perfil M-47 de la zona silicatada.

A partir de estos gráficos, se comentará dicha tendencia de concentración, donde se declaran los horizontes de concentración y los elementos correspondientes.

La muestra **Mn8** está ubicada en el ocre medio (OM) en la zona laterítica del perfil M-47 con altos contenidos de Ni con 1.149 % y bajos contenidos de V con 0.059 %; y la muestra Mn8f1 con alta concentración de Cr con 2.070 % y en baja concentración al V con 0.062 %. Rango del Ni: (0.718-1.424); V: (0.031-0.098); de la Mn8f1, rango del Cr: (1.024-4.146) y V: (0.028-0.11).

La muestra **Mn11** está ubicada en la serpentina alterada (SA) perteneciente a la zona silicatada con altos contenidos de Ni con 0.851 % y bajos contenidos de V con 0.071 %, además de altos valores de Ir con 1.258 % y en menor grado al Pd con 0.078 %. Rango del Ni: (3.259-5.434); V: (0.049-0.085); Ir: (0.528-1.767) y Pd: (0.106-0.358).

La muestra **Mn17** es una de las muestras más significativas del perfil laterítico (M-47) pues contiene elementos menores, tierras raras y EGP, ubicada la misma en el ocre superior (OS) en la zona laterítica de dicho perfil con altos contenidos de Cr de 2.776 % y en menor grado al Sc de 0.007%, presenta altos contenidos de lantano (La) y bajos contenidos de terbio (Tb), tulio (Tm) y lutecio (Lu) con 0.00001 %, además del alto contenido del platino con 0.0000034 % y más bajo el Os con 0.0000004 %.

La muestra **Mn19** está situada en el ocre medio (OM) de este perfil laterítico en la zona laterítica donde contiene una alta concentración de Cr con 28.203 % y bajas concentraciones de V con 0.042 %, además de alta concentración del Pt con 0.679 % y muy baja concentración de Pd con 0.092 %. Rango del Cr: (1.445-54.962); V: (0.01-0.075); Pt: (0.576-0.782) y Pd: (0.035-0.15).

La muestra **Mn20** es otra de las muestras más significativas de nuestro estudio, pues está ubicada en la serpentina inalterada (S) en la zona silicatada con contenidos altos de Ni con 0.361 % y bajos contenidos de Sc con 0.0008%, además de valores muy bajos de La, Ce, Pr y neodimio (Nd) que varían de 0.00001 a 0.000055 %. Contiene también altos valores de Ru con 0.0000008 % y bajos valores de Rh con 0.0000001 %.

Se considera que dentro de este perfil laterítico (M-47) los horizontes que contienen mayor concentración de elementos menores y elementos trazas son el ocre medio (OM) y la serpentina alterada (SA), donde se presentan con mayor concentración el Mn, Ni, Ce, La, Pt e Ir.

De acuerdo a la caracterización de las muestras de cada perfil laterítico y los horizontes de mayor concentración de los elementos menores y de elementos trazas, se puede considerar que el perfil que contiene una mayor concentración de estos elementos es el perfil L-48.

### **3.5 Establecer correlaciones entre los elementos mayoritarios (Fe, Al, Si y Mg), minoritarios relevantes (Ni, Co y Mn) y minoritarios como metales críticos: ETR, EGP y el Sc, V, existentes en perfiles del yacimiento Punta Gorda.**

Para la realización de la correlación entre elementos mayoritarios (Fe, Al, Si y Mg), minoritarios relevantes (Ni, Co y Mn) y minoritarios como metales críticos: ETR, EGP y el Sc, V, se utilizó la matriz de correlación por el Coeficiente de Pearson en Excel según los datos de las muestras analizadas en cada perfil, por zona en cada perfil laterítico para determinar cómo se comportan estos elementos de gran interés.

**Tabla 3.11.** Interpretación del coeficiente

Coeficiente	Interpretación	Color
0	Nula	-
>0.02-0.2	Muy Baja	Anaranjado
>0.2-0.4	Baja	Morado
>0.4-0.6	Moderada	Verde
>0.6-0.8	Alta	Azul
>0.8-<1.0	Muy alta	Rojo
1.0	Perfecta	Rosado

# negativo	inversa	Negro
------------	---------	-------

**Tabla 3.12.** Matriz de correlación de los elementos mayoritarios del perfil L-48 de la zona laterítica.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	NiO
SiO <sub>2</sub>	1						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.28454847	1					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03381838	-0.95681583	1				
MnO	0.88205247	-0.35012615	0.15740472	1			
MgO	0.03377457	-0.31017259	0.39607896	0.17965148	1		
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.88625092	-0.36448473	0.17075307	0.99544567	0.16766354	1	
NiO	0.17785813	-0.41055597	0.29771863	0.1144247	-0.62209053	0.09170934	1

En el perfil L-48 en la zona laterítica según la matriz de correlación y el coeficiente de interpretación que se utilizó, presentan con muy alta correlación de 0.99 el Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> con el MnO, con 0.88 el SiO<sub>2</sub> con el MnO y Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, con baja correlación al Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con el MgO y NiO.

**Tabla 3.13.** Matriz de correlación de los elementos mayoritarios del perfil L-48 de la zona silicatada.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	NiO
SiO <sub>2</sub>	1						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1	1					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1	1	1				
MnO	-1	1	1	1			
MgO	1	-1	-1	-1	1		
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-1	1	1	1	-1	1	
NiO	-1	1	1	1	-1	1	1

En el perfil L-48 de la zona silicatada se presenta una perfecta e inversa correlación igual a 1, donde el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tiene perfecta y positiva correlación con el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> y NiO; el SiO<sub>2</sub> con el MgO; el MnO con Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> y NiO; y el Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> con NiO.

**Tabla 3.14.** Matriz de correlación de los elementos mayoritarios del perfil M-47 de la zona laterítica.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	NiO
SiO <sub>2</sub>	1						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.9640351	1					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.9282439	-0.97105665	1				
MnO	-0.46231964	-0.5479858	0.36787525	1			
MgO	0.22203583	0.3737479	-0.2731532	-0.85156792	1		
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-0.3097221	-0.43205003	0.29122831	0.91819421	-0.96939326	1	
NiO	0.38166777	0.34869955	-0.24369415	-0.43235531	0.42118839	-0.57789392	1

El perfil M-47 de la zona laterítica presenta variedad en cuanto a los coeficientes de correlación, pues tienen muy alta correlación de 0.99 el SiO<sub>2</sub> con el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y el MnO con Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; de moderada de 0.44 el MgO con NiO y baja de 0.33 el SiO<sub>2</sub> con NiO, el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con MgO y NiO; y el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con MnO.

**Tabla 3.15.** Matriz de correlación de los elementos mayoritarios del perfil M-47 de la zona silicatada.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	NiO
SiO <sub>2</sub>	1						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1	1					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	-1	1				
MnO	1	-1	1	1			
MgO	1	-1	1	1	1		
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1	-1	1	1	1	1	
NiO	-1	1	-1	-1	-1	-1	1

El perfil M-47 en la zona silicatada presenta con perfecta correlación igual a 1 el SiO<sub>2</sub> con Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO y Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con NiO; el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con MnO, MgO y Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; el MnO con MgO y Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; y el MgO con el Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

**Tabla 3.16.** Matriz de correlación del perfil L-48 de la zona laterítica de elementos menores y trazas.

	Sc	V	Ni	Co	Mn	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd
Sc	1																								
V	0,073	1																							
Ni	-0,253	-0,853	1																						
Co	-0,111	-0,849	0,978	1																					
Mn	-0,251	-0,922	0,977	0,936	1																				
La	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1																			
Ce	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1																		
Pr	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1																	
Nd	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1																
Sm	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1															
Eu	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1														
Gd	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1													
Tb	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1	1												
Dy	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
Ho	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
Er	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
Tm	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
Yb	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
Lu	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
Os	-0,371	-0,13	0,093	0,176	0,025	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	1				
Ir	-0,348	-0,04	-0,023	0,062	-0,084	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	0,993	1			
Ru	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,371	-0,348	1		
Rh	1	0,073	-0,253	-0,111	-0,251	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,371	-0,348	1	1	
Pt	-0,392	-0,244	0,241	0,322	0,167	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	0,988	0,964	-0,392	-0,392	1
Pd	-0,34	-0,012	-0,058	0,026	-0,117	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	0,988	0,999	-0,34	-0,34	0,953

El perfil L-48 en la zona laterítica según la matriz de correlación, y el coeficiente de interpretación que se utilizó; se determinó que el Sc tiene un comportamiento perfecto con las ETR y con el Ru y el Rh; presentan con muy alta correlación el Ni con el Co de 0.97, Mn-Co con 0.93, Mn-Ni con 0.97, Os-Ir con 0.99, Pt-Os con 0.98, Pt-Ir con 0.96, Pd-Ir con 0.99, Pt-Pd con 0.95.

**Tabla 3.17.** Matriz de correlación del perfil L-48 de la zona silicatada de elementos menores y trazas.

	Sc	V	Ni	Co	Mn	La	Ce	Pr	Nd	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd
Sc	1														
V	-1	1													
Ni	1	-1	1												
Co	-1	1	-1	1											
Mn	-1	1	-1	1	1										
La	1	-1	1	-1	-1	1									
Ce	1	-1	1	-1	-1	1	1								
Pr	1	-1	1	-1	-1	1	1	1							
Nd	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1						
Os	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1					
Ir	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1				
Ru	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1			
Rh	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1		
Pt	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	
Pd	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1

En la zona silicatada de este perfil los elementos de interés en nuestra investigación muestran en su mayoría una perfecta correlación (igual a 1); dentro de ello son muy significativas el Sc con las ETR y el Ru y Rh; el V con el Co, Mn

Os, Ir, Pt, Pd lo que se puede interpretar que el Ru y Rh se separan del EGP por su tendencia de muy baja concentración.

**Tabla 3.18.** Matriz de correlación del perfil M-47 de la zona laterítica de elementos menores y trazas.

	Sc	V	Ni	Co	Mn	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd
Sc	1																								
V	-0,897	1																							
Ni	-0,045	-0,336	1																						
Co	-0,705	0,324	0,56	1																					
Mn	-0,387	-0,058	0,747	0,925	1																				
La	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1																			
Ce	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1																		
Pr	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1																	
Nd	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1																
Sm	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1															
Eu	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1														
Gd	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1													
Tb	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1	1												
Dy	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
Ho	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
Er	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
Tm	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
Yb	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
Lu	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
Os	-0,333	-0,113	0,734	0,903	0,997	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	1				
Ir	-0,333	-0,113	0,734	0,903	0,997	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	1	1			
Ru	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,333	-0,333	1		
Rh	1	-0,897	-0,045	-0,705	-0,387	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,333	-0,333	1	1	
Pt	-0,333	-0,113	0,734	0,903	0,997	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	1	1	-0,333	-0,333	1
Pd	-0,333	-0,113	0,734	0,903	0,997	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	1	1	-0,333	-0,333	1

El perfil M-47 en la zona laterítica según la matriz de correlación utilizada y el coeficiente de interpretación propuesta para determinar correlaciones existentes; se identificó que el Sc presenta un comportamiento perfecto con las ETR y el Ru y Rh; con muy alta correlación con más de 0.99 el Mn con el Co y ellos dos juntos con el Os, Ir, Pt, Pd; además el Ni presenta una alta correlación con el Mn, Os, Ir, Pt, Pd. El Ru y Rh se separan del EGP por su baja concentración y el Os, Ir, Pt, Pd forman un solo grupo por su buen comportamiento.

**Tabla 3.19.** Matriz de correlación del perfil M-47 de la zona silicatada de elementos menores y trazas.

	Sc	V	Ni	Co	Mn	La	Ce	Pr	Nd	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd
Sc	1														
V	-1	1													
Ni	-1	1	1												
Co	-1	1	1	1											
Mn	-1	1	1	1	1										
La	1	-1	-1	-1	-1	1									
Ce	1	-1	-1	-1	-1	1	1								
Pr	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1							
Nd	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1						
Os	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1					
Ir	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1				
Ru	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1		
Rh	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	
Pt	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
Pd	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1

En la zona silicatada del perfil M-47, en su mayoría presentan perfecta correlación igual a 1; entre ellas son muy significativas el Sc con las ETR y el Ru y Rh; el V



tiene un buen comportamiento con Ni, Co, Mn, Os, Ir, Pt, Pd; y el Pt y Pd juntos con el Ni, Co, Mn, Os, Ir.

**Tabla 3.20.** Matriz de correlación del Sc, V con ETR y EGP del perfil M-47 de la zona laterítica.

	Sc	V	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd
Sc	1																					
V	-0,897	1																				
La	1	-0,897	1																			
Ce	1	-0,897	1	1																		
Pr	1	-0,897	1	1	1																	
Nd	1	-0,897	1	1	1	1																
Sm	1	-0,897	1	1	1	1	1															
Eu	1	-0,897	1	1	1	1	1	1														
Gd	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1													
Tb	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1	1												
Dy	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
Ho	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
Er	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
Tm	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
Yb	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
Lu	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
Os	-0,333	-0,113	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	1					
Ir	-0,333	-0,113	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	1	1				
Ru	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,333	-0,333	1			
Rh	1	-0,897	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,333	-0,333	1	1		
Pt	-0,333	-0,113	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	1	1	-0,333	-0,333	1	
Pd	-0,333	-0,113	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	-0,333	1	1	-0,333	-0,333	1	1

En el perfil M-47 de la zona laterítica se refleja un perfecto comportamiento del Sc con las ETR y ellas entre sí y con el Ru y Rh. El V presenta una alta correlación inversa con la mayoría de los elementos menores y con el Os, Ir, Pt, Pd. Este comportamiento nos demuestra la unión de las ETR por su concentración similar y la separación del Ru y Rh del EGP por la variedad en su concentración.

**Tabla.3.21.** Matriz de correlación del Sc, V con ETR y EGP del perfil M-47 de la zona silicatada.

	Sc	V	La	Ce	Pr	Nd	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd
Sc	1											
V	-1	1										
La	1	-1	1									
Ce	1	-1	1	1								
Pr	1	-1	1	1	1							
Nd	1	-1	1	1	1	1						
Os	-1	1	-1	-1	-1	-1	1					
Ir	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1				
Ru	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1			
Rh	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1		
Pt	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	
Pd	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1

En la zona silicatada de este perfil se demuestra que el Sc tiene una tendencia perfecta con las ETR y el Ru y Rh, mientras que el V presenta una correlación

inversa con estos elementos; y además del buen comportamiento del Pt y Pd con el Os y Ir.

**Tabla 3.22.** Matriz de correlación del Sc, V con ETR y EGP del perfil L-48 de la zona laterítica.

	Sc	V	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd
Sc	1																					
V	0,073	1																				
La	1	0,073	1																			
Ce	1	0,073	1	1																		
Pr	1	0,073	1	1	1																	
Nd	1	0,073	1	1	1	1																
Sm	1	0,073	1	1	1	1	1															
Eu	1	0,073	1	1	1	1	1	1														
Gd	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1													
Tb	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1	1												
Dy	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
Ho	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
Er	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
Tm	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
Yb	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
Lu	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
Os	-0,371	-0,13	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	-0,371	0,993	1				
Ir	-0,348	-0,04	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	0,993	1	1			
Ru	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,371	-0,348	1			
Rh	1	0,073	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-0,371	-0,348	1	1		
Pt	-0,392	-0,244	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	-0,392	0,988	0,964	-0,392	-0,392	1	
Pd	-0,34	-0,012	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	-0,34	0,988	0,999	-0,34	-0,34	0,953	1

En la zona laterítica de este perfil se muestra la similitud del Sc en los dos perfiles de su perfecto comportamiento con las ETR y el Ru y Rh, con muy alta de 0.99 el Os con el Ir, Pt, Pd y muy baja correlación del V con ETR y el Ru y Rh.

**Tabla 3.23.** Matriz de correlación del Sc, V con ETR y EGP del perfil L-48 de la zona silicatada.

	Sc	V	La	Ce	Pr	Nd	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd
Sc	1											
V	-1	1										
La	1	-1	1									
Ce	1	-1	1	1								
Pr	1	-1	1	1	1							
Nd	1	-1	1	1	1	1						
Os	-1	1	-1	-1	-1	-1	1					
Ir	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1				
Ru	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1			
Rh	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1		
Pt	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	
Pd	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1

En la zona silicatada de este perfil se muestra muy similar al otro perfil con un comportamiento perfecto del Sc con las ETR y el Ru y Rh y la inversa correlación del V con estos elementos pero muy buena con el Os, Ir, Pt, Pd.

**Interpretación de los resultados.**

Químicamente se caracterizan los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda L-48 y M-47, ambos con elevados contenidos de hierro y aluminio de tipo óxido en las zonas lateríticas y altas concentraciones de sílice y magnesio de tipo óxido en la zona silicatada.

En cuanto a las características mineralógicas de ambos perfiles se determinaron minerales con altos contenidos de hierro, aluminio, manganeso, magnesio y sílice, predominado con mayores reflejos difractométricos a minerales como: la goethita, hematita, gibssita, maghemita, magnetita, lizardita, lithioforita y forsterita.

Se logró identificar los horizontes de mayor concentración en un contenido promedio de por ciento en peso a partir de datos de Microscopia Electrónica de Barrido de los elementos menores y elementos trazas, donde se determinó que en el perfil L-48 en la zona laterítica el ocre medio (OM) y en la zona silicatada la serpentina alterada (SA) son las de mayor concentración en estos elementos de interés; y en el perfil M-47 se concentran más en el ocre medio (OM) de la zona laterítica y en la silicatada la serpentina inalterada (S); y por ende el perfil de mayor concentración y que se considera maduro, el L-48 como el más perspectivo en el contenido de estos materiales.

Se establecieron correlaciones entre elementos mayores, elementos menores y elementos trazas con la matriz de correlación por el Coeficiente de Person; de acuerdo a los macro componentes en el perfil L-48 de la zona laterítica se muestra con muy alta correlación a la sílice con el manganeso y cobalto, y el manganeso con el cobalto. En la zona silicatada se presentan con perfecta correlación a la sílice con el magnesio, aluminio, hierro, manganeso, cobalto y níquel, y entre ellos también.

El perfil M-47 en la zona laterítica se muestran con buen comportamiento al aluminio con la sílice y el cobalto con el manganeso. En la zona silicatada con un perfecto comportamiento a la sílice con hierro, manganeso, magnesio y cobalto.

En cuanto a los elementos minoritarios y trazas en el perfil L-48 de la zona laterítica y la zona silicatada al igual que en el perfil M-47 se muestra la tendencia de un perfecto comportamiento del Sc con las ETR y el Ru y Rh. En la zona laterítica del perfil L-48 se determinó con muy alta correlación el Ni con Co, Mn, Os, Ir, Pt, Pd. En la zona silicatada se muestra un perfecto comportamiento del V con el Co, Mn, Os, Ir, Pt, Pd y entre ellos.

En el perfil M-47 se demuestra también muy alta correlación del Co con Mn, Os, Ir, Pt, Pd y entre ellos juntos. Y en la zona silicatada el V con el Ni, Co, Mn, Os, Ir, Pt, Pd presentan un perfecto comportamiento al igual que en la zona silicatada del perfil L-47 excepto el Ni que presenta muy baja correlación con estos elementos de interés.

## **Conclusiones**

- ✚ Los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda L-48 y M-47 son del tipo óxidos, confirmados por sus altos contenidos de hierro y aluminio en la zona laterítica y la sílice y magnesio en la silicatada. El perfil L-48 es un perfil bien desarrollado, maduro y completo con significativo contenido de Mn.
- ✚ Mineralógicamente la fase mineral principal en la zona laterítica de ambos perfiles es la goethita, y de forma secundaria la gibssita, la hematita, maghemita y magnetita; además la lithioforita es el principal mineral portador de manganeso, con altos contenidos en la muestra Mn3. La zona silicatada está compuesta por lizardita, magnesita y forsterita y en menor grado a la maghemita.
- ✚ En la zona laterítica de estos perfiles el horizonte de mayor concentración de elementos menores (Sc, V, Ni, Co, Mn, Zn y Cr) y elementos trazas (ETR y EGP) es el horizonte de ocre medio (OM), asociado a altos contenidos de Mn. En tanto en la zona silicatada, estos elementos se concentran en el horizonte de serpentina alterada (SA) para el perfil L-48 y en la serpentina inalterada (S) para el perfil M-47.
- ✚ Se detectó en estos perfiles lateríticos (L-48 y M-47) que el Sc mantiene una perfecta correlación positiva con los ETR, Ru y Rh, tanto en la zona laterítica como silicatada; similar comportamiento se observó entre el V y los EGP como el Os, Ir, Pt y Pd, en la zona silicatada.
- ✚ El Os, Ir, Pt y Pd forman un grupo homogéneo por su similar comportamiento y su tendencia de concentración, tanto en las zonas lateríticas como silicatadas de este ambiente laterítico.

## **Recomendaciones**

- ✚ Seguir con los estudios de análisis de correlación entre elementos menores y elementos trazas, para determinar el comportamiento de estos elementos de gran interés en este actual ambiente laterítico para su futura explotación.

**Bibliografía.**

1. Aiglsperger, Thomas; Joaquín A. Proenza; JohnF.Lewis; Manuel Labrador; Martin Svojtka; Arturo Rojas-Purón; Francisco Longo; JanaĐurišová: *Critical metals (REE, Sc, PGE) in Ni laterites from Cuba and the Dominican Republic*. Ore Geology Reviews 73:127–147; journal homepage: [www.elsevier.com/locate/oregeorev](http://www.elsevier.com/locate/oregeorev). 2016.
2. Brand, N. W.; Butt, C. R. M. & Elias, M. 1998: Nickel laterites: classification and features. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics* 17:81-88.
3. Chassé, M.; Griffin, W. L.; O'Reilly, S. Y. y Calas, G. 2016: *Scandium speciation in an excellent lateritic deposit*. Geochemical Perspectives Letters, 3(2): 105-114.
4. Chorley, R.J.; Schumm, S.A.; Sugden, D.E. (1984). *Geomorphology*. Londres: Methuen. p.605.
5. Cobiella, J.; Campos, M.; Boiteau, A.; Quintas, F. *Geología del flanco sur de Sierra del Purial*. La Minería en Cuba 3 (54-62) y No. 1, 1977.
6. Cobiella, J.L. *El vulcanismo paleogénico cubano*. Apuntes para un nuevo enfoque. Revista tecnológica, 18(4) ,25-32, 1988.
7. Cuenca: *Presencia de los óxidos de manganeso en el perfil laterítico del yacimiento Punta Gorda, Moa – Holguín*, 2009.
8. Freyssinet, P., Butt, C.R.M., Morris, R.C., 2005. *Ore-forming processes related to lateritic weathering*. Econ. Geol. 100th Anniversary Volume, pp. 681–722.
9. Fonseca, E., Zelepugin, V.N, V.N., Heredia, M., (1985). Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19, 321-329.
10. 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.

11. Gleeson, S.A., Butt, C.R., Elias, M., 2003. *Nickel laterites: a review*. SEG Newsl. 54, 11–18.
12. 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. Furrzola, K.E. Núñez-Cambra (eds.). *Estudios sobre Geología de Cuba, Ciudad de La Habana, Instituto de Geología y Paleontología*. 357-364p.
13. Iturralde-Vinent, M. A.: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. IGCP Project 364. Special Contribution. No1. 1996.
14. 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.
15. Iturralde-Vinent M.A. 1996b. Introduction to Cuban Geology and Tectonics. En: Iturralde-Vinent. (ed.). *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. IGCP Project 364. Special contribution n.1. 3-35p.
16. 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.
17. Iturralde-Vinent M.A. 1998. *Sinopsis de la constitución geológica de Cuba*. Acta Geológica Hispana 33 (1-4). 9-56p.
18. 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.
19. Lambiv Dzemua., G., Gleeson, S.A., Schofield, P.F. (2013): *Mineralogical characterization of the Nkamouna Co–Mn laterite ore, southeast Cameroon*. Miner Dep., 48, 155–17.
20. Lavaut, W., 1998. *Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental*. Rev. Minera Geol. 15, 9–16.
21. Llorca, S.M. (1993): *Metallogeny of supergene cobalt mineralization, New Caledonia*. Aust. J. Earth Sci., 40, 377-385 Marsh & Anderson, 2011.



- 
22. Maulana, A.; Sanematsu, K. y Sakakibara, M. 2016: *An Overview on the Possibility of Scandium and REE Occurrence in Sulawesi, Indonesia*. Indonesian Journal on Geoscience, 3(2): 139-147.
23. Mudd, G.M. (2010): *Global trends and environmental issues in nickel minin sulfides versus laterites*. Ore Geol. Rev., 38, 9–26.
24. Muñoz-Gómez, José Nicolás; Alain Carballo-Peña; Gerardo Antonio Orozco-Melgar; Arturo Luis Rojas-Purón. *Criterios geológicos y económicos sobre la existencia de escandio en los yacimientos lateríticos de Moa, Cuba*. Minería y Geología / v.34 n.4 / octubre-diciembre / 2018 / p. 371-383 ISSN 1993 8012. 2018.
25. Norma: *Análisis De Correlaciones, Universidad Tecnológica De Pereira, Facultad Ciencias De La Salud Programa Ciencias Del Deporte y La Recreación, Seminarios De Investigación*, 1984.
26. Proenza: *Mineralizaciones de cromita en la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Mercedita*. Barcelona (España), 1997.
27. Proenza, J.A., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., Bodinier, J.L. (1999). *Al- and Cr- rich chromitites from the Mayarí-Baracoa Ophiolite Belt (eastern Cuba): consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotite in suprasubduction mantle*. Economic Geology 94, 547-566.
28. Proenza, J., Melgarejo, J.C., Gervilla, F., Solé, J. 1999: Los niveles de gabros bandeados en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba). Gabros característicos de cumulos de ofiolitas de zona de suprasubducción. *Minería y Geología*, 16 (2): 5- 12.
29. Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., Bodinier, J.L. Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (eastern Cuba): consequence of interaction between volatile-rich and peridotites in suprasubduction mantle. Economic Geology. 94, 547-566. 1999<sup>a</sup>.
30. Proenza, J.A., Melgarejo, J.C, Gervilla, F. (2003b). *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 199-202.

31. Proenza, J. A. 2015: *Mineralogía y geoquímica de Ni, Co, EGP, Sc, REE en yacimientos lateríticos*. Macla Revista de la Sociedad Española de Mineralogía 20: 1-7.
32. Quintas F. Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico superior y Paleógeno de la provincia Guantánamo y zonas cercanas. Tesis doctoral. Centro de Información. ISMM, Cuba. 1989.
33. Rojas Purón, A, Rômulo Simões Angélica. Orozco, G. 2012: *Identificación mineralógica de los óxidos de manganeso del yacimiento laterítico Punta Gorda, Moa, Cuba*. p.16-35. ISSN 1993 8012. URL [www.ismm.edu.cu/revistamg](http://www.ismm.edu.cu/revistamg). Vol.28, No.1. pp 1-26. Revista Minería y Geología.
34. Rojas Purón, A, Orozco, G., Vera, O., Arderí, A. 2005. *Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda*. I CONVENCIÓN CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA. La Habana, abril 2005. ISSN: 0258 5979.
35. Rodríguez, A. (1998). *Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica*. Tesis doctoral. Centro de Información. ISMM, 124 p.
36. Ulrich Marc, Michel Cathelineau , Manuel Muñoz , Marie-Christine Boiron , Yoram Teitler , Anne Marie Karpoff (2019): *The relative distribution of critical (Sc, REE) and transition metals (Ni, Co, Cr, Mn, V) in some Ni-laterite deposits of New Caledonia*. Journal of Geochemical Exploration 197. 93–113. Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/gexplo](http://www.elsevier.com/locate/gexplo).
37. 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.
38. Wang, W., Pranolo, Y., Cheng, C.Y., 2011. *Metallurgical processes for scandium recovery from various resources: a review*. Hydrometallurgy 108, 100–108.
39. Xiomara Cazañas Díaz, Jorge Luis Torres Zafra, Waldo Lavaut Copa, José Antonio Alonso Pérez, Angélica Isabel Llanes, Rosa Cobas Botey:

*Elementos De Las Tierras Raras, Elementos Del Grupo Del Platino Y Otros Raros Y Dispersos: Principales Tipos Genéticos De Depósitos Y Posibles Áreas De Prospección En El Territorio Nacional. Parte I, INFOMIN Vol.8, No.2, Julio-Diciembre, pp. 85-105, 2016.*

## **Anexos**

### **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

ETR: Elementos de las tierras raras (en español)

REE: Elementos de las tierras raras (en inglés)

EGP: Elementos del grupo del platino (en español)

PGE: Elementos del grupo del platino (en inglés)

La: Elemento químico Lantano

Sc: Elemento químico Escandio

Pr: Elemento químico praseodimio

Nd: Elemento químico neodimio

Sm: Elemento químico samario

Eu: Elemento químico europio

Gd: Elemento químico gadolinio

Tb: Elemento químico terbio

Dy: Elemento químico disprosio

Ho: Elemento químico holmio

Er: Elemento químico erbio

Tm: Elemento químico tulio

Yb: Elemento químico iterbio

Y: Elemento químico Itrio

Pm: Elemento químico Promecio

Ce: Elemento químico Cerio

Lu: Elemento químico Lutecio

Eu: Elemento químico europio

Tb: Elemento químico terbio

Nd: Elemento químico neodimio

Fe: Elemento químico hierro

Zn: Elemento químico zinc

Ru: Elemento químico rutenio

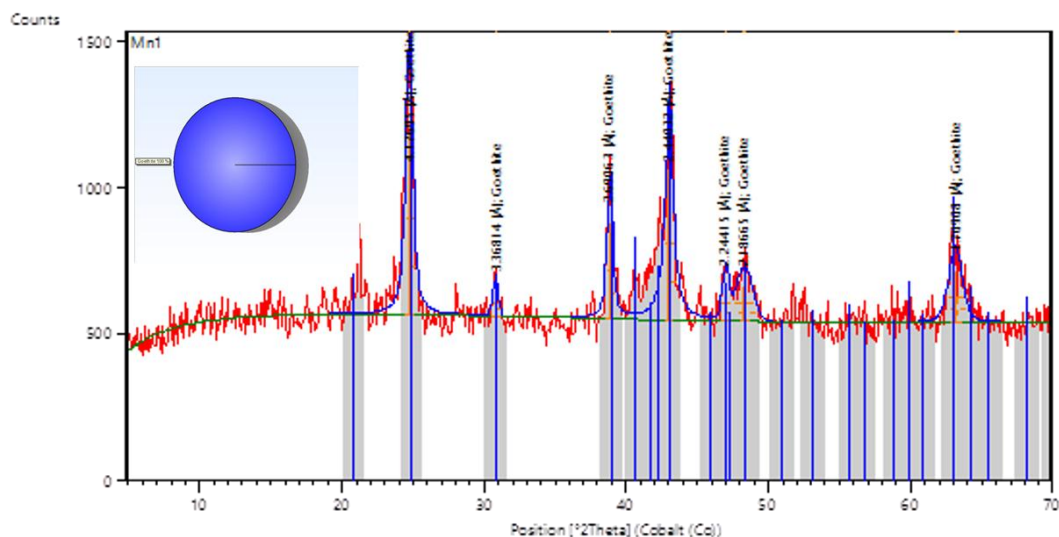
Rh: Elemento químico rodio

Pd: Elemento químico paladio

Pt: Elemento químico platino

Os: Elemento químico osmio

Ir: Elemento químico iridio



PeakList: (Bookmark 3)

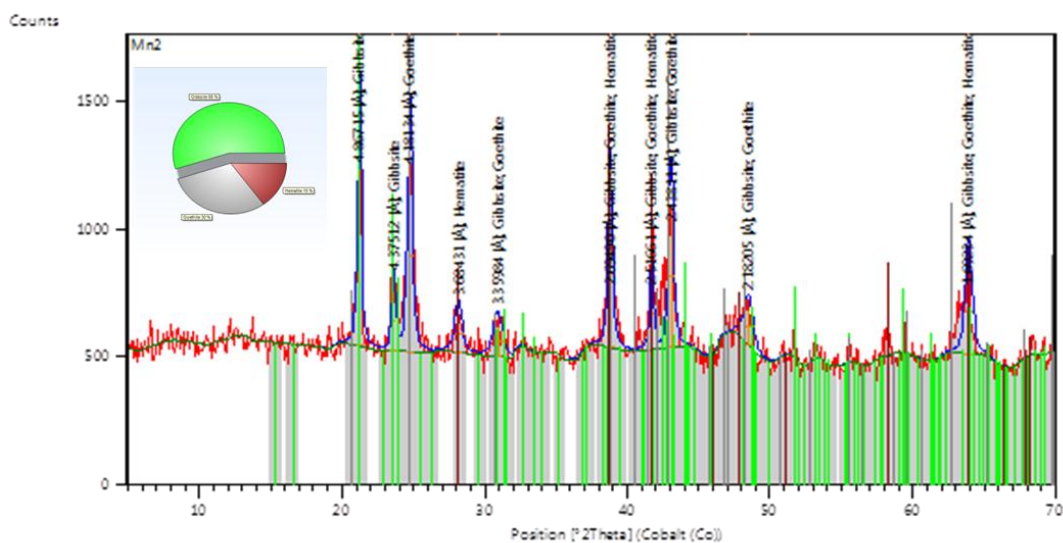
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip Width	Matched by
24.732(7)	654(23)	0.56(2)	4.17695	100.00	0.6761	96-901-0411
24.786(7)	327(23)	0.56(2)	4.17695	50.00	0.6761	
30.80(3)	83(14)	0.45(9)	3.36814	12.64	0.5390	96-901-0411
30.87(3)	41(14)	0.45(9)	3.36814	6.32	0.5390	
38.84(1)	331(17)	0.46(3)	2.69063	50.53	0.5574	96-901-0411
38.92(1)	165(17)	0.46(3)	2.69063	25.26	0.5574	
43.01(1)	522(25)	0.63(4)	2.44032	79.79	0.7577	96-901-0411
43.10(1)	261(25)	0.63(4)	2.44032	39.90	0.7577	
46.98(3)	127(16)	0.51(7)	2.24415	19.37	0.6176	96-901-0411
47.09(3)	63(16)	0.51(7)	2.24415	9.68	0.6176	
48.29(5)	123(9)	1.3(1)	2.18665	18.86	1.5945	96-901-0411
48.41(5)	62(9)	1.3(1)	2.18665	9.43	1.5945	
63.12(2)	180(10)	1.12(7)	1.70908	27.46	1.3419	96-901-

0411

63.27(2) 90(10) 1.12(7) 1.70908 13.73 1.3419

## Identified Patterns List: (Bookmark4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-0411	82	Goethite	0.000	0.844	Fe <sub>3.60</sub> Co <sub>0.40</sub> O <sub>8.00</sub>



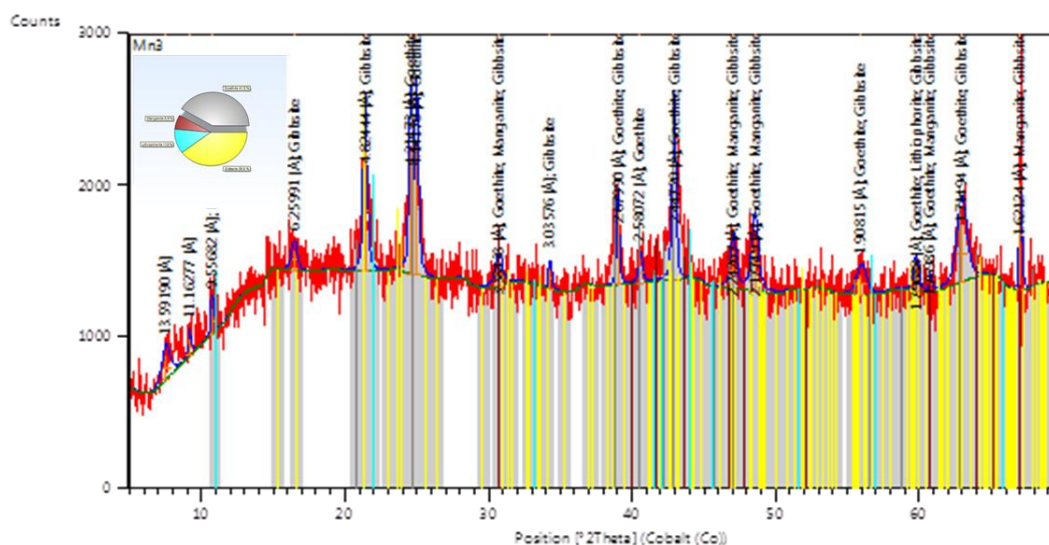
## PeakList: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.1960	867.24	0.2734	4.86715	100.00
23.6123	242.06	0.2734	4.37512	27.91
24.7235	752.75	0.3645	4.18134	86.80
28.1231	147.68	0.5467	3.68431	17.03
30.9036	120.78	0.7289	3.35984	13.93
38.8005	575.22	0.3645	2.69490	66.33
41.6724	279.57	0.2734	2.51661	32.24
43.0800	555.52	0.3645	2.43811	64.06
48.4393	136.73	0.7289	2.18205	15.77

63.8681	330.19	0.5467	1.69234	38.07
---------	--------	--------	---------	-------

## Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-900-8238	61	Gibbsite	0.000	1.038	Al <sub>8.00</sub> O <sub>24.00</sub> H <sub>24.00</sub>
*	96-901-6407	41	Goethite	0.000	0.894	Fe <sub>4.00</sub> O <sub>8.00</sub>
*	96-900-9783	65	Hematite	0.000	0.496	Fe <sub>12.00</sub> O <sub>18.00</sub>



## PeakList: (Bookmark 3)

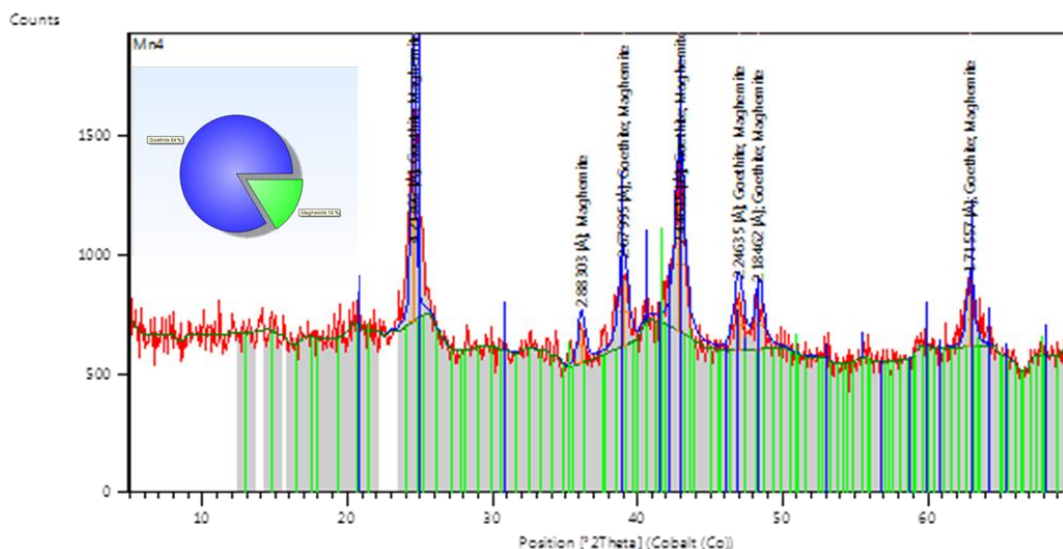
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.5524	157.47	0.6266	13.59190	17.02
9.1991	114.33	0.2350	11.16277	12.36
10.7491	174.37	0.2350	9.55682	18.85
16.4427	134.10	0.4700	6.25991	14.49
21.3859	797.42	0.3133	4.82444	86.18
24.5245	815.84	0.2350	4.21473	88.17
24.9639	873.32	0.3133	4.14170	94.39

30.6745	150.19	0.6266	3.38433	16.23
34.2995	138.44	0.2350	3.03576	14.96
39.0265	500.82	0.1958	2.67990	54.13
40.5909	149.56	0.3133	2.58072	16.16
42.9120	925.26	0.2741	2.44720	100.00
47.0497	255.20	0.4700	2.24267	27.58
48.5471	358.81	0.5483	2.17749	38.78
55.9544	140.30	0.7833	1.90815	15.16
59.7581	171.04	0.3916	1.79688	18.49
60.7659	114.06	0.1175	1.76986	12.33
62.9295	393.26	0.7833	1.71494	42.50
67.0278	702.53	0.1175	1.62124	75.93

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-0409	57	Goethite	0.000	0.632	Fe <sub>3.80</sub> Co <sub>0.20</sub> O <sub>8.00</sub>
*	96-901-6547	27	Manganite	0.000	0.139	O <sub>4.00</sub> Mn <sub>2.00</sub>
*	96-900-1591	18	Lithiophorite	0.000	0.214	Mn <sub>3.00</sub> Al <sub>1.95</sub> Li <sub>0.99</sub> O <sub>12.00</sub> H <sub>6.00</sub>
*	96-101-1082	31	Gibbsite	0.000	0.395	Al <sub>8.00</sub> O <sub>24.00</sub>



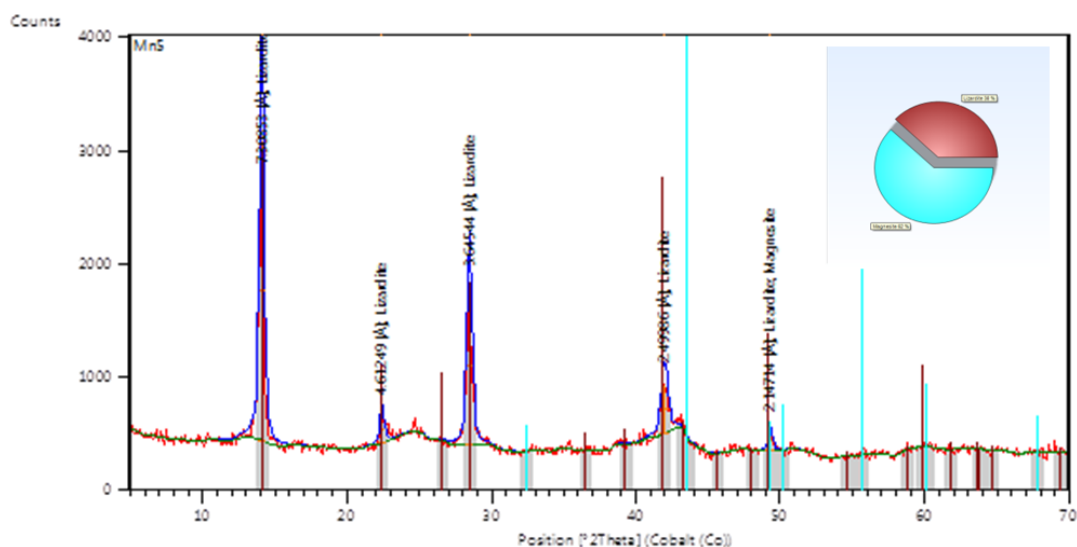


PeakList: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
24.5308	843.70	0.3633	4.21366	100.00
36.1776	152.87	0.5449	2.88303	18.12
39.0257	289.13	0.7266	2.67995	34.27
42.9314	570.37	0.7266	2.44615	67.60
46.9679	216.43	0.7266	2.24635	25.65
48.3786	196.90	0.7266	2.18462	23.34
62.9038	228.00	0.5449	1.71557	27.02

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-900-3079	69	Goethite	0.000	0.880	Fe4.00 O8.00
*	96-900-6319	10	Maghemite	0.000	0.209	Fe72.00 O96.00

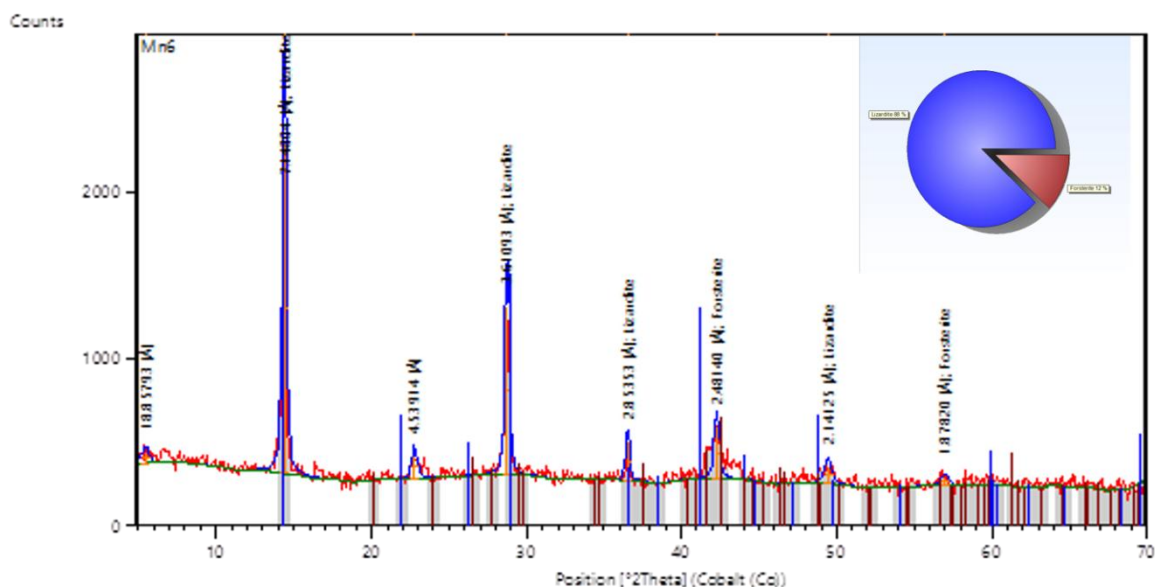


PeakList: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.0706	2647.03	0.3629	7.30853	100.00
22.3810	242.99	0.3629	4.61249	9.18
28.4292	1377.24	0.3629	3.64544	52.03
41.9647	440.65	0.5443	2.49986	16.65
49.2787	156.05	0.3629	2.14714	5.90

PatternList: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound dName	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-6051	52	Lizardite	0.000	0.637	Si1.90 Al0.20 Fe0.34 Mg2.54 O9.00 H4.00
*	96-900-2820	Unmatche dStrong	Magnesite	0.000	0.946	Mg6.00 C6.00 O18.00



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip Width	Matched by
5.4415	66.96	0.5461	18.85793	3.38	0.6553	
14.3881	1980.33	0.2731	7.14804	100.00	0.3277	96-900-7425
22.7474	134.03	0.3641	4.53914	6.77	0.4369	
28.7067	1008.68	0.2731	3.61093	50.93	0.3277	96-900-7425
36.5647	234.22	0.2731	2.85353	11.83	0.3277	96-900-7425
42.2919	307.57	0.3641	2.48140	15.53	0.4369	96-900-4325
49.4234	106.99	0.5461	2.14125	5.40	0.6553	96-900-7425
56.9273	49.30	0.5461	1.87820	2.49	0.6553	96-900-4325

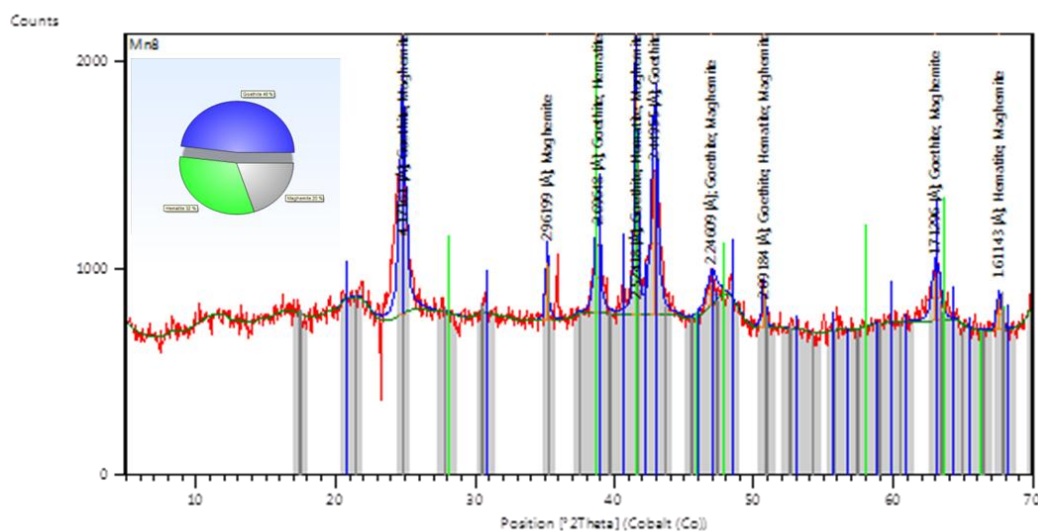
Identified Patterns List: (Bookmark4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-900-7425	24	Lizardite	0.000	0.798	Mg3.00 Si2.00

---

					O9.00
					H4.00
*	96-900-	Unmatche	Forsterite	0.000	0.129 Si4.00
	4325	d Strong			Mg6.89
					Fe1.11
					O16.00

---



PeakList: (Bookmark 3)

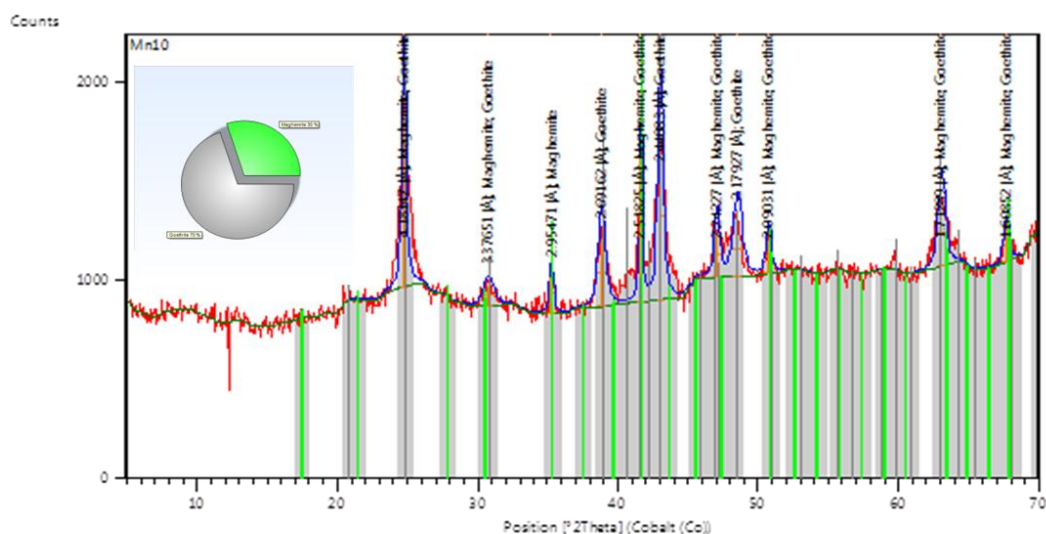
---

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
24.7821	778.84	0.5324	4.17161	73.29
35.1811	283.02	0.2282	2.96199	26.63
38.7770	336.20	0.4564	2.69648	31.64
41.5417	1062.62	0.2282	2.52418	100.00
42.8689	693.10	0.5324	2.44955	65.23
46.9736	106.76	0.9128	2.24609	10.05
50.6721	188.63	0.2282	2.09184	17.75
63.0105	220.64	0.6085	1.71296	20.76
67.4907	153.90	0.3043	1.61143	14.48

---

## Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-0411	69	Goethite	0.000	0.826	Fe <sub>3.60</sub> Co <sub>0.40</sub> O <sub>8.00</sub>
*	96-900-0140	27	Hematite	0.000	0.613	Fe <sub>12.00</sub> O <sub>18.00</sub>
*	96-901-2693	43	Maghemite	0.000	0.374	Fe <sub>21.33</sub> O <sub>32.00</sub>



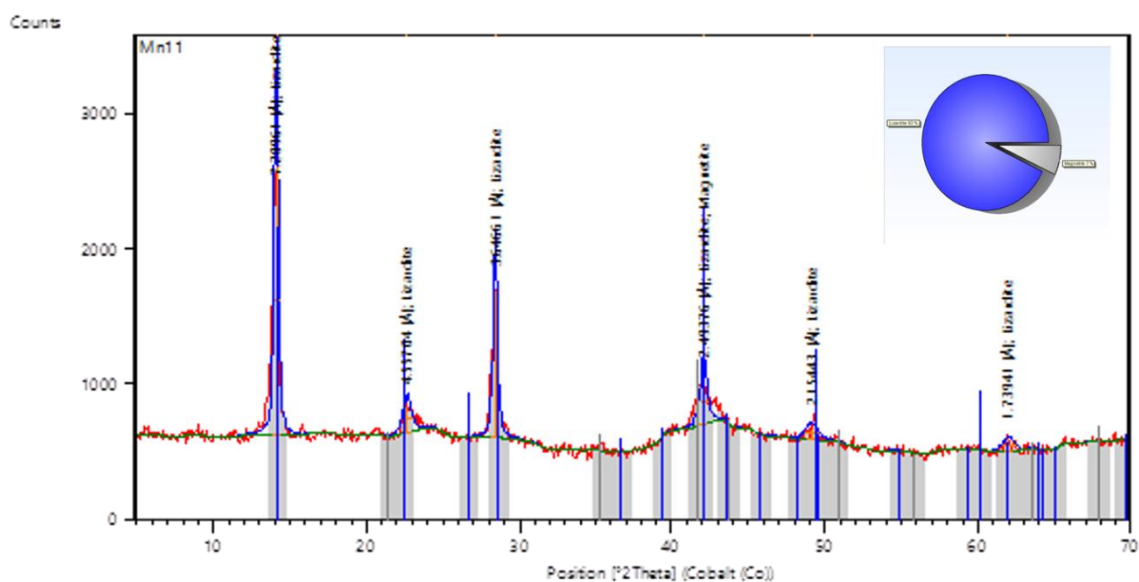
## PeakList: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
24.7227	879.97	0.3808	4.18147	100.00
30.7472	102.27	0.9139	3.37651	11.62
35.2707	183.84	0.3046	2.95471	20.89
38.8497	345.08	0.6093	2.69162	39.21
41.6441	727.79	0.2285	2.51825	82.71
43.0295	844.90	0.4570	2.44083	96.01
47.0585	240.60	0.4570	2.24227	27.34
48.5050	288.79	0.7616	2.17927	32.82

50.7118	180.49	0.4570	2.09031	20.51
63.0132	339.06	0.6093	1.71289	38.53
67.6294	169.43	0.4570	1.60852	19.25

## Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displaceme nt [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901- 2693	52	Maghemite	0.000	0.623	Fe <sub>21.33</sub> O <sub>32.00</sub>
*	96-900- 2160	62	Goethite	0.000	1.062	Fe <sub>4.00</sub> H <sub>4.00</sub> O <sub>8.00</sub>



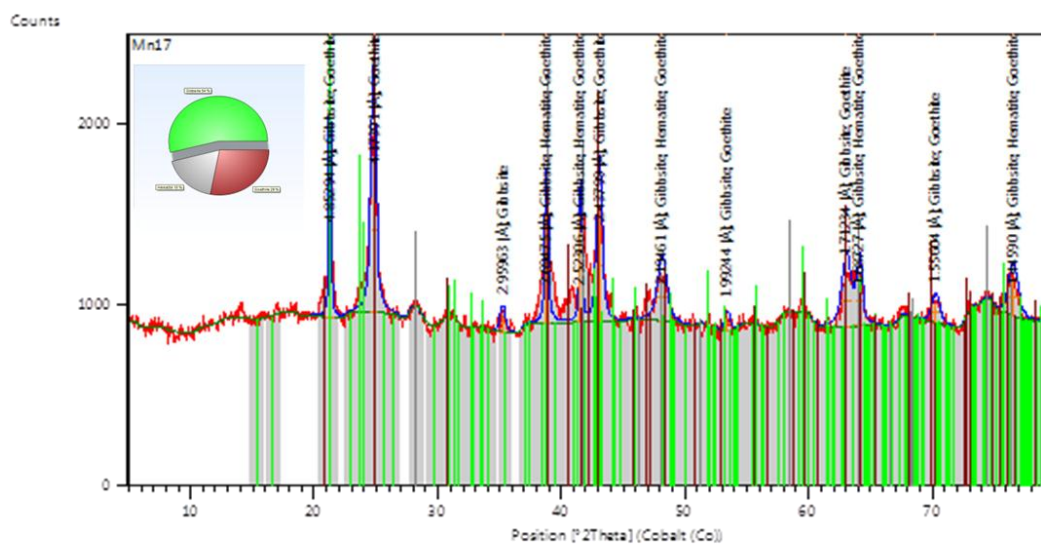
## PeakList: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	TipWidth	Matched by
14.1073	1987.17	0.3043	7.28961	100.00	0.3651	96-900-4994
22.6569	191.86	0.6085	4.55704	9.65	0.7302	96-900-4994

28.4199	1098.61	0.3043	3.64661	55.29	0.3651	96-900-4994
42.0723	340.99	0.5324	2.49376	17.16	0.6389	96-900-4994; 96-900-6248
49.1009	88.70	0.9128	2.15443	4.46	1.0953	96-900-4994
61.9455	74.01	0.9128	1.73941	3.72	1.0953	96-900-4994

### Identified Patterns List: (Bookmark4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-900-4994	43	Lizardite	0.000	0.453	Mg2.82 Fe0.06 Al0.15 Si1.94 O9.00 H4.00
*	96-900-6248	15	Magnetite	0.000	0.138	Fe24.00 O32.00



## PeakList: (Bookmark 3)

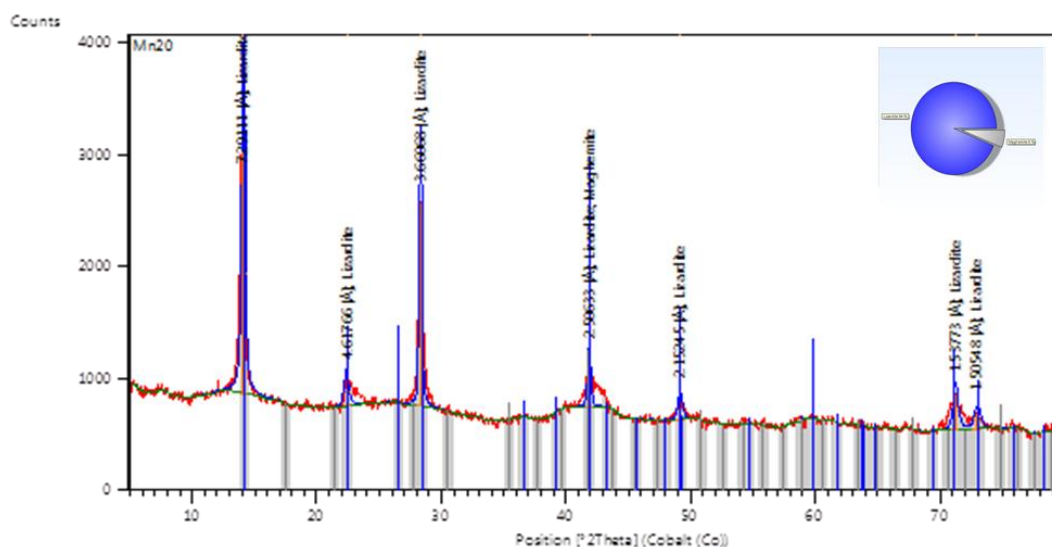
Pos.	Height[cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing[Å]	Rel. Int. [%]
------	-------------	-------------------	--------------	---------------

[°2Th.]				
21.2588	1129.00	0.1708	4.85294	100.00
24.7682	927.00	0.5125	4.17391	82.11
35.2102	98.15	0.5125	2.95963	8.69
38.8027	607.59	0.3416	2.69475	53.82
41.5610	595.86	0.2135	2.52306	52.78
43.0821	630.16	0.5125	2.43799	55.82
48.1443	248.27	0.8541	2.19461	21.99
53.3942	69.87	0.5125	1.99244	6.19
63.0359	282.03	0.8541	1.71234	24.98
64.0831	263.65	0.5125	1.68727	23.35
70.2380	114.18	0.6833	1.55604	10.11
76.5007	203.98	0.8541	1.44590	18.07

## Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-5977	57	Gibbsite	0.000	1.000	Al <sub>8</sub> O <sub>24</sub>
*	96-901-4881	59	Hematite	0.000	0.558	Fe <sub>12</sub> O <sub>18</sub>
*	96-901-0410	61	Goethite	0.000	0.801	Fe <sub>3</sub> Co <sub>0.28</sub> O <sub>8</sub>





PeakList: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.1044	2166.02	0.3401	7.29111	100.00
22.3556	234.88	0.4251	4.61766	10.84
28.3084	1819.06	0.2125	3.66068	83.98
41.8514	433.44	0.2551	2.50633	20.01
49.1490	189.69	0.4251	2.15245	8.76
71.2007	321.54	0.4251	1.53773	14.84
72.9678	146.92	0.5101	1.50548	6.78

Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	96-901-6148	54	Lizardite	0.000	0.664	Si1.88 Al0.24 Fe0.15 Mg2.73 O9.00 H4.00
*	96-900-6318	14	Maghemite	0.000	0.127	Fe21.33 O32.00

