

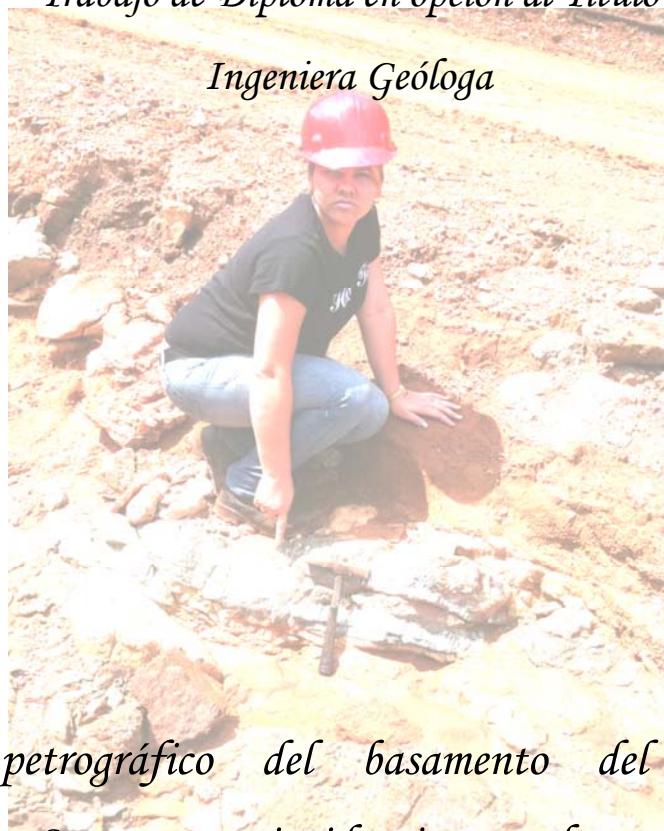


REPUBLICA DE CUBA

MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR

“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

*Trabajo de Diploma en opción al Título  
Ingeniera Geóloga*



*Estudio petrográfico del basamento del yacimiento  
Camarioca Sur y su incidencia en la prospección y  
exploración de los yacimientos lateríticos de Ni y Co.*

*Elaborado por: Liuska Fernández Diéguez*

*Tutor: DrC: León Ortelio Vera Sardiñas*

*MSc :Alianna Corona Rodríguez*

*Co tutor: DrC: José Nicolás Muñoz Gómez*

*Moa 2011*

*“Año 53 de la Revolución”*



## PENSAMIENTO

*"La verdadera grandeza de la ciencia acaba valorándose por su utilidad."*

**Gregorio Marañón**

*"La ciencia se compone de errores, que a su vez, son los pasos hacia la verdad."*

**Julio Verne**

*"Las ciencias tienen las raíces amargas, pero muy dulces los frutos."*

**Aristóteles**



## DEDICATORIA

*Con todo el cariño de mi corazón dedico mi tesis a mis padres queridos.*

*A mi papá por darme fuerzas, por confiar en mí conocimiento, por sentirse orgulloso de su niña antes sus amigos y compañeros. Por creer que soy lo mejor del mundo, por regañarme cuando me equivoco y felicitarme cuando salgo bien. Por hacerme saber que la vida no se acaba en un mal momento sino que continúa y para traernos cosas buenas y mejores personas.*

*A mi mamá, mi mejor amiga, mi confidente que aunque no es muy expresiva siempre ha sabido hacerme saber que voy por el buen camino, que está orgullosa del resultado de mi trabajo. Por darme fuerzas en los momentos difíciles de mi vida cuando pensé en algún momento que no podía continuar, siempre tenía un buen consejo que me animaba y motivaba a seguir adelante con más fuerzas. Por enseñarme que el camino es duro pero no se puede mirar para atrás solo hasta que se llega a la meta. Por rezar todas las noches por su niña.*

*A mi abuela, la cual ha sido un ejemplo de trabajo y sacrificio, por hacerme saber que la mujer debe ser respetada y valorada por sus*



*conocimientos. Por preocuparse en cada momento y quererme dar todos los gustos; en fin por llamarme su lilo.*

*A mi hermano querido, callado pero que me cela y me quiere mucho.*

*A mi tío Tico y a mis tías Ita y Guille que se preocupan por mis estudios y mi vida personal.*

*A mis primas por llorar conmigo, reírse y darme buenos consejos cuando los necesitaba aunque fueran duros.*

*A todas esas personas que me quieren mucho y han velado cada día por que sea mejor persona y logre ser una profesional.*



## AGRADECIMIENTOS

*Especial agradecimiento a mi querido tutor Ortelio Vera por confiar en mí y darme el tema de tesis, por sacar tiempo y atenderme cuando lo necesitaba. A Alianna Corona y a mi cotutor José Nicolás por dedicarme parte de su tiempo, por darme mucha de la información que he utilizado para hacerme una profesional; del cual estoy muy orgullosa.*

*A Iván Barea; siempre sonriente aunque esté atareado, por ayudarme a hacer mis lindos mapas aunque tuviera mucho trabajo.*

*A mis queridas amigas Daya, Yoa, Adita y Maipu por reír conmigo, por ser mi familia estos años ; por aconsejarme y no dejarme caer en ningún momento por duros que fueran estos y a las demás chicas del cuarto; por soportarme cuando estaba alterada por la realización de la tesis.*

*En fin; a todas esas personas que me han acompañado a lo largo de estos cinco largos años y han ayudado a ser de mi una mejor persona.*

*A los demás aunque no los menciono, son importantes porque siempre estarán en mi corazón.*

*A todos ellos, ¡muchas Gracias!*

---



## RESUMEN

El trabajo titulado *Estudio petrográfico del basamento del yacimiento Camarioca Sur y su incidencia en la prospección y exploración de los yacimientos lateríticos de Ni y Co*, se realizó con el objetivo de Identificar y caracterizar petrológicamente las rocas que constituyen el basamento para definir su relación geoquímica con las cortezas de intemperismo que sobre ellas se desarrollan con vista a establecer criterios de búsqueda litológicos que permitan la selección de áreas perspectivas y la discriminación de áreas no favorables para la prospección y exploración de los yacimientos lateríticos.

Para dar cumplimiento a la investigación se realizaron itinerarios de reconocimiento geológico según perfiles coincidentes con las líneas de perforación N – S correspondientes a la red de 33.33 x 33.33 m, para documentar afloramientos y tomar muestras de las litologías principales que afloran en el área de estudio, así como las litologías reveladas en los fondos de las perforaciones realizadas. De las muestras tomadas se confeccionaron las secciones delgadas, para su análisis petrográfico en el ISMM y químico en el Laboratorio Elio Trincado de Santiago de Cuba. Sobre la base de los análisis químicos fueron confeccionados los mapas de contenidos de los elementos Ni, Co, Fe, Mg, Mn, Al, Cr y SiO<sub>2</sub>. Además, el Mapa de afloramientos y Mapa geológico con afloramientos entre otros.

Finalmente se caracterizaron petrológicamente las rocas que constituyen el basamento, llegando a la conclusión de que existe una correspondencia en cuanto a la manifestación de bajos contenidos de Ni sobre las rocas antigorititas, donde se manifiesta además una corteza con poco desarrollo.



## ABSTRACT

The Term Paper titled: “*Research study of the petrography of the bedrock at Camarioca’s South ore body, its prospection influence and the exploration of the lateritic deposits of Ni and Co*”, this study was conducted having as an objective to identify and characterize rocks from their petrology point of view which constitutes the bedrock basis to define their geochemical relation to the crust thickness that are developed above those for establishing lithologic research criterion which allows to select perspectives areas and to discriminate the areas that are not in favor for the lateritic deposits prospection and exploration.

To accomplish the investigation there were executed some geological itineraries for reconnaissance the lines due to the drilling matching profiles of the N – S points which corresponds to the 33.33 X 33.33 m grid, to log in possible outcrops and take samples from the main lithology flourishing at the researched area. From the selected samples the thin sections were built up, for its petrography and chemical analysis at the ISMM Lab. Elio Trincado at Santiago de Cuba. Based on the chemical analysis was draft on the content of the elements map the Ni, Co, Fe, Mg, Mn, Al, Cr and SiO<sub>2</sub>. Besides, of the information input at the Bedrock and Geologic Maps, among others.

Finally rocks which are the base of the bedrock were characterized by its petrology, arriving to the conclusion that there is a correspondence between the low nickel (Ni) content manifestations on top of the antigorite’s rocks, where can be observed a very poor development of the crust.

## ÍNDICE

### Resumen

Introducción-----	7
Capítulo I. Estado del arte y metodología de la investigación.	
1.1 Historia de las investigaciones precedentes-----	10
1.1. Trabajos relacionados con la geología regional-----	10
1.1.2. Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos lateríticos.-----	15
1.2. Metodología de la investigación-----	22
Capítulo II: Características físico- geográficas y geológicas de la región de estudio.	
2.1 Características económico - geográficas- de la región-----	30
1.1 Ubicación geográfica-----	31
2.1.2 Infraestructura económica-----	31
2.1.3 Recursos minerales-----	31
2.1.4 Geomorfología-----	32
2.1.5 Tectónica-----	33
2.1.6 Clima-----	33
2.1.7 Vegetación-----	34
2.1.8 Fauna-----	35
2.2 Características geológicas regionales-----	36
2.2.1 Ofiolitas Septentrionales-----	38
2.2.2 Arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco) -----	39
2.2.3 Cuencas de "piggy back" del Campaniense Tardío-Daniense-----	39
2.2.4 Arco de islas volcánico (terciario) -----	40
2.2.5 Cuencas Postvolcánicas-----	40
2.2.6 Neoautóctono-----	41
2.3 Tectónica regional-----	41
2.4 Composición química y mineralógica de las litologías ultramáficas--	43
2.5 Mineralogía de las menas lateríticas-----	45
2.5.1Tipos de perfiles lateríticos -----	46



<b>Capítulo III: Características geológicas del Yacimiento Camarioca Sur</b>	
<b>3.1 Geología del yacimiento-----</b>	<b>49</b>
<b>3.2 Composición petrológica del yacimiento -----</b>	<b>55</b>
<b>3.3 Generalidades geoquímicas de las rocas del yacimiento-----</b>	<b>58</b>
<b>3.4 Paleontología-----</b>	<b>59</b>
<b>Capítulo IV: Interpretación de los resultados</b>	
<b>4.1 Mapa de Energía de deposición-----</b>	<b>67</b>
<b>4.2 Mapa de Afloramientos-----</b>	<b>68</b>
<b>4.3 Mapa de Potencia de laterita de balance-----</b>	<b>69</b>
<b>4.4 Mapa de contenido de Níquel-----</b>	<b>70</b>
<b>4.5 Mapa de contenido de Hierro-----</b>	<b>71</b>
<b>4.6 Mapa de contenido de Cobalto-----</b>	<b>72</b>
<b>4.7 Mapa de contenido de Cromo-----</b>	<b>73</b>
<b>4.8 Mapa de contenido de Sílice-----</b>	<b>74</b>
<b>4.9 Mapa de contenido de Magnesio-----</b>	<b>75</b>
<b>4.10 Mapa de contenido Aluminio-----</b>	<b>76</b>
<b>4.11 Mapa de contenido de Manganeso-----</b>	<b>77</b>
<b>4.12 Mapa geológico con contenido de Níquel-----</b>	<b>78</b>
<b>4.13 Mapa geológico con afloramientos-----</b>	<b>79</b>
<b>4.14 Mapa de contenido de Níquel con afloramientos-----</b>	<b>81</b>
<b>Conclusiones-----</b>	<b>82.</b>
<b>Recomendaciones-----</b>	<b>83</b>
<b>Bibliografía-----</b>	<b>84</b>
<b>Anexos</b>	

# Căpîtu1o 1

## INTRODUCCIÓN

La región de Moa tiene gran importancia en el país, principalmente por su actividad minera. Esta se encuentra ubicada dentro del macizo Mayarí –Sagua - Baracoa o faja de litologías de la asociación ofiolítica dislocadas en el norte del territorio cubano. Sus afloramientos se registran desde el occidente del país hasta el este de la provincia de Guantánamo. (Adamovich, A. y Chejovich, V., 1963).

Para la zona de Moa son predominantes las rocas pertenecientes al macizo ofiolítico, representadas por ultramafitas piroxénicas serpentinizadas: dunitas, harzburgitas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas, como parte de las litologías mantélicas, en correspondencia con el esquema de Streckeisen, A. (1975); litologías del basamento de la corteza oceánica, representadas por la presencia de gabros normales, gabros olivínicos, troctolitas, noritas, gabro-noritas; y litologías típicas de las zonas de transición, tales como dunitas plagioclásicas, harzburgitas impregnadas, trondhjemitas, gabro-pegmatitas y cromititas.

Geológicamente el área se caracteriza por su gran complejidad, con superposición de eventos de edades y estilos diferentes que directa e indirectamente interfieren en la génesis, desarrollo y conservación de los yacimientos ferro níquelíferos .Muñoz, J.N et., al (2007).

Desde 1976 se identificaron los principales tipos litológicos que conforman el basamento sobre el cual se desarrollan las cortezas ferro níquelíferas. Dentro de esas litologías se destacan las peridotitas y las serpentinitas, con menor abundancia aparecen diferentes variedades de gabros y disseminaciones de cromitas, además aparece un tipo litológico que fue declarado como rocas recristalizadas de composición considerablemente antigorítica, con mayor representatividad en Camarioca Sur y aisladamente en Camarioca Norte. Estas rocas adquieren gran importancia en el estudio del comportamiento de los yacimientos, ya que se pudo observar que en el área donde ellas se encuentran las cortezas se caracterizan por su pobre desarrollo y los bajos contenidos de níquel. Sitnikov, V, 1976.

Después de una revisión detallada del estado actual del tema y de un profundo proceso de diagnóstico, el problema aún no está resuelto y está dado por:

**Problema:**

Necesidad de determinar las relaciones geoquímicas entre las diferentes litologías existentes en el basamento del yacimiento Camarioca Sur y las cortezas de intemperismo que sobre ellas se desarrollan para utilizarlas como criterios de prospección en yacimientos de menas lateríticas ferro-niquelíferas.

**Objeto de Estudio**

Las rocas del basamento y la corteza de intemperismo en la parte central del yacimiento Camarioca Sur.

**Objetivo principal**

Identificar y caracterizar petrológicamente las rocas que constituyen el basamento del yacimiento Camarioca Sur y establecer su relación geoquímica con las cortezas de intemperismo que sobre ellas se desarrollan.

**Objetivos específicos**

1. Caracterizar geoquímicamente la corteza de intemperismo del yacimiento Camarioca Sur, sobre la base de sus contenidos de Ni, Fe, Co, SiO<sub>2</sub> y MgO.
2. Establecer la correspondencia geoquímica entre las cortezas de intemperismo y sus rocas madres del basamento.
3. Determinar el valor de las relaciones existentes como criterios de búsqueda para yacimientos lateríticos de Ni y Co.

## **Hipótesis**

Si se identifican y caracterizan geoquímicamente las litologías que constituyen el basamento en el yacimiento Camarioca Sur y las cortezas de intemperismo que sobre ellas se han formado entonces es posible establecer criterios de búsqueda litológicos que permitan la selección de áreas perspectivas y la discriminación de áreas no favorables para la prospección y exploración de los yacimientos lateríticos de Ni y Co.

**La novedad científica** de la investigación radica en la identificación de los rasgos petrológicos de las rocas que constituyen el basamento del Yacimiento Camarioca Sur, así como la correspondencia entre estas características petrológicas y el comportamiento geoquímico de las cortezas de intemperismo que sobre ellas se desarrollan.

Como resultado final de la investigación se confeccionó esta tesis de diploma estructurada en una introducción, cuatro capítulos: dedicado el primero al Estado del arte donde se abordan temas relacionados con las investigaciones precedentes, trabajos relacionados con la geología regional, trabajos relacionados con la geología de los yacimientos lateríticos y la metodología aplicada en la investigación

El segundo capítulo está dedicado a las Características físico- geográficas y geológicas de la región de estudio.

En el tercer capítulo se tratan las Características geológicas del Yacimiento Camarioca Sur- (Fase 1) y en el capítulo cuatro la interpretación de los resultados.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones, la relación bibliográfica consultada y los anexos.

## **Capítulo I. Estado del arte y Metodología de la investigación.**

### **1.1. Historia de las investigaciones precedentes**

#### **1.1.1. Trabajos relacionados con la geología regional**

#### **1.1.2. Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos lateríticos.**

### **1.2. Metodología de la investigación.**

#### **1.1 Historia de las investigaciones precedentes**

Para la realización de esta tesis, en la etapa preliminar se consultaron diferentes trabajos geológicos de Cuba oriental, del territorio de Moa y en particular de la concesión minera Camarioca Sur que se encuentra dentro del macizo Mayarí-Baracoa, de los cuales algunos se han desarrollado en la línea de la evaluación geólogo-económica de las grandes reservas minerales asociadas al cinturón ofiolítico del noreste de Holguín y otros dedicados a la profundización del conocimiento geológico regional, constituyendo todos una valiosa información para comprender la génesis de los yacimientos lateríticos de la región, así como sus contenidos de minerales útiles.

##### **1.1.1 Trabajos relacionados con la Geología Regional.**

En la región de Moa – Baracoa los trabajos geológicos a pequeña escala se realizaron a principios del siglo pasado, donde se reportó la existencia de menas de hierro y cromo en la región del nordeste de Cuba oriental. Numerosos geólogos norteamericanos llevaron a cabo trabajos de exploración sobre las menas lateríticas cubanas entre ellos: Spencer 1907, Kemp 1910, Cox 1911, Hayes 1911 – 1915 y Leith 1915.

En 1918, Burch y Burchard realizaron evaluaciones para el pronóstico de los yacimientos minerales de la antigua provincia de Oriente, entre ellos, las menas lateríticas, cromíticas y minerales de manganeso, (Burch, A., and Burchard, E. F., 1919). En la sucesión de los trabajos geológicos regionales se destacó el realizado por Adamovich y Chejovich, que consistió en un levantamiento geológico regional a escala 1:50 000 del nordeste de Cuba oriental. Las investigaciones se

---

ejecutaron con un bajo número de perforaciones de mapeo; no obstante, sirvió de documento geológico primario para futuros proyectos y campañas de prospección. Los trabajos de prospección acompañantes evaluaron de manera preliminar y permitieron ofrecer un pronóstico de los recursos minerales de las lateritas, (Adamovich, A. Chejovich, V., 1962).

Antes de 1959 existían numerosas investigaciones y reportes sobre la geología de la zona, mas no fue hasta la década de los sesenta que se desarrollaron investigaciones profundas de carácter regional. En 1963 se destacan los trabajos de los especialistas soviéticos Adamovich A. y Chejovich V., que constituyeron un paso fundamental en el conocimiento geológico del territorio oriental, esencialmente para las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas. Se inicia una nueva etapa en el conocimiento geológico regional como dijera Félix Quinta en su tesis doctoral...” *se fue abriendo paso a la concepción movilista como base para la interpretación geológica...*”

En 1972 se inician investigaciones de carácter regional en el territorio oriental cubano por especialistas del departamento de geología de la universidad de oriente, luego el Instituto Superior Minero Metalúrgico estableció en 1976 que la tectónica de sobre empuje afecta también a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas, detectándose en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del cretácico superior sobre yaciendo las secuencias terrígenas del Maestrichtiano-Paleoceno Superior y planteando además el carácter alóctono de los conglomerados-brechas de la formación la Picota, demostrándose en investigaciones posteriores (Cobiella J. y Rodríguez J. 1978) el carácter predominantemente autóctono de estas secuencias formadas en las secuencias superpuestas del arco volcánico del cretácico. Con estos nuevos elementos se reinterpreta la geología del territorio y se esclarecen aspectos de vital importancia para la acertada valoración de las reservas minerales.

Como resultado de estos trabajos Cobiella J. (1978 a) propone un esquema tectónico que resume una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba Oriental delimitando cinco zonas estructuro faciales. En 1978 Cobiella J. y Rodríguez J. subdividen las anteriores estructuras propuestas en seis zonas, como se muestra en la figura 1.

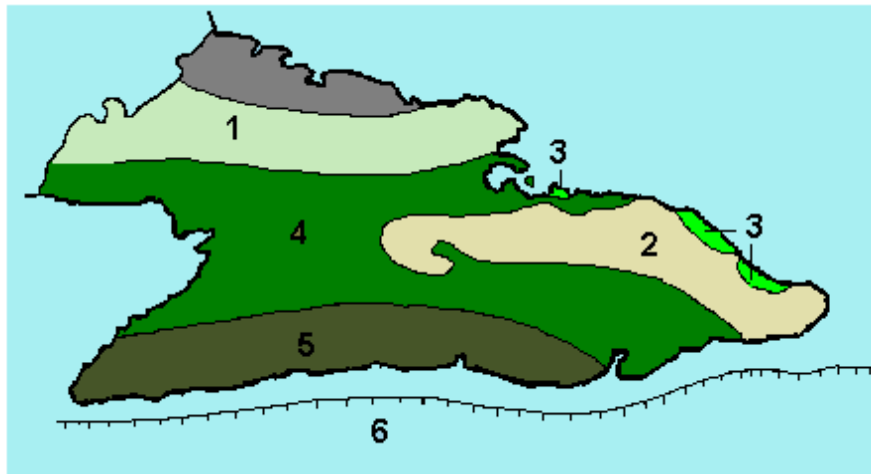


Figura 1: Esquema tectónico según Cobiella y Rodríguez, (1980) en Vera O, 2001

- 1- Anticlinorium Camagüey - Holguín; 2- Anticlinal Oriental; 3- Cuenca Nipe - Baracoa;  
4- Sinclinorium Central; 5- Anticlinorium Sierra Maestra y 6- Fosa de Bartlett.

En el periodo 1972-1976, se realiza el levantamiento geológico de la antigua provincia de oriente a escala 1: 250 000 por la Brigada Cubano - Húngara de la Academia de Ciencias de Cuba, siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba Oriental. En este trabajo la región oriental se divide en cinco unidades estructuro faciales y tres cuencas superpuestas como se muestra en la figura 1.1.



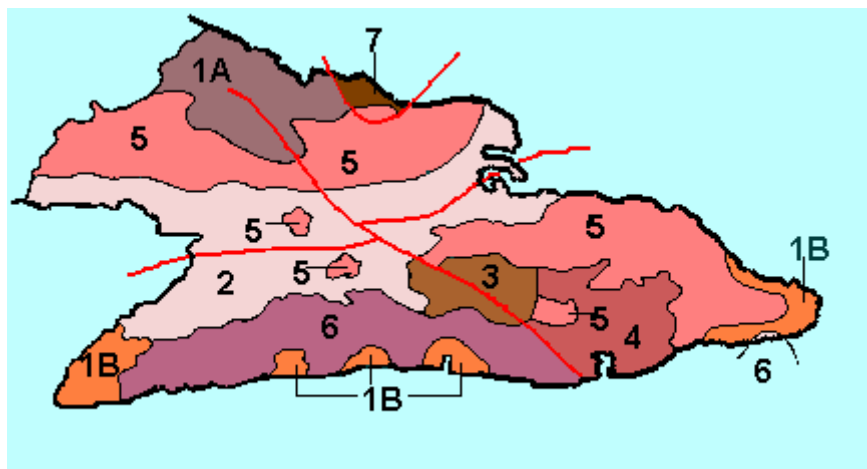


Figura 1.1 Esquema tectónico según E. Nagy, 1976

1A- Margen Norte; 1B- Margen Sur; 2- Cuenca Guacanayabo - Guantánamo; 3- Sinclinorium Central; 4- Cuenca de Guantánamo; 5-Zonas pre-cubanas; 6- Zona Caimán y 7- Zona Remedios.

Al mismo tiempo se desarrollan trabajos fotogeológicos sobre diferentes áreas del territorio por especialistas del Centro de Investigaciones Geológicas, entre los que se encuentran la caracterización de la corteza de intemperismo del sector occidental de las hojas cartográficas de Moa y Palenque desarrollados por Teleguin V. , quien realiza una clasificación de las fracturas que afectan al substrato serpentínico y el levantamiento fotogeológico de Farallones a escala 1: 50 000 desarrollado por Pérez R. (1976), donde se realizó un estudio detallado de las distintas formaciones geológicas del área.

En el periodo 1980-1985 el departamento de geomorfología de la Empresa Geológica de Oriente en la búsqueda y categorización de las reservas lateríticas, en colaboración con la facultad de geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, desarrolló el tema de investigación “Análisis estructural del Macizo Mayarí –Baracoa” donde se realizó por primera vez de forma integral para todo el nordeste de Holguín, el grado más o menos perspectivo para la prospección de cortezas de intemperismo ferro-niquelíferas en dependencia de las condiciones geológico geomorfológicas.

En 1989 Quintas F., en su tesis doctoral realizó el estudio estratigráfico de Cuba Oriental donde propone las Asociaciones Estructuro Formacionales que

constituyen el territorio así como las formaciones que lo integran, realizando la reconstrucción del cretácico al paleógeno, intervalo cronológico de mayor complejidad para la geología de la región oriental.

En 1990 se concluye el levantamiento geológico a escala 1:50 000 en el polígono CAME Guantánamo por especialistas cubanos y húngaros, el cual constituye uno de los trabajos más integrales que sobre la geología de la región se hayan realizado, al abordar todas las vertientes del trabajo geológico con un gran volumen de información textual y gráfica. La edad del emplazamiento tectónico de estos macizos se considera entre el Cretácico Superior (Campaniano) y el Paleoceno Inferior, según las evidencias estratigráficas de los cabalgamientos asociados a las ofiolitas.

El macizo Nipe-Cristal está constituido principalmente por rocas del complejo tectonizado y en menor grado, también, del complejo cumulativo máfico y de la zona de transición entre ambos.

Estos macizos fueron obducidos hasta la superficie durante el colapso de la paleoestructura volcánica de Cuba, y mantienen una elevada erosión en su área durante un tiempo geológico prolongado: no menos de 80-85 millones de años, o sea, desde el Cenomaniano. El 30 % de su superficie está cubierta eluvialmente por una corteza de intemperismo laterítica de 10 m de potencia promedio, desarrollada en terrenos con relieve de mesetas y de suave pendiente (principalmente entre 5-15 grados), con cotas entre +50 hasta +900 m respecto al nivel del mar y correspondientes a una edad que va desde el Maestrichtiano-Paleoceno hasta el Reciente, (Lavaut. W. 1998).

En el territorio de Cuba Oriental, los macizos de Sierra de Nipe-Cristal y Moa-Baracoa constituyen la mayor parte del segmento oriental del cinturón ofiolítico cubano, siendo considerados porciones alóctonas de corteza oceánica con una extensión de 170 km, un ancho de 10-12 km, aproximadamente 1 000 m de espesor promedio y con una superficie total de 2 700 km<sup>2</sup> (Proenza J, et. al., 1998).

### **1.1.2. Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos lateríticos.**

Los yacimientos minerales de menas residuales de níquel desarrollados sobre litologías ultramáficas y máficas del complejo ofiolítico, constituyen las principales reservas de menas de hierro, níquel y cobalto, tal es el caso de Cuba. Las menas de níquel cubanas se conocen prácticamente desde el mismo tiempo del descubrimiento de la isla en 1492. Muñoz J.N (2004)

Al estudiar las menas lateríticas residuales es necesario analizar las condiciones geológicas de formación de estos yacimientos, además los factores climáticos, estructurales, hidrogeológicos, geomorfológicos; que originaron las potentes cortezas de intemperismo, de perfil laterítico, en las que se pueden establecer cuatro horizontes. Estos se diferencian en la composición mineralógica y química entre otros parámetros que se presentan en las condiciones exógenas del planeta como lo son: Muñoz J.N (2004).

- Clima
- Geotectónica
- Geomorfología
- Hidrografía

Dada su génesis los yacimientos de cortezas ferro-niquelíferas existentes en el nordeste de Cuba oriental son de tipo hipergénico, a partir del desarrollo y transformación de las litologías ultramáficas piroxénicas serpentinizadas en cortezas de intemperismo de Fe, Ni y Co, así como las litologías del complejo oceánico y las litologías que integran la zona de transición Manto -Corteza. (Formell, F., 1979).

En los últimos años las investigaciones mineralógicas se han realizado fundamentalmente, para esclarecer e identificar los principales minerales portadores de los componentes útiles: hierro, níquel y cobalto. (Rojas Purón, L.A. et. al., 1994); (Almaguer, A, 1995) (Brand, N. W.1998); (Muñoz J. N. 2004); (Galí, S. et.al, 2006).

Según investigaciones realizadas por Sitnikov, V., et al., (1976), se identificaron y diferenciaron los principales tipos litológicos que conforman el basamento sobre el cual se desarrolló y acumuló la corteza ferroniquelífera para el área de la concesión minera Camarioca Sur. Dentro de esas litologías se destacan las peridotitas y las serpentinitas, con menor abundancia aparecen diferentes variedades de gabros y diseminaciones de cromitas.

En el área de las concesiones mineras aparece en el basamento un tipo litológico, que en el trabajo de Sitnikov, V, 1976, fueron declaradas como rocas recristalizadas de composición considerablemente antigorítica, con mayor representatividad en Camarioca Sur y aisladamente en Camarioca Norte. Estas rocas adquieren gran importancia en el estudio del comportamiento de los yacimientos, ya que se pudo observar que en el área donde ellas se encuentran las cortezas se caracterizan por su pobre desarrollo y los bajos contenidos de níquel. Figura 1.2

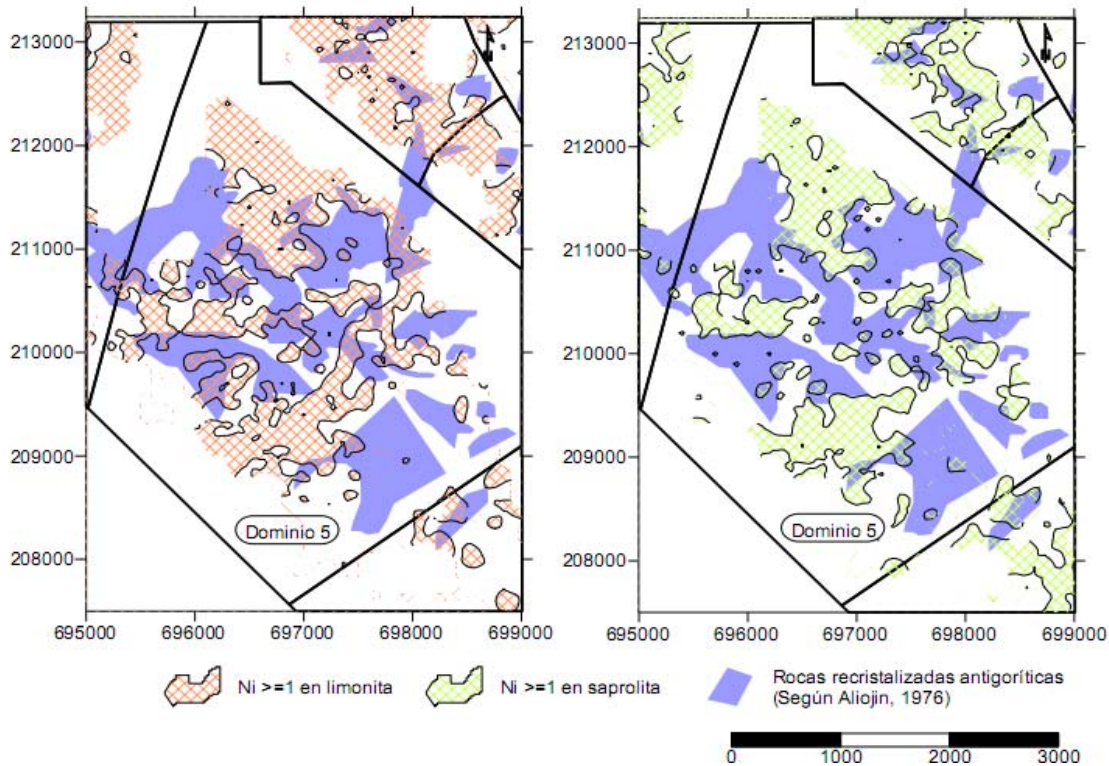


Figura 1.2 Relación entre las rocas cristalizadas antigoríticas con los contenidos de níquel en limonita y saprolita. (Muñoz et al, 2007)

Las peridotitas piroxénicas, con un desarrollo significativo de harzburgitas y en casos aislados lherzolitas y wherlitas, serpentinizadas en grado variable, llegan a alcanzar entre el 60% y 70% de las rocas del basamento. Las serpentinitas aparecen aisladamente en Camarioca Sur, relacionadas con fallas tectónicas.

Estudios geodinámicos para la región han establecido la ocurrencia de movimientos verticales de ascenso y descenso relativos de diferente intensidad para el territorio. Como resultado de esos movimientos oscilatorios, las cortezas ferroniquelíferas, que forman parte del neoaútóctono, han sido afectadas por los procesos de erosión, remoción y redeposición, tanto en ambiente marino como continental, apareciendo indistintamente *in situ*, redepositadas o de ambas maneras. Muñoz J.N. et. al. (2007).

### **Características geomorfológicas del yacimiento**

La concesión minera Camarioca Sur se encuentra ubicada específicamente en el borde occidental del bloque morfotectónico de mayor levantamiento de la región, lo que le confiere una mayor inestabilidad e irregularidad de la topografía, por lo que aun cuando predomina el relieve de montañas bajas aplanadas, en su morfología aparecen numerosos barrancos, escarpes y deslizamientos. (Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, Fase 1, Abril 2011).

Los barrancos son frecuentes en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tienen un fuerte control estructural, alcanzando su mayor expresión en la parte centro meridional y llegan a desarrollar pendientes de hasta 45° con alturas máximas de 240 m, lo cual hace susceptible a estos sectores al deslizamiento y arrastre de suelos. Ante la actividad sísmica estos barrancos constituyen sectores de alta vulnerabilidad, no sólo porque su génesis está relacionada con las estructuras tectónicas activas del territorio sino también, por que favorecen la dinámica erosiva sobre todo en las áreas desprovistas de vegetación, ya sea por causas naturales o antrópicas. (Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, Fase 1, Abril 2011).

El yacimiento está relacionado con una superficie peniplanizada de colinas suaves con una inclinación general hacia el norte (Hacia el Atlántico) y con cotas absolutas que van desde 200m hasta 900m. Los valles profundamente diseccionados de los ríos Moa, Cayo Guam, Yagrumaje y Arroyón, desmembran el área en tres sectores.

Esta corteza es principalmente del tipo de Manto y su espesor oscila desde los primeros metros hasta 30 y más (en los lugares con marcado desarrollo de la tectónica se manifiesta una corteza de tipo lineal. El espesor de las menas depende de muchos factores, entre los cuales actúan con mayor preponderancia los elementos favorables del relieve y la composición de las rocas del sustrato. Se ha observado que los sectores más productivos están vinculados con los relictos de la superficie de nivelación con un sustrato peridotítico serpentizado, a su vez los sectores menos productivos están asociados a los sectores constituidos principalmente por rocas antigoritizadas de diferente composición mineral y por piroxenitas. La corteza de intemperismo productiva se conserva solamente en las elevaciones aplanadas y las pendientes se observan cubiertas por formaciones friables deluvio- proluviales de poca potencia y escasos contenidos de componentes útiles.

La concesión minera Camarioca Sur se encuentra emplazada en el límite occidental de un bloque de máximo ascenso tectónico de la región, el cual es afectado por estructuras disyuntivas de diferentes periodos de la evolución geotectónica, lo que determina el alto grado de complejidad de la misma.

Las fallas más antiguas que aparecen en el área corresponden al período de compresión hacia el norte que culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas, que según Lewis J. F et al, Morris A. E. et al. y Pindell J. L., y Barret, (1990) ocurrió en el Eoceno Medio, mientras que investigaciones más recientes, ITurralde, 1996 y Proenza, 1998 consideran que el mismo sólo alcanzó hasta el Paleoceno Inferior.

A partir del Eoceno Medio y hasta el Mioceno Medio las fuerzas de compresión tangencial se reducen en la región, quedando sólo expresadas a través de fallas de deslizamiento por el rumbo, plegamientos y empujes locales, tomando importancia los movimientos verticales que caracterizan y condicionan la morfotectónica regional, iniciándose a partir del Mioceno Medio el proceso de ascenso del actual territorio.

Sin embargo, los movimientos verticales, aun cuando hayan predominado los ascensos, han sido fluctuantes, lo que provoca alteraciones en el desarrollo de la corteza laterítica, provocando su remoción y redeposición, tanto en ambiente marino como continental, apareciendo indistintamente *in situ*, redepositadas o ambas.

En el informe Caracterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca norte y Camarioca sur, realizado por un colectivo de autores del Departamento de Geología en el año 2007, (Muñoz et al, 2007), se señala que estos procesos se hacen evidente a través de:

- Presencia de fósiles en los horizontes superiores e intermedios
- Presencia de estratificación o pseudo estratificación en diferentes horizontes
- Repetición y/u omisión de horizontes en el perfil laterítico.
- Presencia de perdigones en los niveles inferiores, en ocasiones como bolsones de acumulación o como lentes discordantes sobre las serpentinitas o saprofitas
- Presencia de formas de relieve cársico enterradas bajo la corteza meteórica.

A ese periodo de inestabilidad se asocian los sistemas de estructuras más jóvenes de la zona, en gran parte orientadas este-oeste y norte-sur, que además de diseccionar la secuencia ofiolítica, se manifiestan en la topografía a través de la formación de barrancos, deslizamientos y pequeños peniplanos escalonados, limitados por fallas.



De forma general, los límites de los sectores de máximos o mínimos valores de potencia de la corteza laterítica están delimitados por fallas, las que deben tenerse en cuenta no solo en los trabajos de exploración, sino también durante la explotación por los riesgos que potencialmente encierran. Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, (Fase 1), Abril 2011).

La potencia media de la zona de transición manto superior – corteza oceánica en las concesiones mineras de Camarioca Norte y Camarioca Sur se estima entre los 100 – 150 metros, donde se incluyen las litologías ultramáficas piroxénicas serpentinizadas, las litologías gabroides y las litologías propias de la MTZ; al nivel actual del conocimiento geológico de las concesiones mineras, no es posible determinar, desde el punto de vista petrológico, si existe el nivel de gabros bandeados o se trata de la existencia de gabros isotrópicos, lo que permitiría establecer si las rocas pertenecientes a la asociación oceánica presentes son de la porción basal o de la parte superior de la corteza oceánica.

El modelo geológico teórico propuesto, está gráficamente representado por las columnas idealizadas que se muestran en la Figura 2.3, donde A representa el perfil de la asociación ofiolítica y la corteza ferro-niquelífera desarrollada directamente sobre rocas del manto superior, deviniendo en menas lateríticas ricas en Fe, Ni y Co; y B representa el desarrollo del perfil de la asociación ofiolítica y la corteza de intemperismo desarrollada sobre las litologías oceánicas, donde se han formado cortezas de intemperismo ricas en  $Al_2O_3$  y  $SiO_2$ , con amplia formación de arcillas caoliníticas pobres en Fe, Ni y Co. En ambos casos, como puede valorarse, las menas de las concesiones Camarioca Norte y Camarioca Sur se generaron en un segmento de la zona de transición o nivel transicional manto – corteza oceánica, por lo que es común que se presenten perfiles típicos ricos en Fe, Ni y Co o pobres en éstos metales, en correspondencia con la existencia conjunta o no de las litologías mantélicas, oceánicas, de la zona de transición o del predominio de una de ellas.



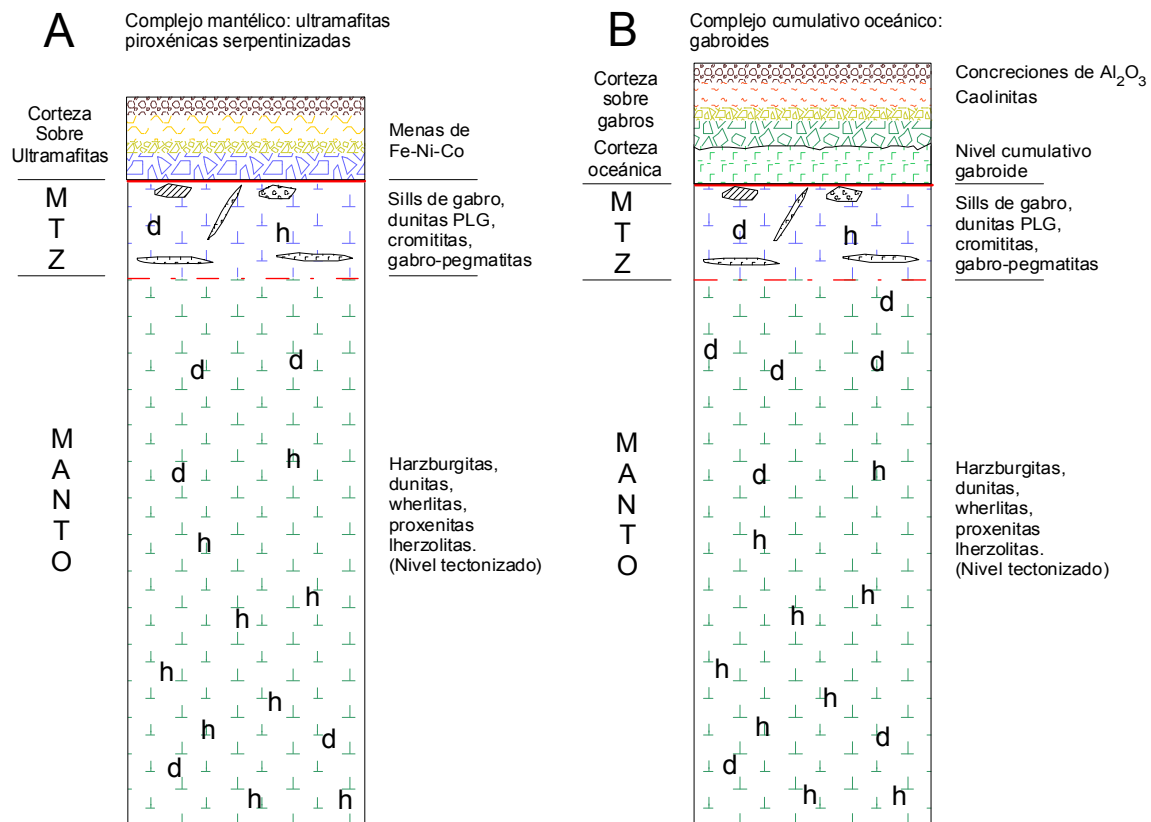


Figura 1.3: Modelo geológico teórico de formación de las menas lateríticas en las concesiones mineras de Camarioca Norte y Camarioca Sur, en el macizo ofiolítico Moa – Baracoa. Muñoz J.N (2007)

## 1.2 Metodología de la investigación

La metodología aplicada en la investigación para la caracterización petrográfica y mineralógica de las rocas (Figura 1.4) parte de búsqueda y la recopilación bibliográfica de materiales y datos de trabajos ejecutados en la región y el área de estudio. Se describe el procedimiento utilizado para el procesamiento de las bases de datos, así como para las descripciones petrográficas generales de las rocas que componen el complejo ofiolítico. Se dividió el trabajo en cuatro etapas fundamentales:

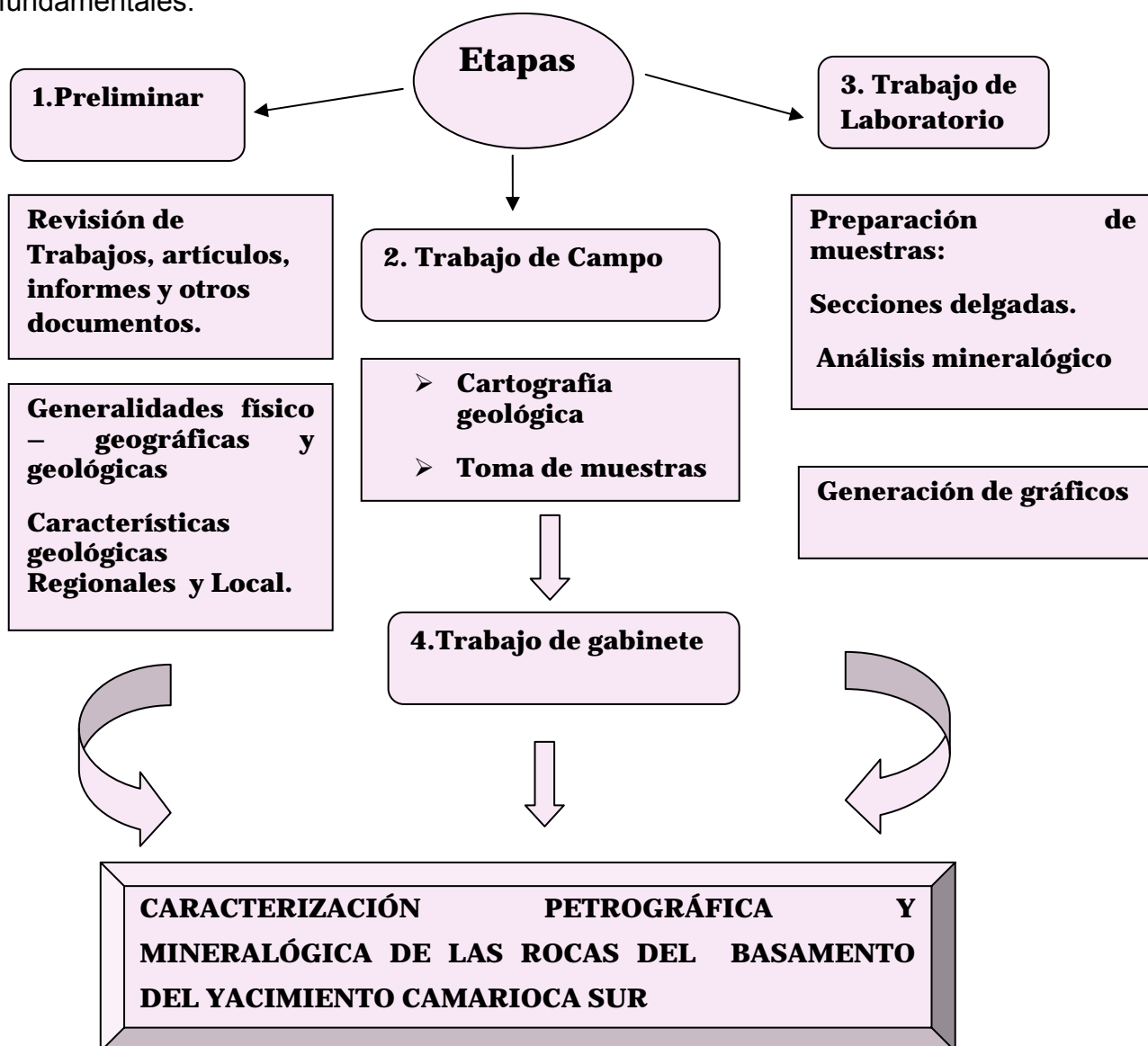


Figura 1.4. Organigrama que resume la metodología de la investigación.

Para el buen desempeño del trabajo de tesis se confeccionó una metodología con varias etapas que contribuyeron a la adecuada realización de forma exitosa, entre las etapas se encuentran las siguientes:

- ✓ **Etapas I: Preliminar**
- ✓ **Etapas II: Trabajo de campo**
- ✓ **Etapas III: Trabajo de laboratorio**
- ✓ **Etapas IV: Trabajo de gabinete**

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se trazaron las tareas siguientes:

### **1.2.1 Preliminar**

Para la recopilación de la información se consultaron diferentes documentos en formato digital e impresos relacionados con el tema, se utilizó además, toda la información primaria obtenida hasta el momento por el grupo de especialistas y estudiantes del ISMM que han trabajado en el proyecto de exploración geológica en el yacimiento Camarioca Sur.

### **1.2.2 Trabajos de campo.**

El trabajo de campo se desarrolló en varias campañas de corta duración.

Primeramente se ejecutaron itinerarios geológicos de levantamiento según perfiles coincidentes con las líneas de perforación N – S correspondientes a la red de 33.33 x 33.33 m, con el objetivo de documentar afloramientos y tomar muestras de las litologías principales que afloran en el área de estudio.

Las muestras de rocas fueron descritas macroscópicamente según los modelos de documentación y muestreo y embaladas adecuadamente para ser enviadas al laboratorio Elio Trincado de Santiago de Cuba y al laboratorio del ISMMM para los correspondientes análisis petrográficos. Fueron utilizados además, los resultados de análisis químicos realizados a las muestras litológicas correspondientes a la fase 1 de la exploración geológica del yacimiento.

Toda esta información primaria permitió la elaboración de un mapa donde se representaron las principales litologías que afloran en el área de estudio (figura4.2).

### **1.2.3 Trabajos de Laboratorio**

El análisis petrográfico incluyó la descripción detallada de las muestras de rocas tomadas en el campo, así como la descripción petrográfica de las muestras previamente preparadas en secciones delgadas, bajo el microscopio petrográfico o polarizante modelo NP-400B, marca NOVEL, de procedencia China. Se preparó el microscopio para observaciones ortoscópicas, utilizando tanto nicoles cruzados como paralelos, objetivo 10x, foco 17.13 mm, a una distancia de trabajo aproximada de 7.316 mm, se determinaron los parámetros ópticos, como: color, pleocroismo, relieve, forma, índice de refracción, colores de interferencia y ángulo de extinción.

Se obtuvieron microfotografías que fueron tomadas con una cámara digital, modelo Power Shot A630, de 8.0 megapixels, con un zoom óptico de aproximación 4x, y un ocular especial para cámaras Canon de  $\Phi$  52mm; (Anexos 1 y 2).

Las muestras enviadas al laboratorio Elio Trincado de Santiago de Cuba, primeramente son procesadas en el establecimiento de preparación de muestras perteneciente a la brigada de la Empresa Geominera Oriente ubicada en Moa, estas muestras, debidamente trituradas, tamizadas, mezcladas y cuarteadas son embasadas en sobres apropiados y remitidas al laboratorio. En cada uno de los embarques se envía el 7 % de los duplicados para el correspondiente control interno.

En el laboratorio las muestras son preparadas de manera semiautomática, mediante un proceso de fusión y disolución en el equipo modelo Claisse, de fabricación canadiense, para su posterior análisis en el equipo de Espectroscopia de Masa con ICP-MS acoplado (modelo Spectro Arcos de fabricación alemana).



Foto. No. 1. Fundición de las muestras para análisis químico en el laboratorio Elio Trincado de Santiago de Cuba.



Foto No. 2. Preparación de las soluciones de las muestras para su análisis en el equipo de espectroscopia de masa con ICP acoplado, en el laboratorio Elio Trincado de Santiago de Cuba.

#### **1.2.4 Trabajo de gabinete**

En esta etapa se llevó a cabo el procesamiento de toda la información primaria obtenida en el campo y brindada por la Empresa Moa Nickel S. A.

Fueron confeccionados los mapas de contenidos de los elementos Ni, Co, Fe, Mg, Mn, Al y Si para el área estudiada.

Para la confección de los mapas se utilizó el software Surfer 9.0. El método empleado fue el de triangulación. La base de datos con que se trabajó fue suministrada por las personas responsables de su procesamiento en el ISMM con la previa autorización por parte del jefe del grupo de geología de la empresa Comandante Pedro Soto Alba Moa Nickel S.A.

Se trabajó con el promedio de los contenidos de los elementos en los pozos correspondientes a la red de 33X33metros, en los primeros metros pertenecientes al horizonte de Laterita de Balance.

Se utilizó además el mapa de basamento de Aliojin, 1976 el cual fue modificado con las áreas de mayor contenido del elemento Níquel.

La superposición de estos mapas sobre el mapa de basamento permite extraer conclusiones importantes sobre la relación que existe entre las diferentes litologías existentes en el área y el comportamiento de los contenidos de los elementos antes mencionados, lo cual da respuesta al objetivo principal del presente trabajo que consiste en establecer criterios de prospección (litológicos) que permitan al geólogo prospector discriminar áreas no favorables a la hora de proyectar las campañas de perforación en fases más detalladas de los trabajos de exploración geológica.

**Resumen del capítulo.**

1. El yacimiento de cortezas ferroniquelíferas Camarioca Sur, genéticamente es de origen hipergénico, a partir de la meteorización y transformación de las litologías ultramáficas piróxicas serpentinizadas en cortezas de intemperismo de Fe, Ni y Co.
2. Las cortezas ferroniquelíferas de las concesiones mineras Camarioca Norte y Camarioca Sur se caracterizan por la gran variabilidad y complejidad de las menas, tanto en la estructura del perfil como en el comportamiento geoquímico, dado por las condiciones geológicas del área; las variaciones en el ambiente en que ocurrió la redeposición y las características morfoestructurales expresadas en la topografía, forma del relieve en la que se incluye el desarrollo de carso y las estructuras tectónicas que cortan las rocas.(Muñoz,J.N. 2007).
3. Existe una correspondencia clara en cuanto a la manifestación de bajos contenidos de Ni y Co sobre las rocas antigorititas, donde se manifiesta además una corteza con poco desarrollo.
4. La relación existente entre las diferentes litologías del basamento y los contenidos de los diferentes elementos representa un valioso criterio de prospección.

# Capítulo II



## **Capítulo II: Características físico- geográficas y geológicas de la región de estudio.**

### **2.1 Características económico - geográficas- de la región.**

### **2.2 Características geológicas regionales.**

### **2.3 Tectónica regional**

### **2.4 Composición química y mineralógica de las litologías ultramáficas.**

### **2.5 Mineralogía de las menas lateríticas.**

#### **Introducción**

Las menas lateríticas residuales se formaron durante el proceso de lateritización de las ultramafitas serpentinizadas, como consecuencia de la combinación de factores litológicos, climáticos, 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 y mineralógico, entre otros parámetros. (Muñoz, J.N, 2004).

Las diferencias entre horizontes se establecen por la composición química de los metales principales (Fe, Ni, Co, Al, Si, Mg), y responden a la composición compleja de la mineralogía de las menas lateríticas; los contactos entre los diferentes horizontes no son fijos.

Es frecuente que existan xenolitos o bloques de las rocas primarias sin transformar, las que se encuentren en una fase intermedia de transformación y que no se corresponde, desde el punto de vista mineralógico y químico, con el horizonte donde se localizan espacialmente, tal es el caso de bloques de ultramafitas serpentinizadas en la zona del escombros o en los horizontes meníferos (LB + SB).

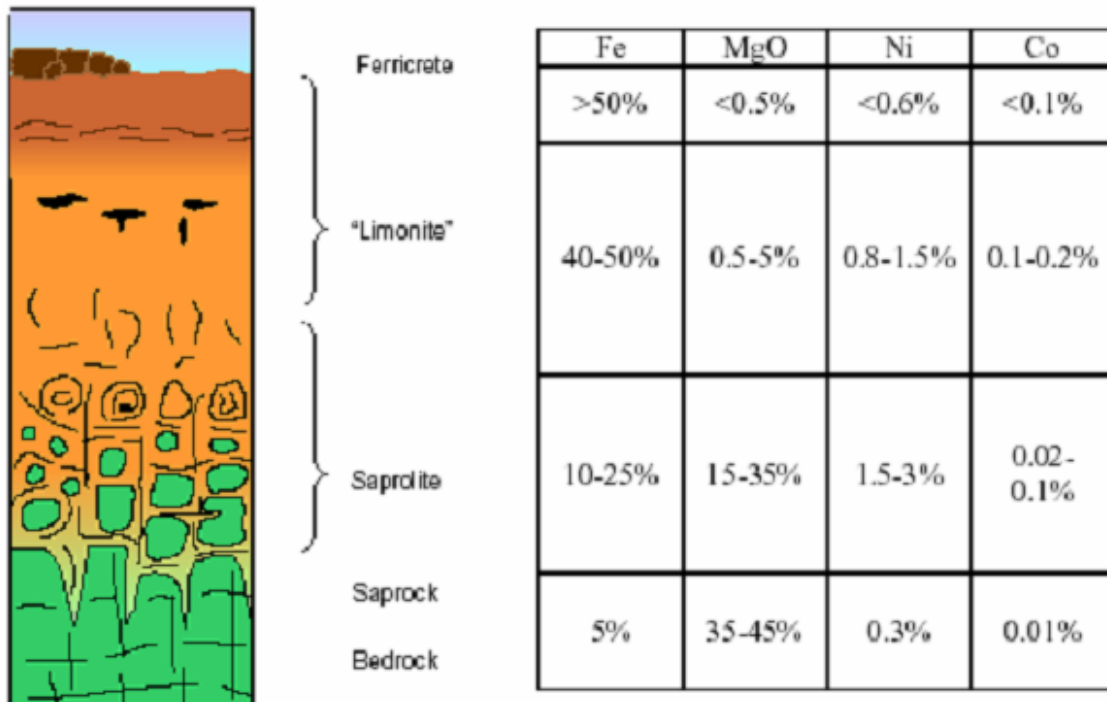


Figura.2: Perfil esquemático de laterita, desarrollado en rocas ultramáficas de un clima tropical (el óxido de hierro es dominante en la zona de limonita), se muestran los indicadores de la composición química en % en peso. (Pérez Melo, 2006) en Muñoz, J. N. (2004).

Los contenidos de los principales metales en las menas, (Ni: 1-2%; Fe: 20-45%; Co: 0.1%) demuestran la intensidad de los procesos de concentración de los elementos químicos a través del proceso de lateritización de las ultramafitas serpentinizadas. En los yacimientos de menas lateríticas los horizontes de laterita de balance (LB) y serpentinita de balance (SB); durante su explotación, se origina una mezcla de minerales de diferentes orígenes y composición mineralógica, haciendo que las menas sean sumamente complejas desde el punto de vista mineralógico y químico.

La geomorfología y el relieve de los complejos ultramáficos tienen amplia incidencia en la intensidad del proceso de lateritización y en muchos casos determina la potencia de los horizontes meníferos e inclusive la no existencia del desarrollo de menas lateríticas.

Se ha podido comprobar que en un relieve de altas pendientes, por encima de  $35^{\circ}$ , no existen cortezas de intemperismo; asimismo, las grandes áreas con vastas llanuras no son favorables para el desarrollo de cortezas de intemperismo con todos sus horizontes. Desde el punto de vista de los valores de los ángulos de las pendientes, los valores óptimos están entre los primeros grados hasta valores de  $12^{\circ} - 15^{\circ}$ . Estas pendientes se localizan en los relieves de colinas suaves y no en las condiciones de altas montañas donde los valores de los ángulos de las pendientes no permiten su desarrollo. Muñoz, J. N. (2004).

En el caso de los yacimientos residuales cubanos, se comprueba que los rasgos geomorfológicos contribuyeron al desarrollo de los procesos de lateritización, originando perfiles muy completos de menas lateríticas.

## 2.1 Características económicas- geográficas de la región

### 2.1.1 Ubicación geográfica

El yacimiento Camarioca Sur se encuentra al SE de la ciudad de Moa, en la provincia de Holguín.

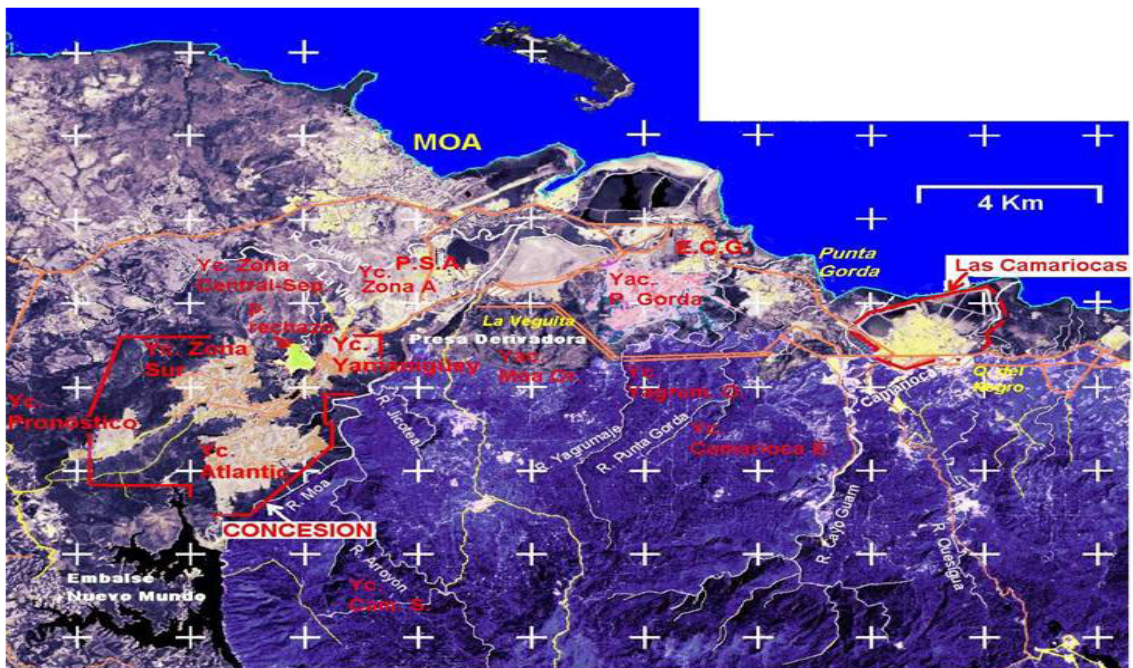


Figura: 2.1 Mapa de Ubicación de Yacimientos de Níquel - Cobalto Moa. (Marrero Leyva, 2006).en informe preliminar de Fase 1,2011

### **2.1.2 Infraestructura económica.**

El municipio de Moa se comunica por carretera con todo el país, existiendo los viales desde Moa hasta la ciudad de Baracoa y de igual forma se enlaza con la ciudad de Holguín y con el resto de país. Por vía aérea el territorio tiene comunicación con la ciudad de la Habana y Holguín. Existe además un puerto marítimo que permite el atraque de buques de mediano calado. Económicamente la región está dentro de las más industrializadas del país, no solo por sus riquezas minerales, sino que además cuenta con dos plantas procesadoras de níquel, la Comandante Ernesto Che Guevara y la Comandante Pedro Sotto Alba con capacidades de diseño original de 30 mil y 24 mil toneladas respectivamente de concentrados de Ni+Co al año, aunque en estos momentos son objeto de trabajos de ampliación.

Además de estas industrias, existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y la minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel, Centro de proyectos del Níquel, la Empresa constructora y reparadora del níquel. También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geólogo Minera Oriente, la presa Nuevo Mundo, el Tejar de Centeno, el Combinado Lácteo, entre otros. La agricultura se encuentra poco desarrollada aunque se hacen esfuerzos para seguir fomentándola.

### **2.1.3 Recursos minerales**

La región de Moa constituye una de las más ricas del país en lo que a recursos minerales se refiere, siendo el centro minero de mayor importancia nacionalmente. Los yacimientos lateríticos de Ni y Co, de tipo único por su escala, que se encuentran en la región representan la mayor riqueza mineral del país y una de las mayores del mundo. Asimismo, unido a la corteza de intemperismo se localiza una de las reservas más importante de mineral de Fe a escala mundial. Además, vinculada a la corteza de intemperismo se encuentran importantes reservas de espinelas cormíferas diseminadas que a consideración de Thayer, 1942 los volúmenes sobrepasan los 4 650 t métricas por hectárea de lateritas hasta una profundidad de 30cm (Thayer, T. P 1942).

#### **2.1.4 Geomorfología.**

El relieve de la región minera de Moa, enclavada dentro del contexto de Cuba Oriental, a igual que el relieve cubano en general es el reflejo de la alta complejidad geológico estructural resultante de la acción de procesos compresivos durante la etapa Mesozoica y el Paleógeno, (Rodríguez I. A. 1998) a los cuales se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos así como la separación en bloques del territorio.

Genéticamente, Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados. El estudio Morfotectónico de la región clasificó el territorio en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas.

Es típicamente montañoso, caracterizado por la existencia de colinas elevadas y mesetas pequeñas y medianas, cuyas alturas oscilan entre 600 y 800 metros sobre el nivel del mar. Hacia el sur el relieve es mas accidentado, en la Sierra de Moa, mientras que al norte se hace más suave con cotas que oscilan entre 40 y 50 metros, disminuyendo gradualmente hacia la costa.

Se distinguen en la región muchas morfoestructuras originadas por los procesos geodinámicos que se iniciaron a fines del Mesozoico continuaron hasta el Paleógeno, a consecuencia de los cuales se formó el sistema de escamas tectónicas que caracteriza al complejo ofiolítico y que son parcialmente enmascaradas por una vigorosa reestructuración neotectónica.

En la formación de los yacimientos lateríticos los relieves de montañas bajas y pre montañas aplanadas ligeramente diseccionadas constituyen las principales formas de relieve, ya que sobre éstas se desarrollan los yacimientos de corteza más perspectivas teniendo en cuenta que las superficies aplanadas favorecen la acumulación y conservación del eluvio, mientras que las alturas favorecen la circulación rápida de las aguas subterráneas, agilizando el proceso meteórico.

Conjuntamente con estas zonas, aparecen en la región un conjunto de formas menores, que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional, como son las formas cárnicas y barrancos como elementos naturales; y las áreas minadas y presas de cola como elementos antropogénicos. Rodríguez I. A. (1998).

### **2.1.5 Tectónica**

El área de estudio se caracteriza por una fuerte manifestación de la tectónica, lo que tiene una clara expresión en la densidad de la red de arroyos y cañadas presentes, cuyos cauces siguen los sistemas de fallas de dirección NO y NE, así como otras direcciones de menor expresión (NS y EO).

La prolongación de las fallas es generalmente significativa atravesando en varias ocasiones todo el terreno. Asimismo, su ubicación espacial está amarrada al contacto de las peridotitas de caja con gabroides ofiolíticos que es de tipo tectónico.

Además de las fallas principales, existe localmente un denso sistema de fallas de plumaje de las fallas principales, representado por fallas de más corta extensión, así como la fracturación multiplanar (multidireccional) habitualmente observada en los afloramientos. Como es sabido, la fracturación tectónica del basamento facilita la meteorización selectiva conduciendo a la formación de los bolsones minerales y mayores espesores de la corteza local o direccionalmente. Vallejo N, 1997.

### **2.1.6 Clima**

El clima de la región es tropical húmedo, la temperatura media anual es aproximadamente de 27° C. Las precipitaciones medias anuales oscilan entre 1700 ± 1800 mm, en el verano las lluvias se presentan en forma de aguaceros y en invierno se caracterizan por ser constantes aunque de baja intensidad. Oliva, (1989).



En los períodos de lluvia y seca el régimen de temperaturas permanece prácticamente invariable, las diferencias anuales de temperaturas en raras ocasiones pasa de 5 - 6° C. En las zonas montañosas los promedios de temperatura disminuyen en 5 - 6° C y las oscilaciones diarias alcanzan valores de hasta 15° C, la humedad media anual es de 72 % con una máxima de 98%. Es característica de la región la existencia de un régimen climático con ciertas peculiaridades que lo diferencian con el resto del país, dado ello por el régimen de precipitaciones. Esta situación se origina por la presencia del anticiclón del Atlántico que determina en gran medida el clima de esta región. Vallejo, N, 1997

### **2.1.7 Vegetación**

La vegetación en la región depende de la cubierta vegetal y de la orografía. En las superficies planas cubiertas por lateritas, crecen bosques poco tupidos de pinos. Para las montañas son características las malezas subtropicales tupidas y entrelazadas. En los valles y arroyos crecen la palma real y la yagruma. En sentido general esta vegetación la podemos clasificar en tres formaciones:

La vegetación endémica de la región resulta notable, calculándose alrededor de 70 variedades de plantas cuyos valores no han sido suficientemente explorados.

- **Pluvisilvas:** Es la formación vegetal más vigorosa y puede alcanzar hasta 40m de altura. Especies más representativas: Majagua azul, Ocuje colorado, Roble y Yagruma.
- **Charrascales:** Son formaciones de bosques siempre verdes o matorrales xeromorfos subespinosos. Alcanzan una altura de 6 y 8 m. Especie más representativa Jaracanda arbórea.
- **Bosques de galería:** Se desarrollan en las laderas de los ríos, arroyos, cañadas y diferentes cursos de agua. Pueden alcanzar hasta 20 m de altura o más. Especies representativas: Ocuje colorado y diferentes tipos de helechos.

### 2.1.8 Fauna

Está representada por un total de 427 especies de las cuales 80 son de arácnidos, 112 de anfibios, 100 de aves y 106 de mamíferos de los cuales 104 se reportan como endémicos, 5 en peligro de extinción y 13 vulnerables, así como 31 aves migratorias. Dentro de los animales notables se encuentran: el murciélago mariposa, el papilo degudianch y la avellanada.

Además de estas especies notables se presentan los animales de los bosques claros y de los pequeños arbustos, como son: lagartos, arañas, ciempiés, etc. También se pueden encontrar especies silvestres como el zunzún, la paloma, el tocororo, la cartacuba entre otros. (Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, Fase 1, Abril 2011). Vallejo, N (1997).

### 2.2 Características geológicas regionales

Los complejos ofiolíticos de la isla de Cuba ocupan una extensión superior a 6 500 km<sup>2</sup> y son los más extensos de toda la región Caribeña (Iturralde-Vinent, 1996). Estos complejos afloran en el Norte de la isla, a lo largo de una franja discontinua de más de 1000 km de largo y hasta 30 km de ancho. De oeste a este el cinturón ofiolítico incluye los cuerpos aflorados de Cajálbana, Mariel–La Habana-Matanzas, Villas Clara, Camagüey, Holguín, Mayarí-Cristal, Moa-Baracoa (Figura: 2.2).

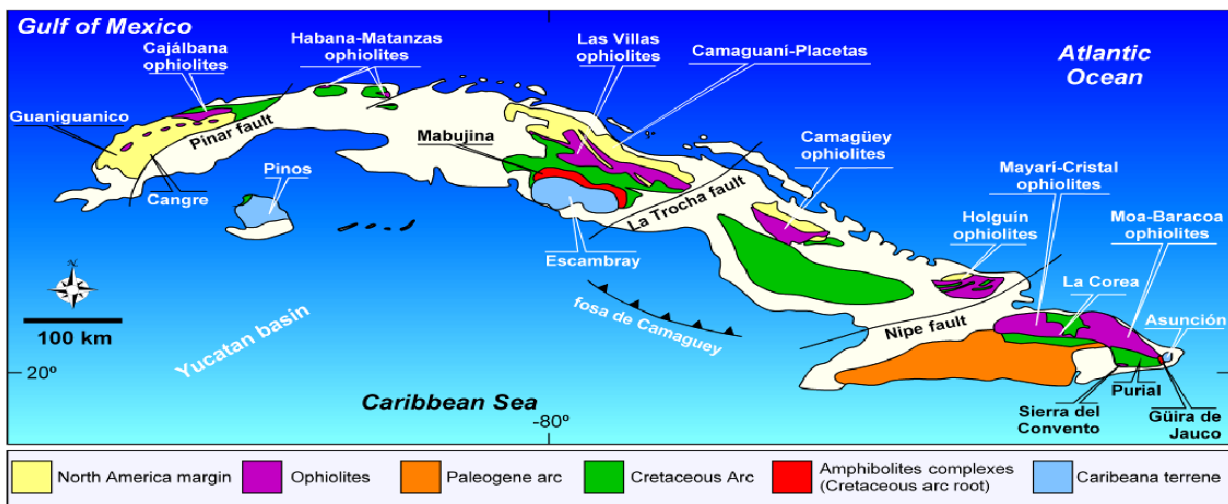


Figura: 2.2 Extensión del Cinturón ofiolítico de Cuba. (Blanco-Quintero, 2010) en informe preliminar Fase 1,2011



El área de estudio se enmarca dentro de Cuba nororiental, la cual desde el punto de vista geológico se caracteriza por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del neoa autóctono (ITURRALDE-Vinent, 1996 a, 1996b, 1998). (Figura 2. 3).

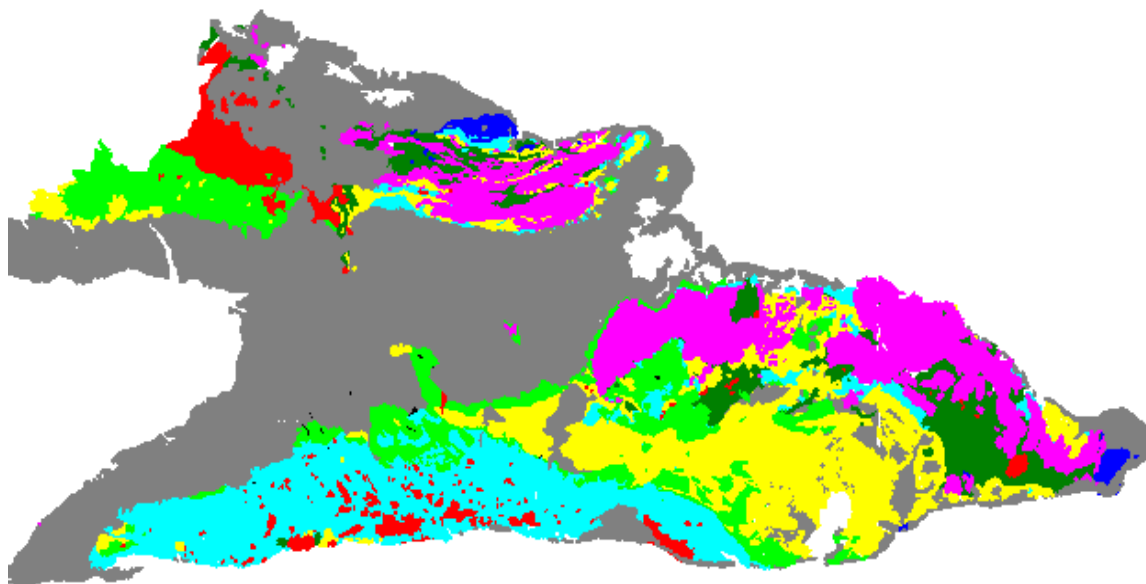



Figura 2.3: Distribución geográfica de las rocas del complejo ofiolítico, sobre las cuales se desarrollan los yacimientos lateríticos ferro niquelíferos. Iturralde Vinent, (1979)

. Leyenda:

 Zona de afloramiento del complejo ofiolítico en la región oriental de Cuba

. En el macizo rocoso Sagua-Moa, afloran fundamentalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales y a los arcos de islas volcánicas del Cretácico y el Paleógeno (Cobiella, 1988, 1997, 2000; Quintas F, 1989; ITurralde, 1996, 1998; Proenza J, 1997; Proenza J,et.al 1999c).

### 2.2.1 Ofiolitas Septentrionales

El Complejo Peridotítico (tectonitas), se caracteriza por presentar harzburgitas, en menor grado websteritas y lherzolitas, con bolsones aislados de dunitas, todas serpentinizadas (ITurralde,M 1998). (Ver Digrama de Streckeisen) La zona de gabros forma grandes cuerpos incluidos en el complejo de tectonitas. Las dimensiones de estos cuerpos oscilan entre 1 y 3 km de ancho, por 10 a 15 km de longitud (Fonseca, et al., 1985). El contacto entre el complejo de tectonitas y el de

gabros es mayoritariamente tectónico. La parte inferior del complejo de gabros se caracteriza por presentar un marcado bandeamiento, mientras que la parte superior es isotrópica.

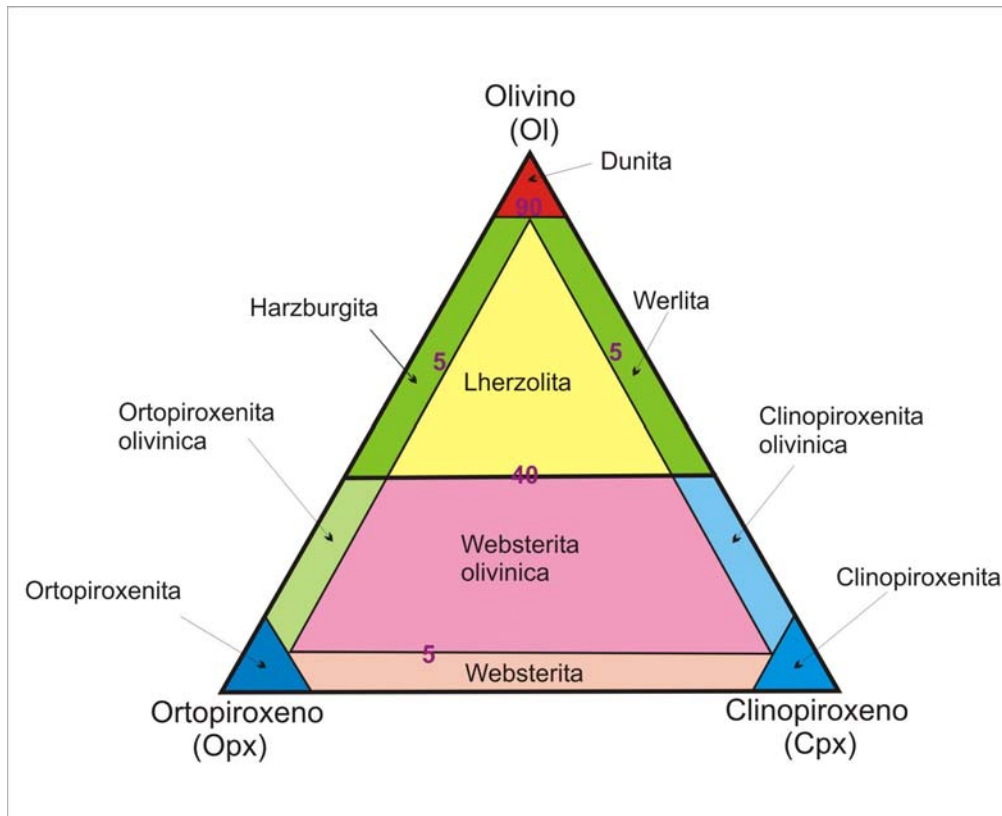


Fig.2.4 Esquema de las ultramafitas piroxénicas, en función del olivino (ol), ortopiroxeno (opx), clinopiroxeno (cpx), (Streckeisen, A., 1975).

En este macizo también existen numerosos cuerpos de cromititas y sills de gabro, así como diques de gabros y de pegmatoides gabroicos (Fonseca et al., 1985; Proenza, et al., 1998). Los sills de gabros y las cromititas se localizan en la parte más alta de la secuencia mantélica, en la zona de transición entre las peridotitas con texturas de tectonitas y los gabros bandeados.

El Complejo Transicional (MTZ) se constituye principalmente de harzburgitas, lherzolitas y websteritas con bolsones y bandas duníticas, todas serpentinizadas, a veces con cromititas podiformes, diques de gabroides y diques aislados de

plagiogranitos. En ocasiones se observan complejos de haces entrecruzados de diques zonados de plagioclasitas, gabroides y pegmatitas, impregnando una masa de serpentinitas brechosas, probables representantes de antiguas cámaras magmáticas colapsadas. (Iturralde, M 1998).

El complejo cumulativo se caracteriza por presentar cúmulos máficos de gabros olivínicos, noritas, y anortositas y ultramáficos como lherzolitas, websteritas, harzburgitas y raras dunitas, todos serpentinizados. Existen ocasionales cuerpos podiformes y venas de cromititas. Además de los diques gabroides, plagioclasitas y plagiogranitos, en la parte superior de la sección pueden aparecer cuerpos potentes de gabros isotrópicos. (Iturralde, M 1998).

El complejo de diques paralelos de diabasas no ha sido reconocido en toda la FOMB (Formación ofiolítica Moa – Baracoa) y aunque su presencia ha sido invocada en el extremo noroeste de la Meseta Pinares de Mayarí, los últimos resultados obtenidos indican que estos cuerpos de diabasas poseen rasgos geoquímicos propios de arcos de islas. Díaz y Proenza, (2005).

El complejo vulcanógeno-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos de la secuencia ofiolítica. Está compuesto por basaltos amigdaloidales y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadillas), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de cherts y calizas. Estas litologías afloran en Morel, La Melba, Cañete, Quesigua y Centeno. Díaz y Proenza, (2005).

### **2.2.2 Arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco)**

El arco volcánico está constituido por depósitos que datan desde el Aptiense hasta el Campaniense Medio, estas rocas volcánicas están situadas mediante contacto tectónico bajo las ofiolitas del cinturón septentrional. Según Iturralde Vinent (1994, 1996a), el basamento del arco es una corteza oceánica de edad pre- Aptiense. Las rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias del arco Cretácico están ampliamente desarrolladas en la región de estudio y representadas por las rocas de las formaciones Quibiján, compuesta principalmente por basaltos, lavas-brechas y las tobas lapilíticas de grano grueso a fino, litoclásticas y

litocristaloclasticas con estratificación gradacional y laminar (Quintas F. 1989), Téneme, (Cretácico Superior-Inferior), compuesta principalmente por flujos de basaltos, andesitas basálticas, tobas y brechas (Proenza y Carralero, 1994); Iturralde Vinent, 1996, 1998); (Gyarmati y otros, 1997). Se encuentra en las cuencas de los ríos, Cabonico y Téneme y en la región de Moa. Aunque se han aportado pocos datos geoquímicos de estas rocas, algunos autores consideran que la Formación Téneme pudiera ser parte de un antiguo arco de isla tipo PIA (Torres y Fonseca, 1990); (Lebron y Perfit, 1994).

Santo Domingo (Albiense-Turonense) está compuesta por tobas y lavabrechas andesíticas, dacitas, tufitas, argilitas, lutitas volcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas con pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde Vinent, 1996, 1998); (Proenza y Carralero, 1994);( Gyarmati y otros, 1997).

### 2.2.3 Cuencas de "piggy back" del Campaniense Tardío-Daniense

Estas cuencas, se desarrollaron sobre las rocas pertenecientes al arco de isla volcánico y están representadas en la región por las Fm. Micara, La Picota y Gran Tierra. Todas con un gran componente terrígeno, con clastos de la asociación ofiolítica y rocas pertenecientes al arco.

**La Fm. Micara** de edad Maestrichtiense - Paleoceno, está compuesta por fragmentos y bloques procedentes de la secuencia ofiolítica y de las rocas volcánicas cretácicas (Cobiella et al., 1977) ;(Quintas, 1989, 1996) ;( Gyarmati y Leyé O’Conor, 1990).

**La Formación Picota** de edad Maestrichtiense es una secuencia típicamente olistostrómica. Posee una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado.

**La Formación Gran Tierra**, se compone de calizas brechosas, conglomerados volcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas órgano-detriticas, areniscas

volcanomícticas con cemento calcáreo, lutitas y tufitas (COBIELLA, 1978);(Quintas, 1989).

#### **2.2.4 Arco de islas volcánico (terciario)**

Entre el Paleoceno y el Eoceno Medio-Inferior, se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla, y en nuestra zona se considera como materiales distales del vulcanismo paleogénico. Estas secuencias están compuestas por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, lutitas, margas, gravelitas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 60 m de espesor (Formación Sabaneta) (Iturralde Vinent, 1996, 1998; Cobiella, 1997; Proenza y Carralero, 1994) la cual yace sobre una secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) (Iturralde Vinent, 1976) o descansa discordantemente sobre las formaciones Mícara y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas Cretácicas (Nagy y otros, 1983).

#### **2.2.5 Cuencas Postvolcánicas**

Estas cuencas desarrolladas hasta el Eoceno Superior están formadas en sus inicios por rocas carbonatadas de mares profundos, las que van transicionando a rocas terrígenas. Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por las Formaciones Sagua, La Fm. Charco Redondo, La Fm. Sierra de Capiro, La Fm. Cilindro, La Fm. Mucaral, La Fm. Maquey compuestas principalmente una secuencia carbonatada. (Albear y otros, 1988; Quintas, 1989, 1996). (Cobiella, 1978); (Quintas, 1989,1996) ;( Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990). (Quintas, F 1989); (Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990) ;( Crespo, E 1996).

### **2.2.6 Neoautóctono**

El "neoautóctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Las rocas del neoautóctono constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada poco deformada que aflora en las cercanías de la costa formando una franja que cubre discordantemente los complejos más antiguos y que estructuralmente se caracterizan por su yacencia monoclinas suave u horizontal (Quintas, 1989; Iturralde Vinent, 1994, 1996; Rodríguez, 1998). Son representativas de esta secuencia las formaciones Cabacú, Yateras, Jagüeyes, Majimiana, Júcaro, Río Maya y Jaimanitas que están compuestas principalmente por gravelitas, areniscas y lutitas polimícticas de cemento débilmente arcilloso-calcáreo y a veces algunos lentes de margas arcillosas, alternancia de calizas biodetríticas y detríticas, calizas biogénicas de granos finos a gruesos, duras, de porosidad variable y a veces aporcelanadas, areniscas, gravelitas polimícticas de matriz arenácea y arcillosa, con escaso cemento carbonático, margas arcillosas y arenáceas. En algunos casos se alternan calizas biodetríticas, biohémicas, calcarenitas y arcillas, por calizas generalmente arcillosas, calcarenitas, margas, a veces con gravas polimícticas y arcillas yesíferas, calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas, de calizas biohémicas algáceas y coralinas muy duras, de matriz micrítica, calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas, contiene conchas bien preservadas y corales de especies actuales.

### **2.3 Tectónica Regional**

Desde el punto de vista tectónico, el área se encuentra dentro de los límites del denominado Bloque Oriental Cubano, el cual es el más oriental de los tres grandes bloques que constituyen la estructura geológica cubana, con límites muy bien definidos por los siguientes sistemas de fallas regionales:

- Sistema de fallas Cauto-Nipe. (oeste-noroeste.)
- Falla transformante de Bartlet. (sur).
- Falla de sobrecorrimiento Sabana (norte).

Estas fallas se cortan formando un triángulo (Figura 2.4), además el Bloque Oriental Cubano está muy cerca del límite entre las placas Norteamericana y Caribe; posición esta que lo hace muy vulnerable a movimientos sísmicos.

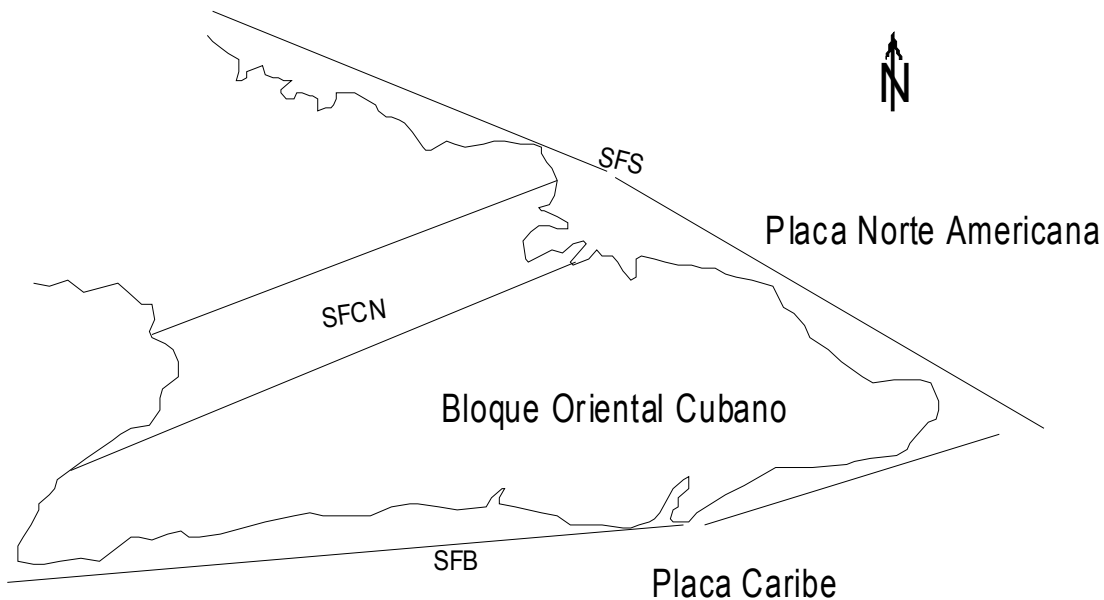


Figura 2.4 Mapa Esquemático del Bloque Oriental Cubano. Nombre de los Sistemas de Fallas: SFS, Sistema de Falla Sabana; SFB, Sistema de falla Bartlett; SFCN, Sistema de Fallas Cauto-Nipe. Tomado de Blanco I, (2003).

Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas, (Campos. M. 1983). Localmente esta complejidad se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión, también se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos. M. 1983, 1990).

En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste-suroeste; noroeste-sureste y norte-sur, esta última, característica para las vulcanitas de la parte central del área. Las deformaciones más complejas, se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos. M. 1983, 1990).

A fines del Campaniense Superior – Mastrichtiense, ocurre la extinción del Arco Volcánico Cretácico Cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico, según un sistema de escamas de sobrecorrimientos con mantos tectónicos altamente dislocados, de espesor variable y composición heterogénea.

Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas. En las rocas Paleogénicas y Eocénicas la dirección de plegamiento es este-oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinal u horizontal (Campos. M. 1983, 1990).

Los movimientos verticales son los responsables de la formación del sistema de horts y grabens que caracterizan los movimientos tectónicos recientes, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior, que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste, que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

#### **2.4 Composición química y mineralógica de las litologías ultramáficas**

Para comprender los procesos geotectónicos que dieron lugar a la formación de los yacimientos de menas residuales de níquel y cobalto en el nordeste de Cuba oriental, se hace indispensable analizar la composición química y mineralógica de



las litologías ultramáficas que afloran en la región de Mayarí – Sagua – Moa – Baracoa.

Las ultramafitas serpentinizadas que afloran en el nordeste de Cuba oriental forman parte del cinturón ofiolítico que se encuentra emplazado en la porción norte del territorio cubano. (Muñoz, J.N. 2004)

En el complejo, existe un predominio de las litologías ultramáficas, entre ellas se encuentran, en primer lugar harzburgitas, dunitas y en menor grado lherzolitas y piroxenitas, las que están afectadas por los procesos de serpentización, es por ello que en menor o mayor grado, las ultramafitas y mafitas están serpentinizadas, proceso que debe de haberse iniciado, casi simultáneamente con el emplazamiento de las ofiolitas en la corteza superior. (Muñoz, J.N. 2004)

Las ultramafitas se caracterizan por poseer un bajo contenido de SiO<sub>2</sub> en relación con otras rocas ígneas plutógenas, alto contenido de hierro y magnesio, ambos elementos son aportados por el olivino que es el mineral que predomina en las litologías ultramáficas (olivino – (Mg, Ni, Mn, Co, Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> (Blanco, I. 2003).

Las características texturales de las harzburgitas de la Moho Transition Zone (MTZ) en el macizo Moa- Baracoa, sugiere que las harzburgitas se pueden haber formado por interacción entre un magma ascendente circulando mediante flujo poroso y las rocas mantélicas percoladas.

Las características texturales de de las rocas presentes ponen de manifiesto la actuación de procesos de percolación/reacción de fundidos ascendentes.

La MTZ es una zona de importante interacción entre magmas ascendentes y las rocas mantélicas percoladas. Los sills de gabros contribuyen al transporte de magmas en la MTZ, y serían el resultado de la solidificación de volúmenes discretos de magma intergranular, acumulados a determinados niveles en la zona de transición, de forma que las peridotitas impregnadas representarían trazas en la zona percolada (Proenza, J; Gervilla, F. y Melgarejo, J. C, 1999).

## 2.5 Mineralogía de las menas lateríticas

Uno de los temas polémicos de la geología de las menas lateríticas lo constituye su composición mineralógica; estudios recientes han permitido la caracterización química y mineralógica de los minerales que componen los diferentes horizontes. Se han realizado estudios de alta precisión, mediante el empleo de la microscopía electrónica, difracción de rayos X y microscopía de luz reflejada, lográndose una mayor precisión en la composición mineralógica. La corteza ferro-niquelífera está compuesta predominantemente por los óxidos e hidróxidos de Fe, Al, Cr, Mg, Co y Ni; aunque en profundidad (zona de saprolita) no se comporta de igual forma; en este horizonte predominan los silicatos niquelíferos.

### Mineralización

La composición mineralógica de las menas lateríticas es sumamente compleja, ya que en el alto número de elementos químicos que se liberan de la desintegración de la molécula del olivino y ortopiroxenos, principales portadores de níquel y cobalto, se incluyen los minerales accesorios de las litologías mantélicas y las litologías de la porción basal del complejo oceánico, que por su alta estabilidad física y química se mantienen estables durante los procesos de serpentinización y lateritización.

La mineralogía de las menas lateríticas responde a la migración geoquímica de los elementos de la familia del hierro y a las condiciones termodinámicas existentes durante el proceso de lateritización. En correspondencia a esos factores, la migración geoquímica del níquel se realiza en tres fases:

- a) Desintegración de la molécula del olivino y ortopiroxenos
- b) Fase de formación de óxidos e hidróxidos
- c) Fase de formación de silicatos de níquel

De esta forma la migración del níquel en la corteza de intemperismo queda de la manera siguiente: olivino + piróxenos → goethita + asbolana → silicatos de Ni, (Muñoz, J. N., et al., 2007).

### 2.5.1 Tipos de perfiles lateríticos

Investigaciones realizadas en diferentes yacimientos de menas lateríticas de hierro, níquel y cobalto han demostrado que la combinación de la composición de las rocas ultramáficas, los fenómenos estructurales y las condiciones climáticas así como la migración selectiva de los elementos químicos que participan en el proceso de lateralización han originado perfiles que se caracterizan y diferencian en cuanto a la mineralogía, quimismo y estructura para dar tres perfiles lateríticos como lo son:

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

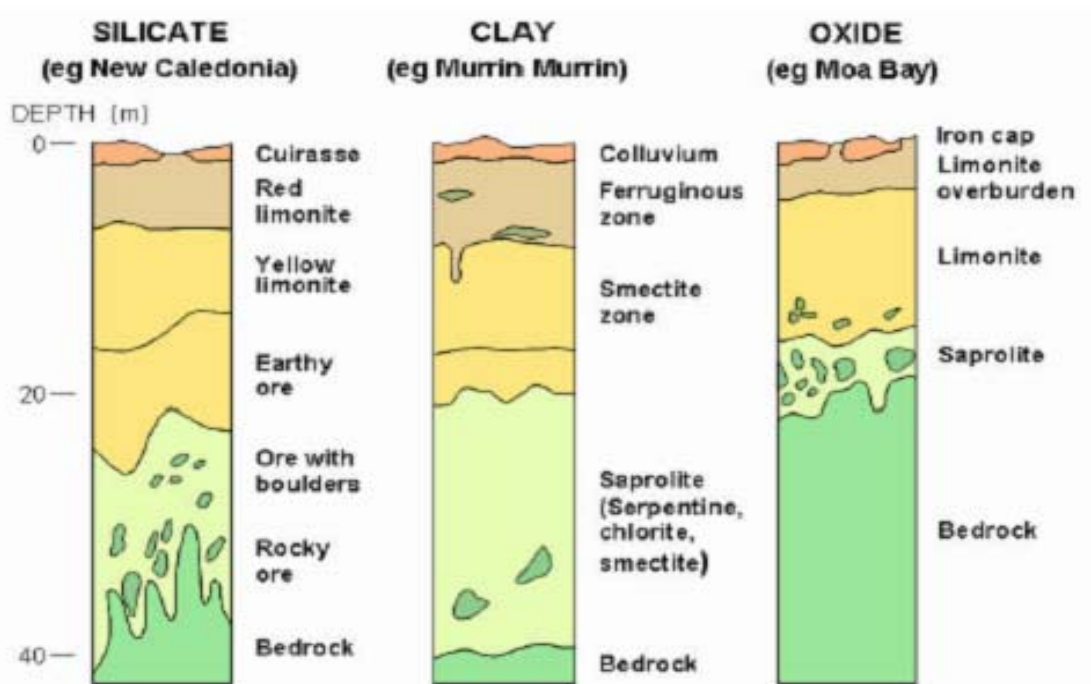


Figura 2.5: Esquema comparativo de los principales tipos de perfiles lateríticos

Recientemente ha sido expuesta una nueva clasificación de los perfiles lateríticos. La concepción del nuevo modelo genético para los yacimientos lateríticos integra el desarrollo de las cortezas de intemperismo en cuatro perfiles correspondientes a las litologías fundamentales que integran el complejo ofiolítico: Estas litologías son las siguientes:

- a) Litologías ultramáficas piroxénicas,
- b) Litologías de la zona de transición manto corteza oceánica
- c) Litologías de la corteza oceánica
- d) Cortezas redepositadas. (Muñoz J.N et. al 2009). (Inédito)

**Resumen del capítulo.**

Cuando se hace una valoración del contexto geográfico, geológico y económico en la que se ubica el objeto de la presente investigación podemos resumir lo siguiente:

1. El área de estudio presenta una marcada complejidad geológica dado que se encuentra ubicada dentro del complejo ofiolítico Moa – Baracoa.
2. Los mayores yacimientos ferro-niquelíferos de la región se encuentran asociados a la zona montañosa.
3. La concesión minera Camarioca Sur se encuentra ubicada específicamente en el borde occidental del bloque morfotectónico de mayor levantamiento de la región.
4. La composición mineralógica de las menas lateríticas es sumamente compleja, ya que en el alto número de elementos químicos que se liberan de la desintegración de la molécula del olivino y ortopiroxenos, principales portadores de níquel y cobalto, se incluyen los minerales accesorios de las litologías mantélicas.

# Capítulo III

## **Capítulo III: Características geológicas del Yacimiento Camarioca Sur- (Fase 1).**

### **Introducción**

#### **3.1. Geología del yacimiento.**

#### **3.2. Composición petrológica del yacimiento Camarioca Sur.**

#### **3.3. Generalidades geoquímicas de las rocas del yacimiento Camarioca Sur.**

#### **3.4. Paleontología.**

##### **3.4.1 Variaciones de los factores de estrés y estado de conservación de las entidades.**

##### **3.4.2 Redeposición en Camarioca Sur.**

### **Introducción**

En este capítulo se presentan las principales características petrográficas, mineralógicas y geoquímicas que constituyen las asociaciones litológicas del complejo ultramáfico del yacimiento Camarioca Sur. La descripción se basa en el análisis petrográfico de 58 muestras preparadas en secciones delgadas. También se presenta una descripción de los rasgos geológicos y litológicos del área de estudio donde se incluye un estudio paleoambiental o energía de deposición de los sedimentos de la concesión minera.

#### **3.1. Geología del yacimiento Camarioca Sur (Fase 1)**

La parte central del yacimiento, es conocida como el dominio 5 y está limitado hacia el noroeste y este por barrancos de tributarios del arroyo Arroyón, controlados tectónicamente por fallas. Hacia el sur el límite, también de carácter tectónico, marca un escalón a través del cual se asciende a la zona más alta de la concesión minera y del relieve regional.

En este dominio las cortezas ferroniquelíferas descansan predominantemente sobre las rocas recristalizadas de constitución antigorítica, las que se distribuyen

en forma de un mosaico, controlado por fallas, dentro de las peridotitas serpentinizadas, las que prevalecen solo hacia la parte norte del mismo. Estos parámetros litológico y tectónico confieren al dominio una gran complejidad. Muñoz, J N et. al (2007).

De forma predominante, los pozos que muestran en su base las rocas antigoríticas, se caracterizan por presentar cortezas con bajos valores en el concentrado de níquel, exceptuando aquellos, como ocurre en el pozo N° 25745, ver en Sitnikov, V. 1976, donde los horizontes de ocre muestran valores de concentrados de níquel elevados desarrollados sobre serpentinita dura, la que descansa a su vez sobre las rocas antigoríticas. Esto se debe a que en estos casos específicos la corteza es totalmente redepositada, desde las serpentinitas hasta las rocas arcillosas ocretizadas de la superficie, como ocurre en el ejemplo señalado y que es corroborado por la presencia de restos fósiles.

En este dominio se encuentran los valores más altos de níquel e incluso de potencia de limonita, sin embargo, la distribución de estas entre las zonas de corteza sobre rocas antigoríticas, hará sumamente complejo el proceso de extracción. La dinámica erosiva para este dominio es alta, dado por los valores de pendiente del terreno que oscilan entre 10 y 50 grados, lo que ha conllevado a una remoción de la corteza que solo en aislados puntos presenta carácter eluvial.

En gran parte del dominio, en los ocres inestructurales superiores la presencia de perdigones es pobre o está ausente, lo cual es una respuesta a la erosión en condiciones continentales de las cortezas desarrolladas.

Los contenidos de sílice y el número mineral alcanzan valores altos anómalos para las cortezas lateríticas de este dominio, lo cual al parecer está directamente relacionado con la abundante presencia de las rocas recristalizadas antigoríticas, originadas a través de un proceso de silicificación y silicización hipergénica de bajas temperaturas. Muñoz J N et. al (2007).



La superficie del área levantada está constituida por la corteza de intemperismo desarrollada sobre diferentes litologías que constituyen el basamento de la concesión minera Camarioca Sur.

En la superficie afloran discontinuamente las asociaciones litológicas siguientes:

- Asociación ultramáfica mantélica: dunitas serpentizadas, harzburgitas serpentizadas y piroxenitas serpentizadas.

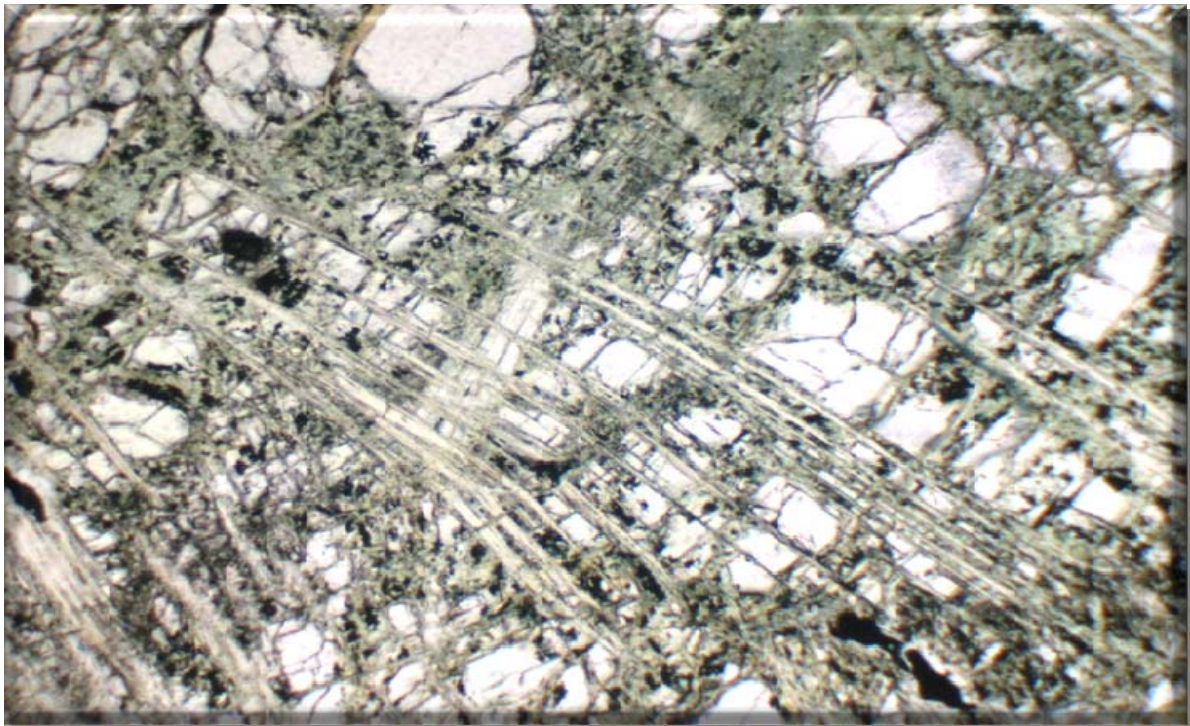


Foto1. CS -IB, 10079 - 1b: Dunita Serpentinizada

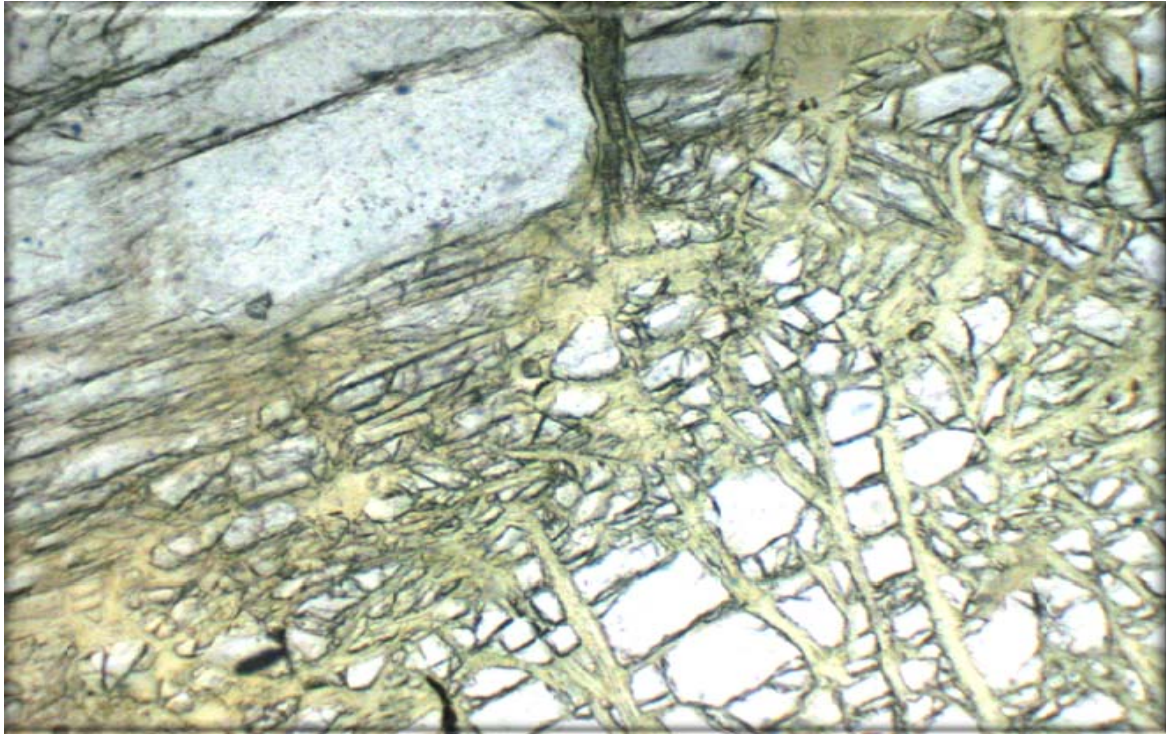


Foto2. CS -OV, 150 - 1a: Harzburgita Serpentinizada

- Asociación transicional (MTZ): harzburgitas plagioclásicas, trondjhemitas.

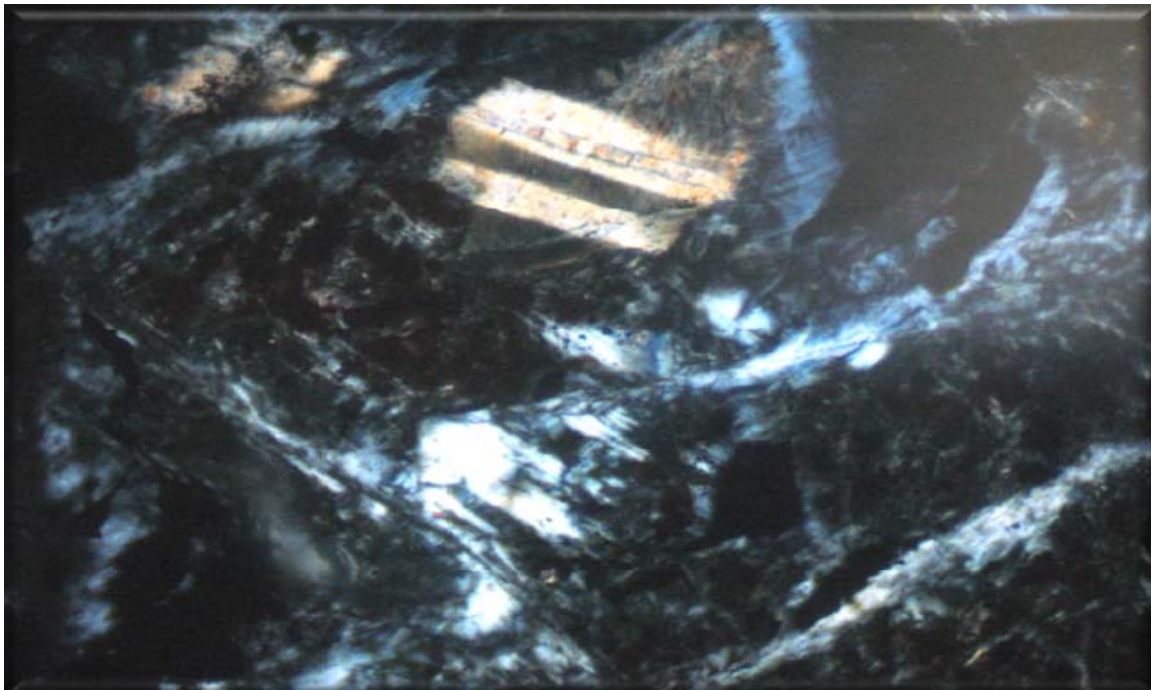


Foto.3 CS-IB, 10109-1a: Harzburgita plagioclásica



- Asociación metamórfica: metapelitas (?), esquistos cloríticos, cloríticos – talcosos.

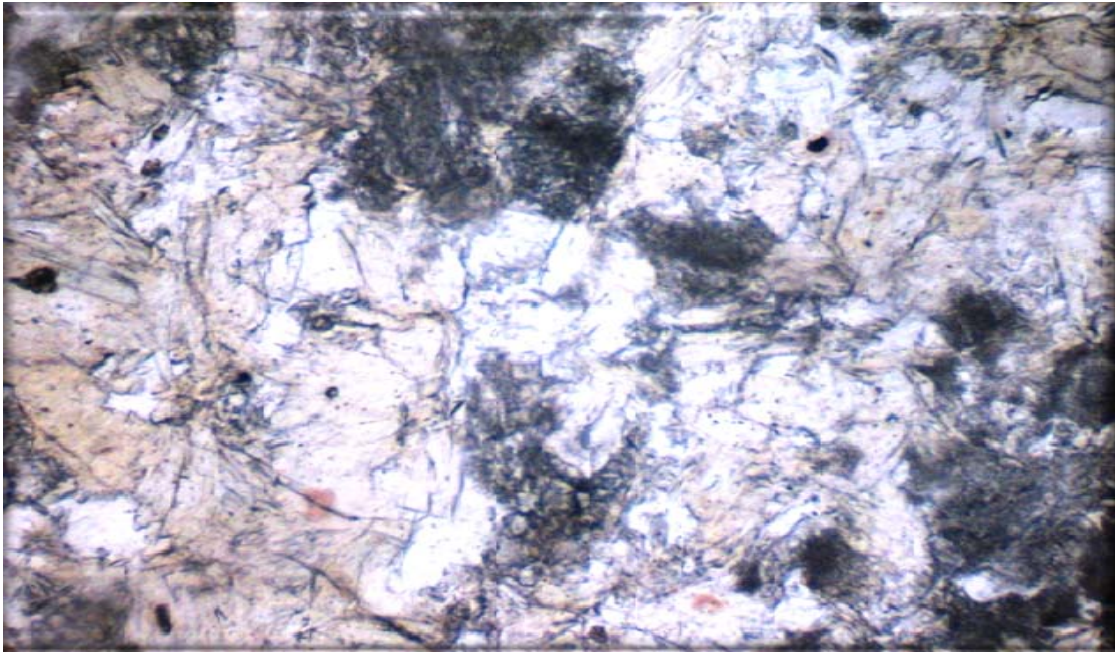


Foto 4. CS-OI, 12625- 1 a: Esquisto clorítico

- Asociación ultramáfica metamorfizada: serpentinitas antigoríticas, serpentinitas, serpentinitas cloritizadas y ensteatitas.

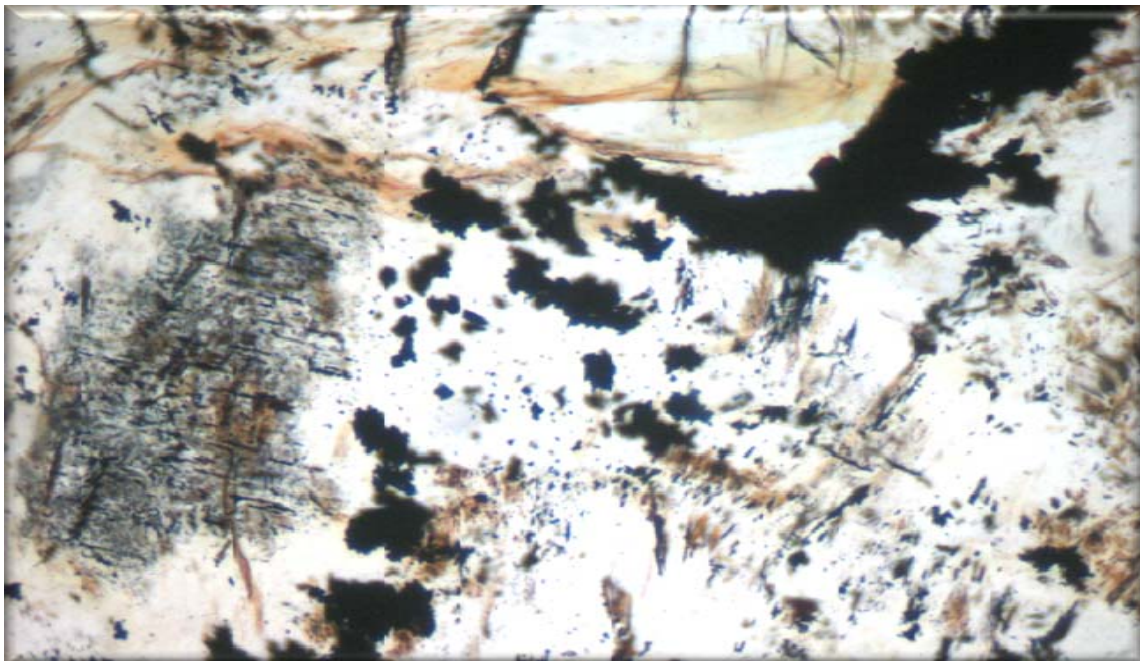
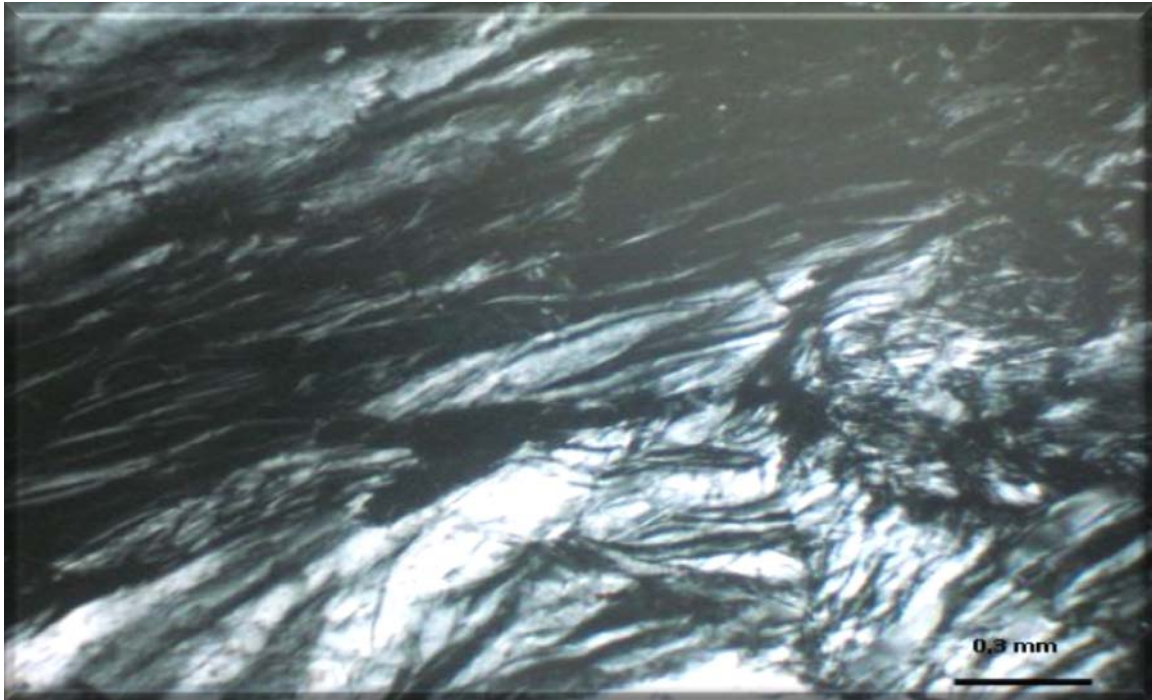


Foto 5. CS-OV, 162-2 a: Serpentinita antigorítica



**Foto 6. CS- OV, 5b. Serpentinita Cloritizada. Nicoles X. 4x**

En muchos afloramientos, siguiendo alineaciones tectónicas, aparecen abundantes fragmentos de sílice amorfa - calcedonia y cuarzo microcristalino que podrían estar asociados a un evento hidrotermal de baja temperatura posterior al emplazamiento de la asociación ofiolítica.

En los afloramientos se ha podido comprobar que existe una relación espacial entre las metapelitas (?) y las serpentinitas antigoritizadas pues en ocasiones se manifiestan en forma de contactos tectónicos y en otros casos contactos transicionales entre ambas litologías.

En la literatura, según (Winkler, Helmut G.F; 1979), la transición del crisotilo - lizardita a la antigorita sugiere una temperatura por encima de los 300° C donde la antigorita tiene su campo de estabilidad, sin embargo el crisotilo puede permanecer metaestable en este campo.

En la fuente bibliográfica anteriormente citada (ibid) para la formación de clorita a partir de serpentinita debe haber aporte de  $Al_2O_3$  lo que conlleva a la formación de una clorita rica en magnesio como lo es el clinocloro que es el tipo de clorita reportado en los análisis de difracción de rayos-X.

Desde el punto de vista estructural, las mediciones realizadas en los sistemas de grietas son escasas y la dirección predominante es: NW – SE, las zonas de fallas se identifican mejor, como se expresó anteriormente por la presencia de las variedades de minerales de la sílice, en pequeñas drusas o rellenando los sistemas de grietas, es importante señalar también la relación estrecha, desde el punto de vista espacial, entre las serpentinitas antigoritizadas y las manifestaciones de sílice. Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, Fase 1, Abril 2011.

### **3.2 Composición petrológica del yacimiento Camarioca Sur.**

El yacimiento Camarioca Sur está compuesto predominantemente por lateritas ferroniquelíferas relacionadas con las cuatro asociaciones litológicas propias de los complejos ofiolíticos. En muchos afloramientos y siguiendo lineaciones tectónicas aparecen abundantes fragmentos de sílice y cuarzo microcristalino, que podrían estar relacionados con un evento hidrotermal de baja temperatura de una edad más joven que el complejo ofiolítico.

En las muestras descritas como serpentinitas el mineral predominante es la antigorita, el cual se caracteriza por tener una disposición de tipo laminar u hojosa, a diferencia de la lizardita-crisotilo que se presenta en venas o vetillas, formando éstas un enrejado o malla que rodea al olivino y los piroxenos en las ultrabasitas serpentinizadas. Se ha podido establecer que los protolitos de las serpentinitas son harzburgitas o piroxenitas, en éstas últimas se observan los piroxenos, principalmente ortorrómbicos, bastitizados. También hay presencia de talco, que es un indicador de que las serpentinitas que lo contienen han experimentado un proceso de metamorfismo posterior al proceso de serpentización.



El hecho de que algunas serpentinitas antigoríticas muestren procesos de cloritización y además la presencia de talco y carbonatos en las mismas, es un índice de procesos de metamorfismo de las rocas ultrabásicas, según se reporta en la literatura (Winkler, 1979 en Hernández S. M. 2011). De las rocas ultrabásicas serpentinizadas, las harzburgitas y dunitas, identificadas a través de la Clasificación Internacional para rocas ultramáficas según Streckeisen (1973 in: Le Maitre, 1989) basada en la proporción de olivino (Ol), ortopiroxeno (Opx) y clinopiroxeno (Cpx). Estas rocas han sido afectadas por el proceso de serpentización estando presentes relictos de olivino y piroxenos (principalmente ortopiroxenos) rodeados por minerales del grupo de la serpentina como antigorita y lizardita formando la típica textura mallada o pseudomórfica.

El análisis petrográfico incluyó la descripción detallada de la muestra de roca tomada en el campo, así como la descripción bajo el microscopio petrográfico o polarizante para la determinación de la roca por su composición mineralógica. (Ver anexos 1 y 2).

En muestras de mano las rocas estudiadas tienen colores variables desde verde, verde negruzco hasta colores grises, de tonalidades verdosas y oscuras. La estructura en general es masiva y en ocasiones cortadas por vetas y vetillas rellenas de minerales del grupo de la serpentina, óxidos y carbonatos, a veces están teñidas de óxidos de hierro y en ocasiones se observan minerales con aspecto micáceo indicando la presencia de talco.

La granulometría varía desde fina (1 - 5 mm) hasta gruesa (5 – 10 mm), en las cuales se observan y se pueden determinar los minerales: olivino, piroxenos, minerales del grupo de la serpentina y menas metálicas.

Las rocas son densas, compactas donde los piroxenos en la mayoría de los casos tienen color negro, brillo vítreo, y en otras ocasiones están bastitizados, por lo que toman un brillo céreo y colores grises.

El olivino por su parte, se observa en granulometría fina, color verde oliva formando el agregado característico donde se distribuye el piroxeno. A veces estas rocas tienen rasgos de cizallamiento y algo brechoso.

Desde el punto de vista petrográfico se presentan dos tipos principales de rocas: Dunitas que constituyen la mayoría de ellas y Harzburgitas. Además fueron determinadas rocas metamórficas a partir de ultramafitas.

**Dunitas:** serpentinizadas, tectonizadas, cizalladas y metasomatizadas. Su composición mineralógica está representada por olivino (del 89-97% del volumen total de la roca) y piroxeno rómbico Enstatita que alcanza desde el 2 hasta el 8% de la roca, por lo que en ocasiones ha sido nombrada Dunita enstatítica. En dos muestras fue encontrado piroxeno monoclinico Augita en un bajo % (1-2 cristales). Los minerales secundarios o de alteración más comunes en estas rocas son la lizardita, Antigorita, Talco, carbonato, Actinolita y en el menor de los casos iddingsita y actinolita-tremolita.; en ocasiones existen agregados de espinelas cromíferas.

La estructura de estas rocas es masiva, son densas, de granulometría fina a media, colores verde, verde oscuro y verde grisáceo. En ocasiones presentan rasgos tectónicos.

Presenta una textura variable: de mosaico, sacaroidal, reticular, pseudoporfidica, pseudomorfica, cataclástica (pseudobrechosa).

**Harzburgitas:** serpentinizadas, tectonizadas, metasomatizadas. Rocas constituidas principalmente por olivino (desde el 86 – 89 %) y piroxeno rómbico enstatita cuyos contenidos varían entre un 10 -15 %.

En una de las muestras aparece el piroxeno monoclinico Augita el cual alcanza el 1% del volumen total de la roca. Los minerales de alteración son los del grupo de la serpentina.

Las texturas presentes son de tipo pseudoporfídica, pseudomórfica y alotriomórfica. Estas rocas se caracterizan por tener una estructura de tipo masiva, son densas, de granulometría media, colores verde, verde oscuro y verde grisáceo. En ocasiones presentan rasgos tectónicos.

**Metasomatitas:** se han denominado como metasomatitas aquellas ultramafitas sustituidas por otros minerales en los que apenas quedan relictos de los minerales principales y en algunos casos estos no aparecen en la roca.

Los minerales que constituyen las metasomatitas son: el talco, antigorita, carbonato, actinolita y en casos raros la actinolita – tremolita.

El talco se presenta en pequeñas láminas con alta birrefringencia y extinción recta, en algunas ocasiones junto con el carbonato, en otras ocasiones se encuentra distribuido en forma de abanico en la roca.

La antigorita en forma lamelar, a veces con distribución en abanico y también formando finos hilos o agujas sobre el olivino dando el aspecto como una cortina.

El carbonato en agregado criptocristalino con aspecto grumoso, en ocasiones está rellenando grietas en la roca. La actinolita en forma cristalina de aspecto acicular, presenta clivaje en una dirección y extinción pequeña. La textura es pseudomórfica o de sustitución. Hernández Sarlabous, M; (2011).

### **3.3 Generalidades geoquímicas de las rocas del yacimiento Camarioca Sur**

El contenido mínimo de  $\text{SiO}_2$  es de 39.05% que corresponde a la muestra 0082803, está representada por una Dunita serpentizada, mientras que el contenido máximo es de 44.02%, perteneciente a la muestra 0082856 representado por una Harzburgita Serpentizada. (Anexo 1)

En relación con el contenido de  $\text{MgO}$  la muestra 0082825 contiene el valor mínimo de este óxido con 36.05% y corresponde a una Dunita serpentizada y tectonizada, mientras que el valor máximo de este componente que alcanza el



40.43% está representado por la muestra 0082868 que corresponde a una Dunita metamorfizada.

El contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en la muestra 0082868 perteneciente a una Dunita metamorfizada contiene el valor mínimo de este óxido de 2.02%, mientras que la muestra 0082826 contiene el valor máximo de este óxido 6.46% y corresponde a una Dunita serpentizada, la cual microscópicamente está teñida de óxido de hierro y mallado de iddingsita.

El FeO tiene valores mínimos y máximos los cuales corresponden a metasomatitas a partir de dunitas, el 1.44% es correspondiente a la muestra 0082838 y 5.56% le corresponde a la muestra 0082869. Hernández Sarlabous, M (2011).

De las 58 muestras analizadas se determinó que: 17 correspondían a Serpentinitas; 13 a Harzburgitas Serpentinizadas; 7 a Metapelitas (?); 6 a Dunitas Serpentinizadas; 5 a Metapelitas (?) de grano fino; 4 a Harzburgitas; 2 a Esquistos cloríticos con serpentinita como posible protolito; 2 a Harzburgitas serpentizadas (antigorítica); 1 Peridotita plagioclásica y 1 Harzburgita talcitzada.

### 3.4. Paleontología

*“...en el yacimiento Punta Gorda y en los yacimientos colindantes del grupo de las Camariocas la corteza de intemperismo esta cubierta, geológicamente, por los sedimentos caracterizados faunísticamente como Mioceno- Cuaternario.”* Aliojin, V; Fesenko, C, et al., (1977).

Durante el estudio de los depósitos minerales ferroniquelíferos de Moa, en Cuba oriental, Adamovich & Chejovich (1962, 1964); Aguenko (1973); Sitnikov (1976), Formell & Oro (1980), entre otros, reportaron la existencia de cortezas lateríticas en los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Sur, erosionadas y sedimentadas en diferentes ambientes, las cuales coexisten con cortezas residuales in situ.

Sitnikov (1976) reportó la presencia de fósiles de origen marino en muestras paleontológicas tomadas en diferentes niveles de profundidad de las cortezas de intemperismo, dispersas en toda el área del depósito. Estos fósiles permitieron datar los procesos sedimentarios antes mencionados, como Mioceno Inferior — Plioceno.

El modelo paleoambiental es de gran interés para la prospección y explotación minera, pues puede explicar el carácter de la continuidad espacial del depósito mineral. López M. R. et. al. (2007).

Para construir el modelo paleoambiental se analizó, en cada punto, la diversidad de las poblaciones tafónicas, las variaciones de la energía deposicional, el estado de conservación de las entidades, la paleobatimetría y la paleoecología, así como la correlación entre las taxas.

#### **3.4.1. Variaciones de los factores de estrés y estado de conservación de las entidades**

Es característico de las zonas de alto estrés la presencia de poblaciones con muchos individuos de pocas especies (especies eurioicas), mientras que las zonas de bajo estrés usualmente poseen poblaciones estenóicas. Para evaluar el parámetro energía deposicional se empleó como criterio el estado de conservación de las entidades registradas, de Fernández-López (1997), que relaciona el grado de fracturación de las mismas y la energía del ambiente deposicional.

En general, la diversidad en las poblaciones tafónicas es baja. Una causa de esto pudieran ser los cambios bruscos de salinidad, evidenciada por la presencia de los géneros *Elphidium*, *Astigerina*, *Archaias* que toleran cambios de aguas salobres hasta hipersalinas (Bolvstovskoy, 1960). En foraminíferos bentónicos actuales se nota una disminución de la diversidad al aumentar la turbidez (Myers, 1942), propia de ambientes con alta energía, siendo esta una de las posibles causas de la baja diversidad. Hacia el sur, los taxoregistros están representados por especies

de estrategia ecológica tipo r (oportunistas), por lo que pudieron estar sometidos a fuerte estrés, según estudios de López-Martínez del año 2000 (Figura 3.2)

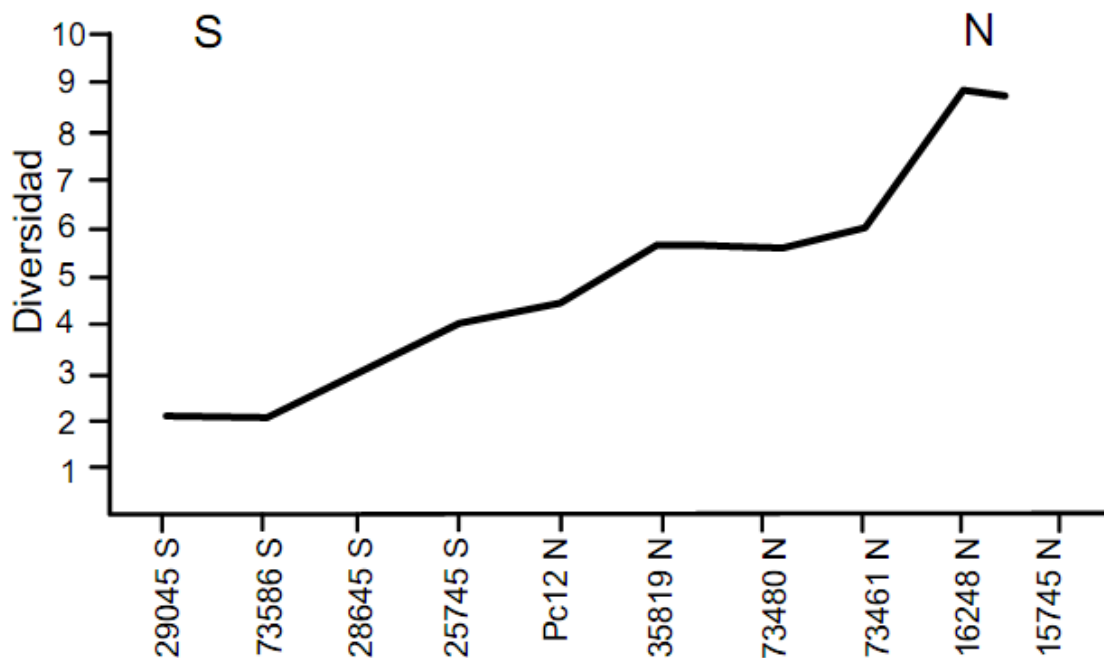


Figura 3.2. Curva de comparación de diversidad taxorregistrática en el perfil norte – sur. López Martínez, R. 2001

El análisis de diversidad demuestra que la riqueza faunística aumenta hacia el Norte por lo que es factible separarlos en dos zonas paleoecológicas diferentes.

La zona paleoecológica Sur: posee una estabilidad débil lo que evidencia que la paleobiota estuvo representada por pocas taxas.

La zona paleoecológica Norte: de mayor estabilidad y riqueza que muestra ambientes tranquilos.

Sitnikov, en 1976, reportó que los fósiles se encontraban mal preservados, por lo general sólo aparecen como fragmentos. Esta información fue confirmada en el muestreo comprobatorio, encontrando principalmente fragmentos de *Amphistegina* sp. La presencia de entidades conservadas en fragmentos es un rasgo común en

las zonas tafonómicas activas (Fernández López, 1997), donde ocurre un retrabajamiento, resedimentación y otros procesos tafogénicos, que pueden llevar a la fragmentación de los fósiles.

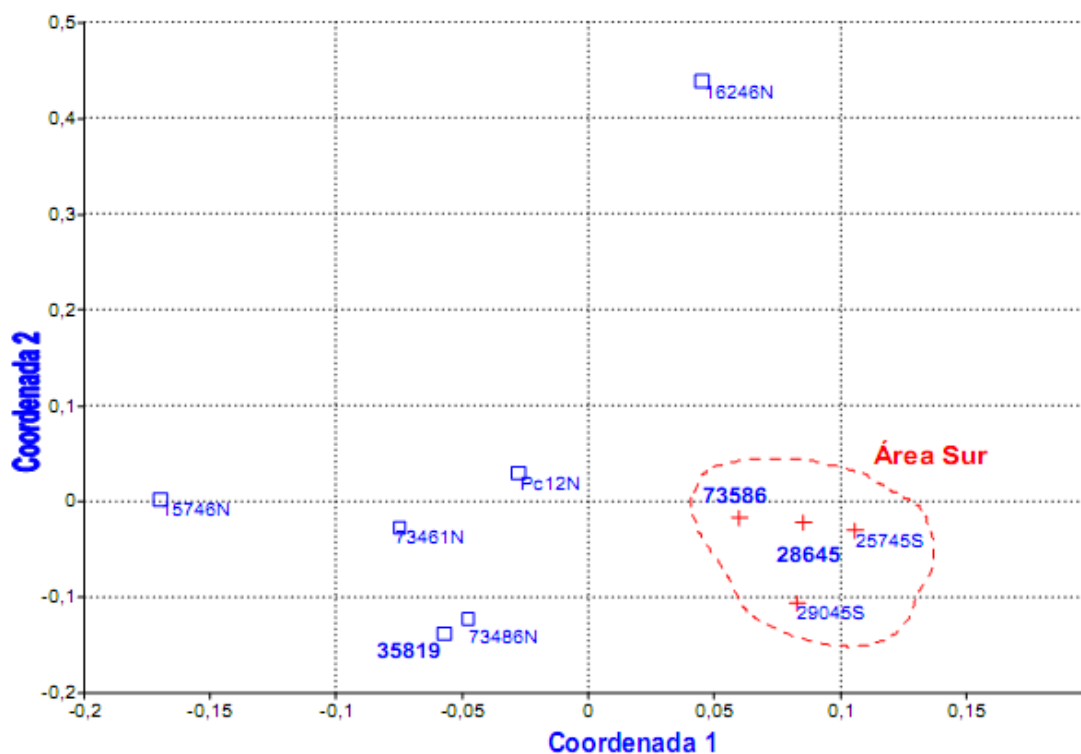


Figura 3.3. Non- metric-multidimensional scaling (NMMDS). Distancia Kimura.

“... en las épocas del Mioceno, la región del yacimiento, como resultado de la transgresión marina, estaba bajo el agua en el territorio considerable por lo menos hasta el sector Camarioca Sur, con las cotas absolutas del relieve contemporáneo +700+900...” (Aliojin, V; Fesenko, C, et al., 1977).

Hacia el sur el Índice de Foraminíferos Planctónicos es igual a cero lo que indica que estuvo dominado por foraminíferos bentónicos, típico de mares de alta energía, turbidez, y muy someros, con profundidades de hasta treinta metros.

Camarioca Sur presenta elementos tafonómicos característicos de zonas litorales de alta energía dada por fragmentos de microfósiles unido a la asociación *Archaias-Amphistegina-Miliolidos* que es típica de fondos arenosos de aguas someras de entre los 0-30 m y de alta energía. Esto es sugerido además por la poca diversidad faunística.

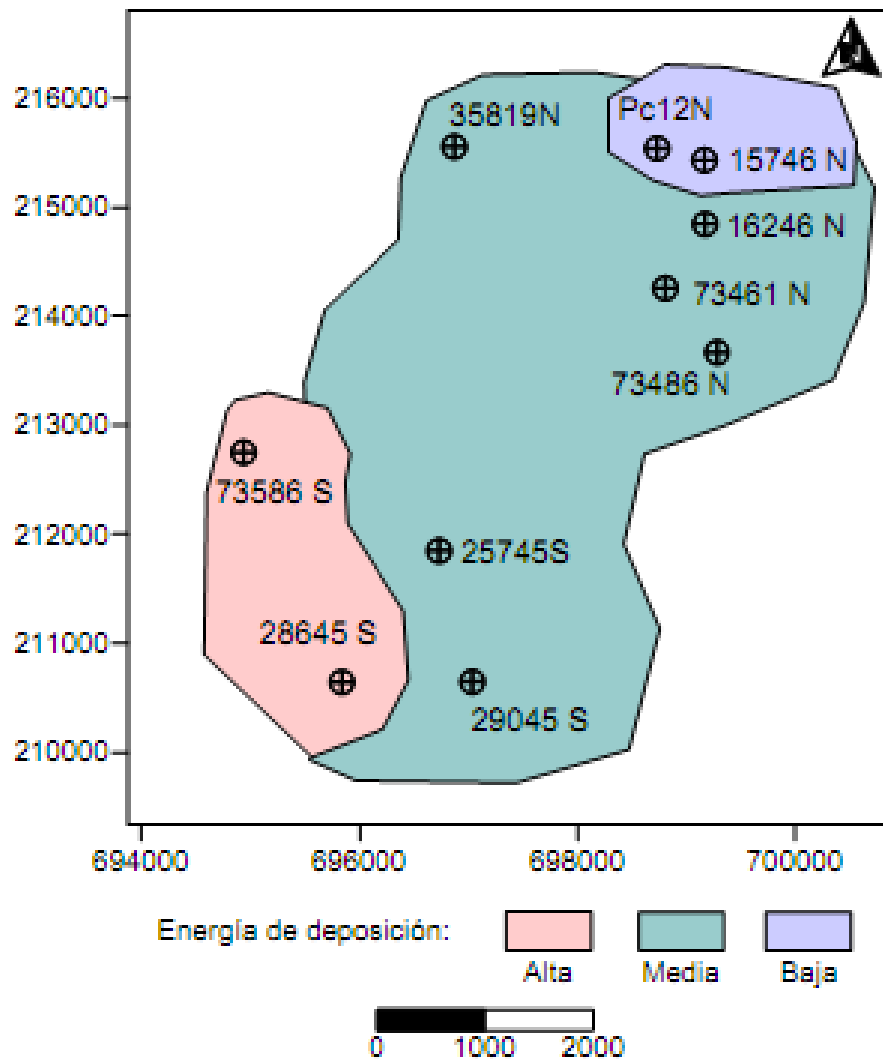


Figura 3.4. Reconstrucción de las áreas energéticas principales. López Martínez, 2001.

El análisis de las taxa presentes en las lateritas sedimentarias del yacimiento Camarioca Sur evidencia la existencia de un sistema deposicional ubicado en una plataforma interna protegida. Las profundidades en la zona norte oscilaban entre los treinta y cien metros, con una baja energía deposicional, la cual se incrementó

hacia la zona sur cuyas profundidades variaban de cero a treinta metros. Esta reconstrucción paleoambiental es congruente con el comienzo de una transgresión general de pequeña magnitud en el Mioceno Inferior.

### **3.4.2. Redeposición en Camarioca Sur**

Hacia el sur los indicios estratigráficos de la redeposición disminuyen, aun cuando en muchos pozos mineralógicos describen texturas estratificadas y seudoestratificadas para los ocres, según Sitnikov, V. (1976).

Conjuntamente con los rasgos de estratificación, la corteza meteórica muestra en numerosos puntos la repetición u omisión de algunos de sus horizontes, siendo un caso típico la ausencia del horizonte saprolítico, encontrándose los ocres estructurales finales directamente sobre las rocas del basamento o la existencia de horizontes de serpentinitas nontronizadas por encima y por debajo de horizontes de ocres estructurales.

**Resumen del Capítulo**

1. Las rocas estudiadas en esta primera fase se corresponden con el complejo ofiolítico del macizo Moa- Baracoa y esta representado por dunitas, harzburgitas y rocas alteradas a partir de las mismas (metasomatitas).
2. Se identifican cuatro asociaciones litológicas los que afloran en el área levantada: asociación: ultramáfico mantélico, asociación: transicional (MTZ), asociación; metamórfico y asociación: ultramáfico metamorfozido.
3. El análisis de las taxa presentes en las lateritas sedimentarias del yacimiento Camarioca evidencia la existencia de un sistema deposicional ubicado en una plataforma interna. Las profundidades en la zona norte oscilaban entre los treinta y cien metros, con una baja energía deposicional, la cual se incrementó hacia la zona sur cuyas profundidades variaban de cero a treinta metros.

# *Capítulo IV*



## Capítulo IV: Interpretación de los resultados.

### Introducción

En el presente capítulo se presentan los resultados de la investigación.

En este se muestran una serie de mapas que permitieron conocer las características del área de estudio y con ello llegar a las conclusiones correctas sobre el medio donde se desarrolló la investigación, los mapas elaborados son los siguientes:

- Mapa de Energía deposicional del medio
- Mapa de potencia de Laterita de Balance
- Mapa de afloramientos
- Mapas de los contenidos de los minerales útiles (Fe, Ni, Co, Cr, Al, Mg, Mn, SiO<sub>2</sub>),
- Mapa geológico con contenido de Níquel.
- Mapa geológico con afloramientos.
- Mapa de contenido de Níquel con afloramientos.

## Mapa de Energía de deposición

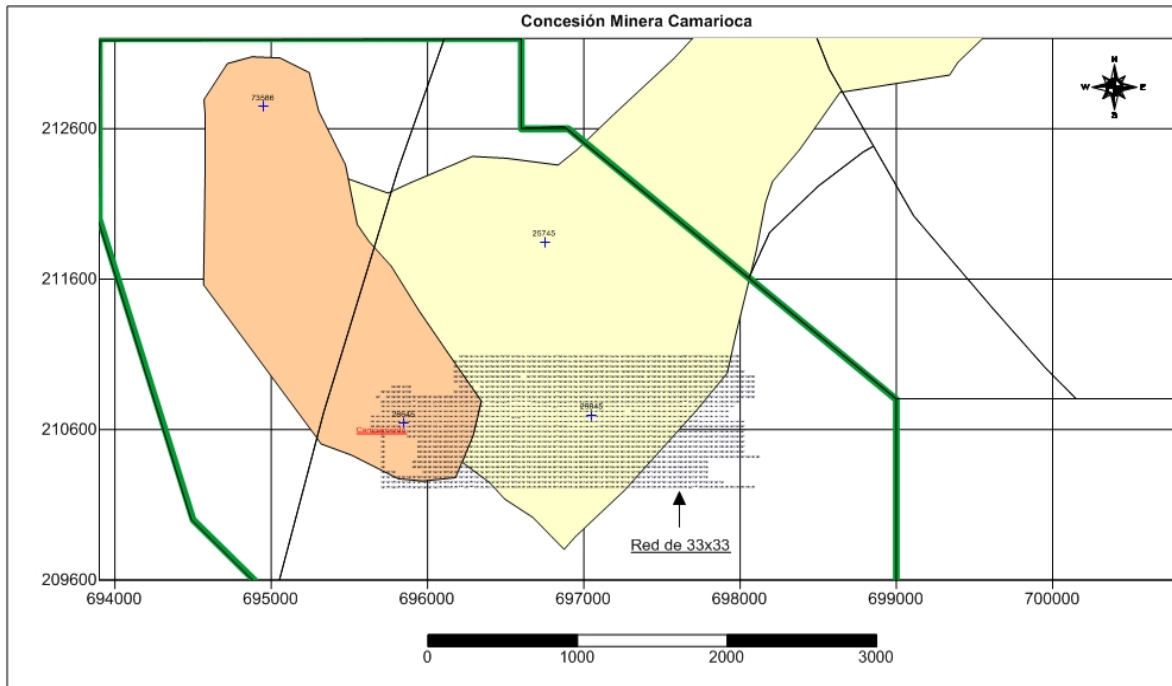



Figura 4.1 Mapa de relación entre energía deposicional y pozos de la red 33X33. (Fase 1) Modificado de Sitnikov. V, et al, 1976.

### Energía del medio Depositional

 Media

 Alta

El área de estudio, parte central del yacimiento Camarioca Sur (Fase 1) comprendida por la red de 33.33X33.33 metros está ubicada en una zona de media y alta energía de deposición. Dentro del área se localizan los pozos 28 645 a la izquierda y el 29 045 a la derecha los que brindan información de la energía de deposición de los sedimentos.

**Mapa de afloramientos**

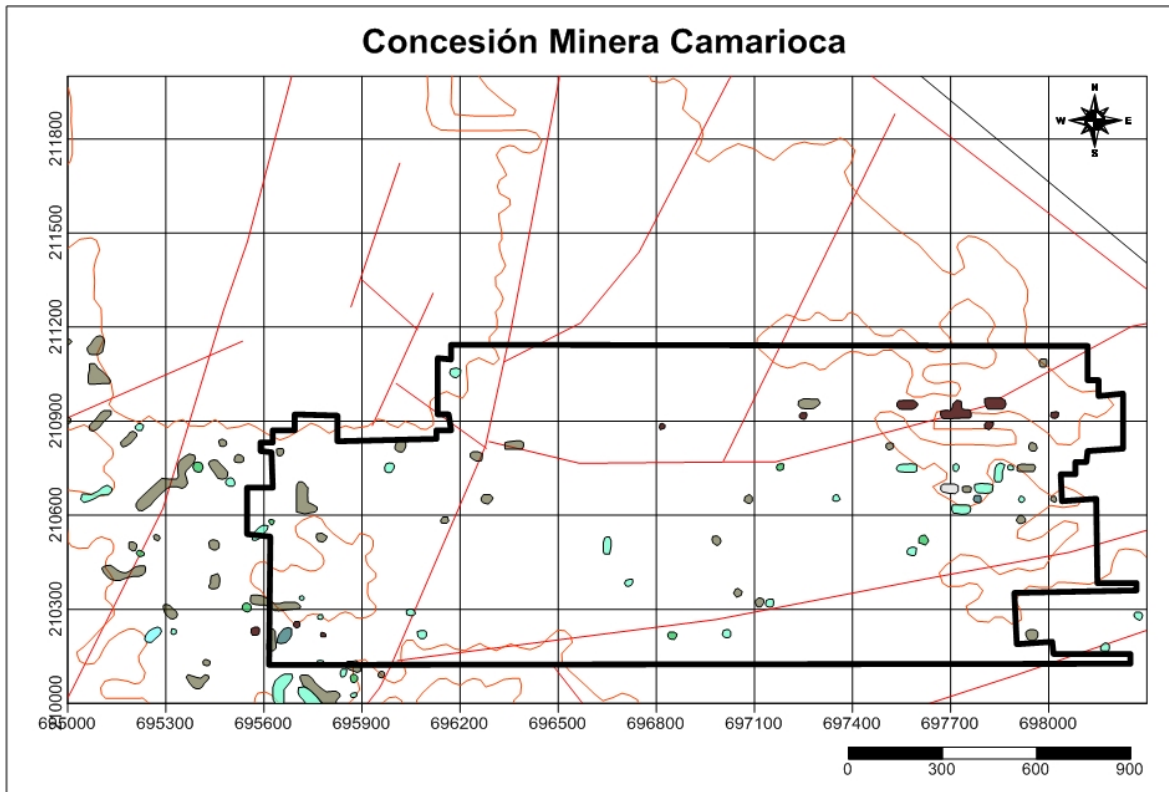











Figura 4.2 Mapa de afloramientos

Escala original de los trabajos 1: 5 000

**Leyenda**

- |   |                           |   |                                     |
|---|---------------------------|---|-------------------------------------|
|  | Cuarzo                    |  | Fallas                              |
|  | Serpentinita              |  | Límite del área de estudio (fase 1) |
|  | Peridotita Serpentinizada |  | Límite de corteza de meteorización  |
|  | Metapelita (?)            |   |                                     |
|  | Esquisto Clorítico        |   |                                     |
|  | Antigoritita              |   |                                     |

El área de estudio se encuentra cubierta una porción por la corteza de meteorización, localizada al Este y Noreste en mayor proporción y menor medida al Suroeste. En algunos sectores afloran las rocas del basamento entre las que se encuentran las Serpentinitas aunque estas no se localizan dentro del área de estudio, Peridotitas serpentinizadas; dispersas en todo el sector, al Este, Noreste,

Oeste en menor abundancia y en el centro. Las metapelitas (?) afloran en un pequeño sector al Suroeste, los esquistos cloríticos se encuentran distribuidos en áreas pequeñas aunque abundantes, al Este cerca de las Antigoritas que afloran en pequeños sectores en toda el área; al Este, Oeste y en la parte central.

### Mapa de potencia de Laterita de Balance

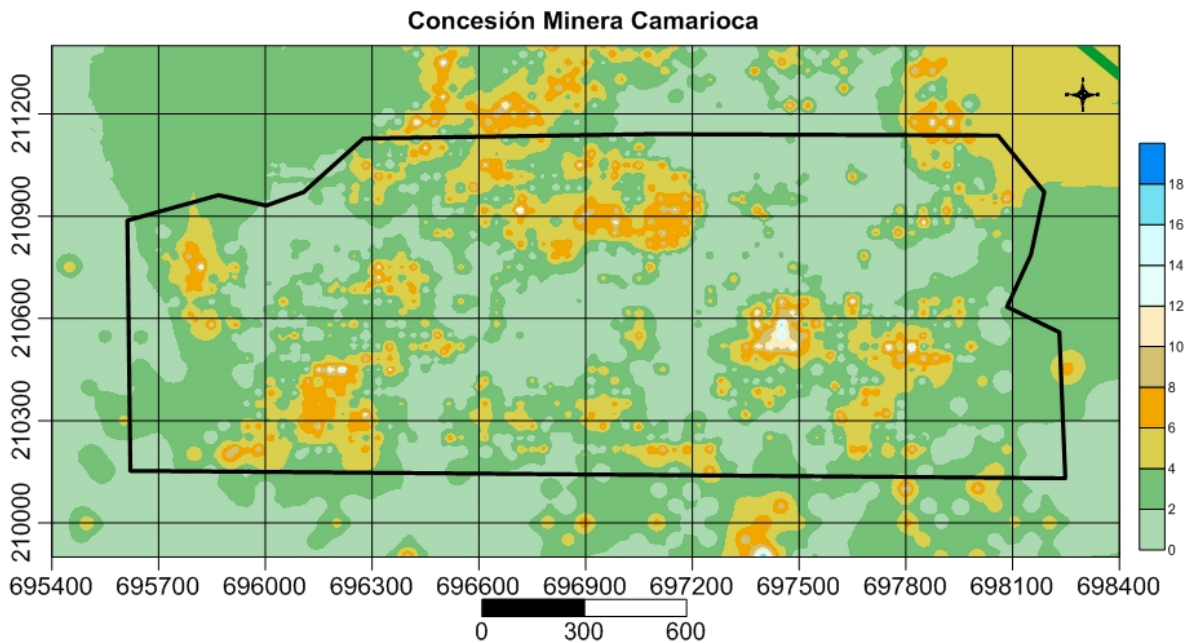


Figura 4.3 Mapa de iso potencias de mena en el Yacimiento Camarioca Sur.

Como se aprecia en la figura 4.3 en el área de estudio los valores de potencia varían desde 0 hasta 18 metros. Abunda el color verde lo que indica una potencia de hasta 4 metros.

El color amarillo con sus variedades indica potencia de 4-12 metros. Se pueden observar cuerpos irregulares al Norte, Este, Oeste y al Sur.

Los sectores de mayor potencia están representados por cuerpos irregulares de color azul con sus variedades. Los cuerpos presentan una forma irregular, se encuentran específicamente al Este y en menor medida al Oeste.

### Mapa de contenido de Níquel (Ni)

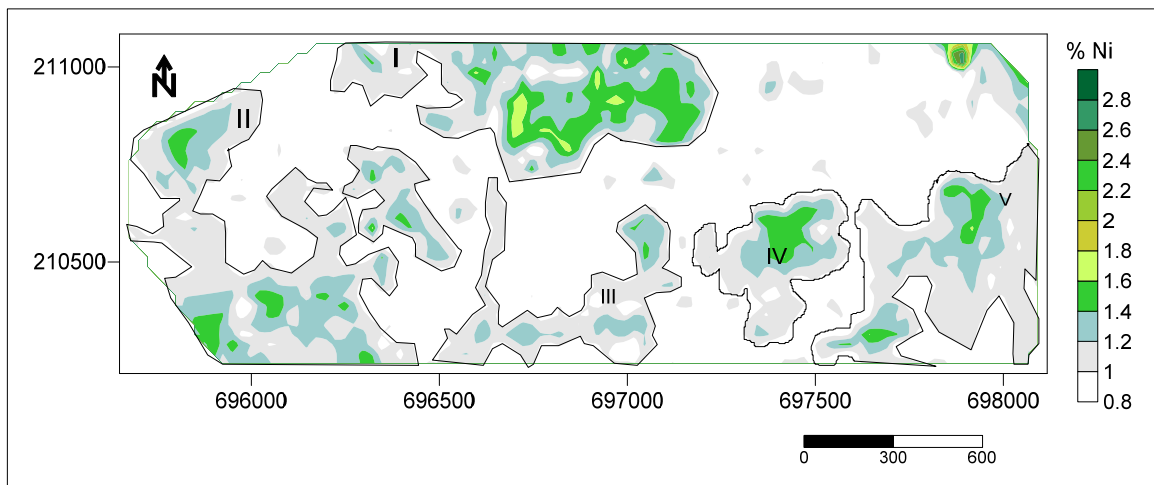


Figura 4.4: Mapa de distribución de los contenidos de Ni en la zona de estudio. I, II, III, IV y V- cuerpos minerales.

En el área de estudio el contenido de níquel varía desde 0.2% hasta valores de 2,8 %. En la figura 4.4 se representan cinco áreas o cuerpos minerales con contenidos mayores a 0,8 % Ni. Se observan sectores donde los valores sobrepasan el 1% Ni, llegando en ocasiones a alcanzar valores de hasta 2,8% Ni.

Al Norte de la zona de estudio se presenta el cuerpo número I, de forma irregular y contorno sinuoso. Los contenidos oscilan entre 1 y 1,8% Ni, predominando los valores entre 1 y 1,6 % Ni.

Al Oeste se localiza el cuerpo número II, de forma irregular, con contenidos que varían entre 1 y 1,6 % Ni.

Al Sur del sector de estudio se localiza el cuerpo III, de forma irregular. Los contenidos varían entre 1y 1,4% Ni

Al Este se encuentran los cuerpos IV y V con características similares, de forma irregular y los contenidos varían entre 1 y 1,6 % Ni, no siendo igual el comportamiento en el cuerpo V que alcanza en un pequeño sector al centro valores de hasta 1,8%Ni.

### Mapa de contenido de Hierro (Fe)

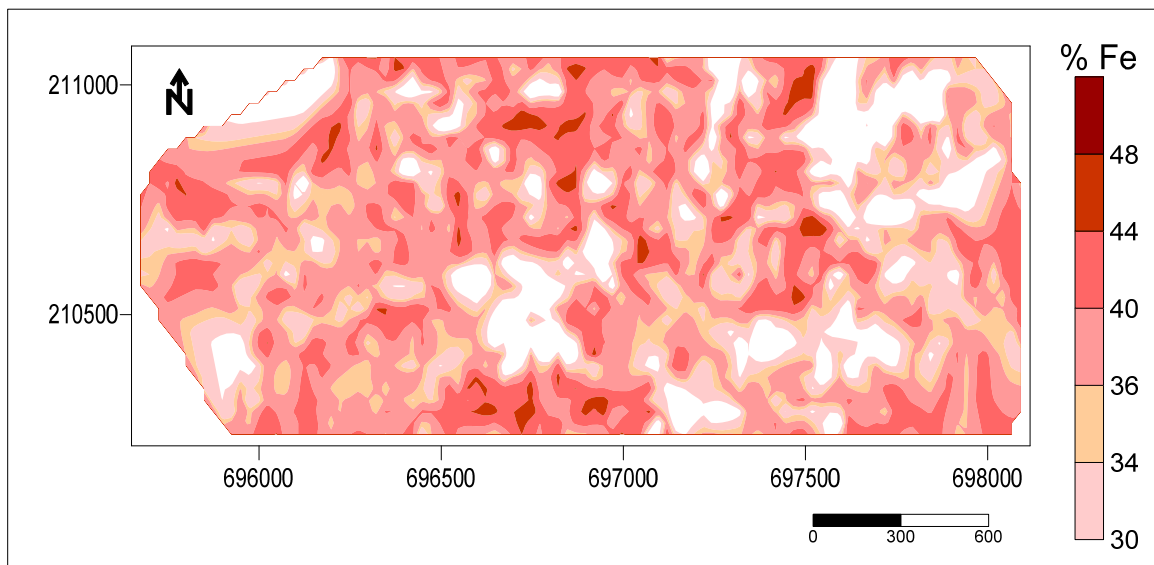


Figura 4.5 Mapa de distribución de los contenidos de Fe en la zona de estudio.

En el área de estudio el contenido de Hierro varía desde 30% hasta 48%. En la figura 4.5 se observan sectores donde los valores son menores del 30% Fe siendo estos los menores casos. Se aprecia un predominio de contenido superior al 36% Fe distribuido en toda el área.

Los sectores que presentan menor contenido de hierro se localizan hacia el noreste y en el centro, siendo estos los que ocupan mayor área. Los otros sectores ocupan menor área y se distribuyen hacia el Sureste principalmente.

De forma general el Sector de estudio presenta características favorables en toda su extensión para el proceso de la fábrica.

### Mapa de contenido de Cobalto (Co)

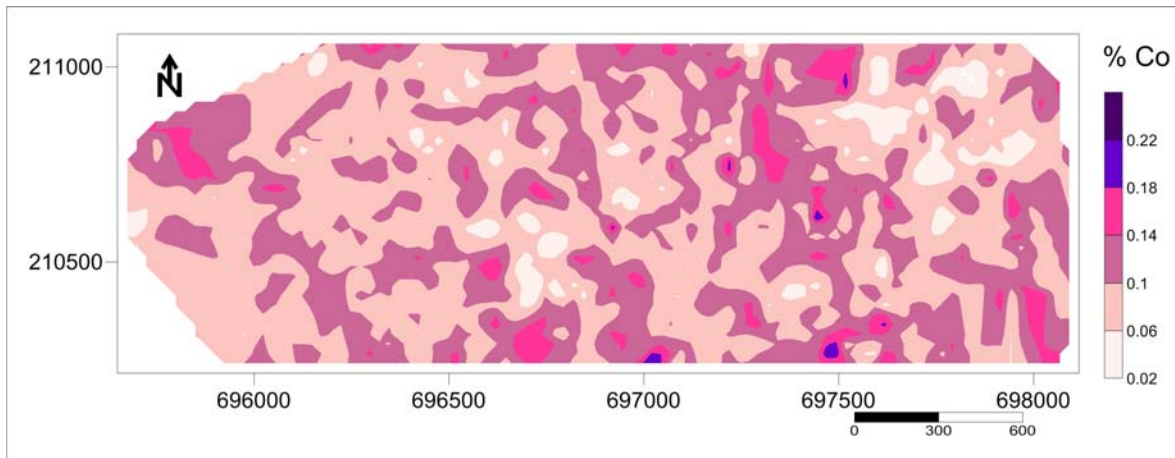


Figura 4.6 Mapa de distribución de los contenidos de Cobalto en la zona de estudio.

En el área de estudio el contenido de Cobalto varía desde 0,02% hasta 0,22 %. En la figura 4.6 se observa una buena distribución del contenido Cobalto en toda el área, con contenidos superiores a 6%Co. Presenta pequeños sectores donde los valores son menores a 0,02% Co siendo estos los menores casos.

Los sectores que presentan menor contenido de Cobalto se localizan hacia el noreste y en el centro, siendo estos los que ocupan mayor área.

### Mapa de contenido de Cromo (Cr)

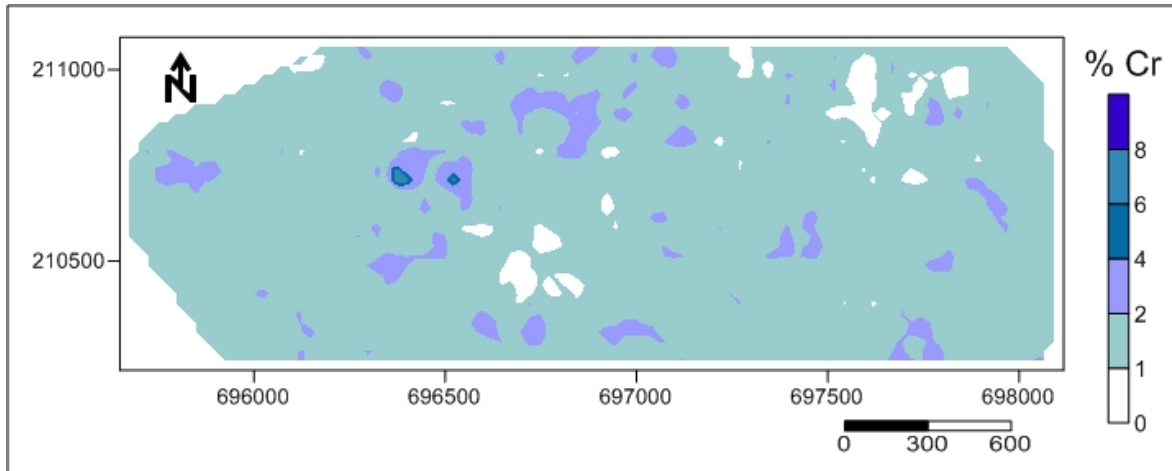


Figura 4.7 Mapa de distribución de los contenidos de Cromo en la zona de estudio.

En el área de estudio el contenido de Cromo varía desde 0% hasta 8%. En la figura 4.7 se aprecia un predominio de contenidos que varían entre 1 y 2%Cr bien distribuido en toda el área.

Los sectores que presentan menor contenido de Cromo representados por el color blanco, se localizan hacia el noreste y en el centro, con valores menores que 1%Cr.

Se puede observar además sectores con valores entre 2 y 4%Cr llegando a alcanzar en un pequeño sector al Oeste valores de hasta 6%.



### Mapa de contenido de Óxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ )

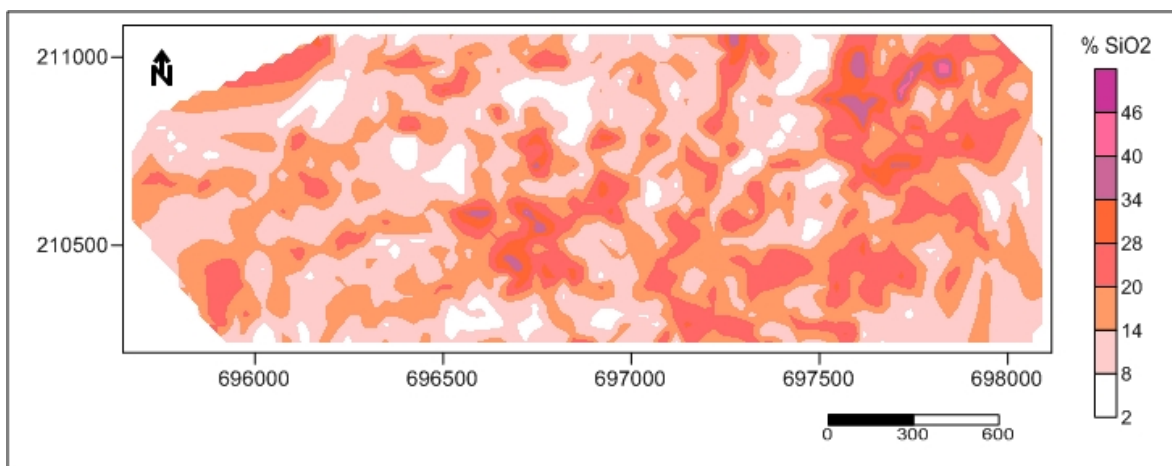


Figura 4.8 Mapa de distribución de los contenidos de Sílice en la zona de estudio.

En el área de estudio el contenido de Sílice varía desde 2% hasta 46%. En la figura 4.8 se aprecia la distribución espacial de contenido oscilando los valores entre 8 y 46% $\text{SiO}_2$ .

Los sectores que presentan menor contenido de Sílice se localizan hacia el Norte los de mayor área y distribuidos de forma irregular otros cuerpos de menor área en todo el sector de estudio.

Se puede observar además altos contenidos  $\text{SiO}_2$  en dos sectores principalmente, con una forma irregular llegando a alcanzar valores de hasta 46%. Uno al noreste de mayor área y otro en la parte central, con menor área.

### Mapa de contenido de Magnesio ( Mg)

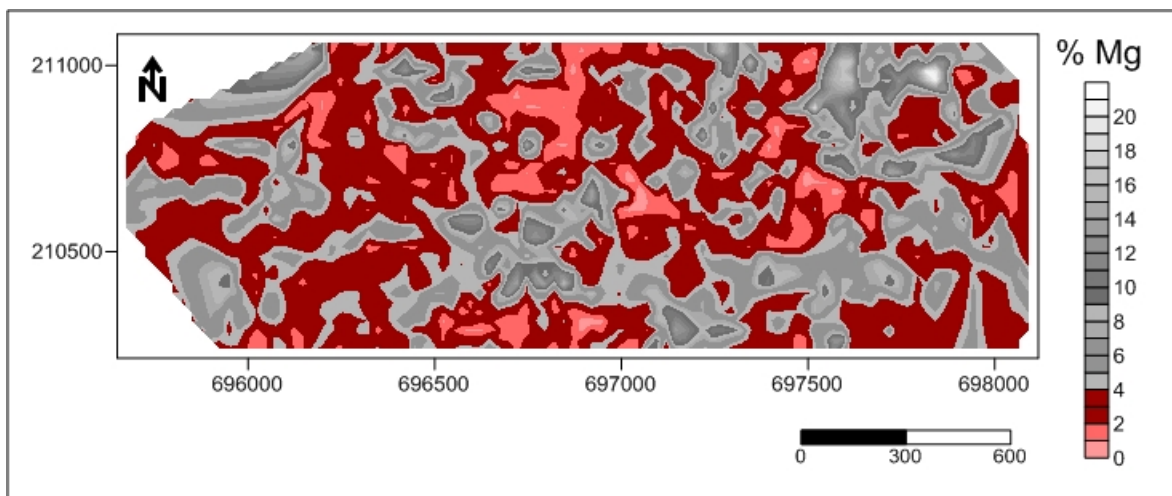


Figura 4.9 Mapa de distribución de los contenidos de Magnesio en la zona de estudio.

En el área de estudio el contenido de Magnesio varía desde 0 % hasta 21 %. En la figura 4.9 se aprecia un predominio de contenido superior a 2 %Mg.

Existen dos sectores que presentan mayor contenido de Magnesio se localizan uno hacia el noreste con valores de hasta 21%Mg y otro en menor área en el centro y hacia el sureste.

### Mapa de contenido de Aluminio(Al)

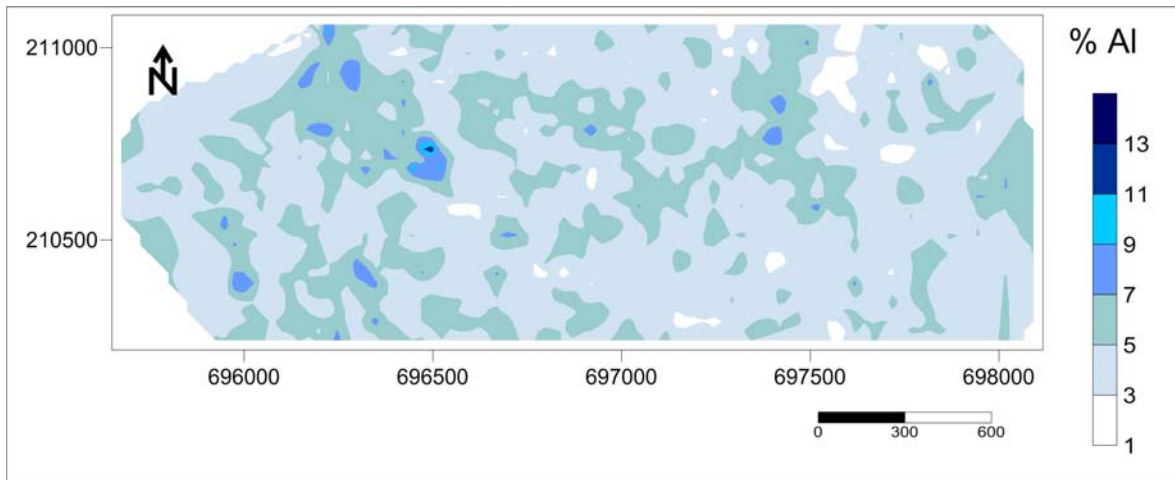


Figura 4.10 Mapa de distribución de los contenidos de Aluminio en la zona de estudio.

En el área de estudio el contenido de Aluminio varía desde 1% hasta 13%. En la figura 4.10 se aprecia un predominio de contenido que oscila entre 3 y 7%Al.

Se observan además pequeños sectores redondeados, de elevados contenidos alcanzando en algunos casos hasta 13%Al.

### Mapa de contenido de Manganeso (Mn)

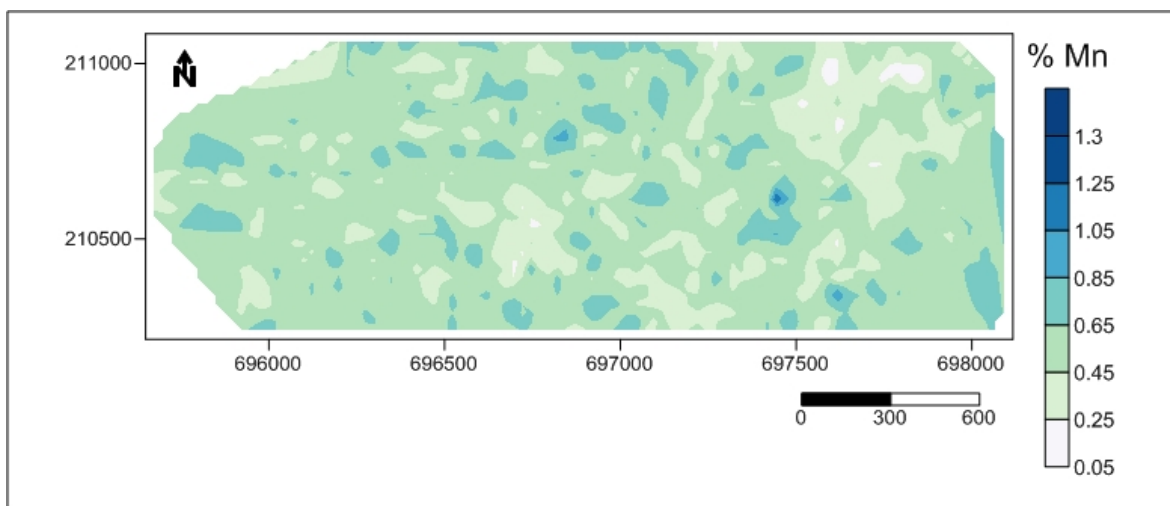


Figura 4.11 Mapa de distribución de los contenidos de Manganeso en la zona de estudio.

En el área de estudio el contenido de Manganeso varía desde 1% hasta 13%. En la figura 4.11 se aprecia un predominio de contenido que oscila entre 0,25 y 0,65 %Mn. Se observan sectores con contenidos mayores de 0,85% ocupando pequeñas áreas de forma redondeada distribuidos en todo el sector. Los menores valores se localizan al noreste con contenidos inferiores a 0,25%Mn.

Después de haber realizado las interpretaciones de los mapas de potencia y los mapas de contenido se puede llegar a la conclusión siguiente:

Existe una regularidad en algunos mapas como es el caso de Níquel, Hierro, Cobalto, Cromo, Manganeso y Aluminio. En ellos se aprecian los menores contenidos de los minerales útiles en los mismos sectores, es decir que ocupan la misma posición espacial. Estos se encuentran distribuidos al noreste y en la parte central del área de estudio. De igual forma se relacionan los mapas de Sílice y magnesio que presentan sus valores más altos en el mismo sector localizándose al noreste y en la parte central.

Como se aprecia en las figuras 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.10 y 4.11 existe una correlación inversa en cuanto a los contenidos de Ni, Fe, Co, Cr, Mn y Al respecto a los contenidos de los elementos Si y Mg, es decir, en aquellos sectores donde

los contenidos de Ni, Co, Fe, Cr, Mn y Al son altos los de Si y Mg son bajos y viceversa.

### Mapa geológico del Basamento.

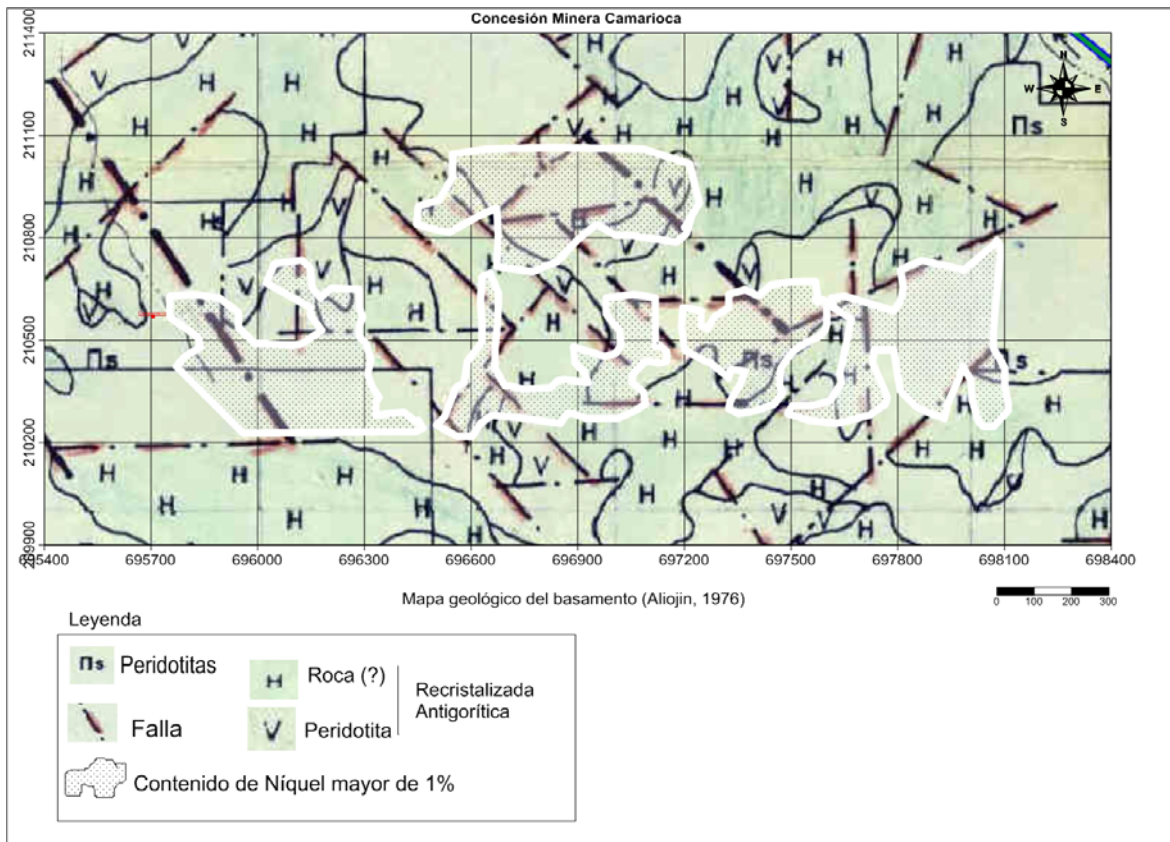


Figura 4.12 Mapa geológico modificado con contenido de Níquel.

En la figura 4.12 se muestra el mapa geológico del basamento de Aliojin, 1976 modificado con las áreas donde el contenido de Níquel es mayor de 1%. Los contenidos de Ni se manifiestan por debajo de 1% en las zonas que coinciden con las rocas recristalizadas antigoríticas.



## Mapa geológico con afloramientos

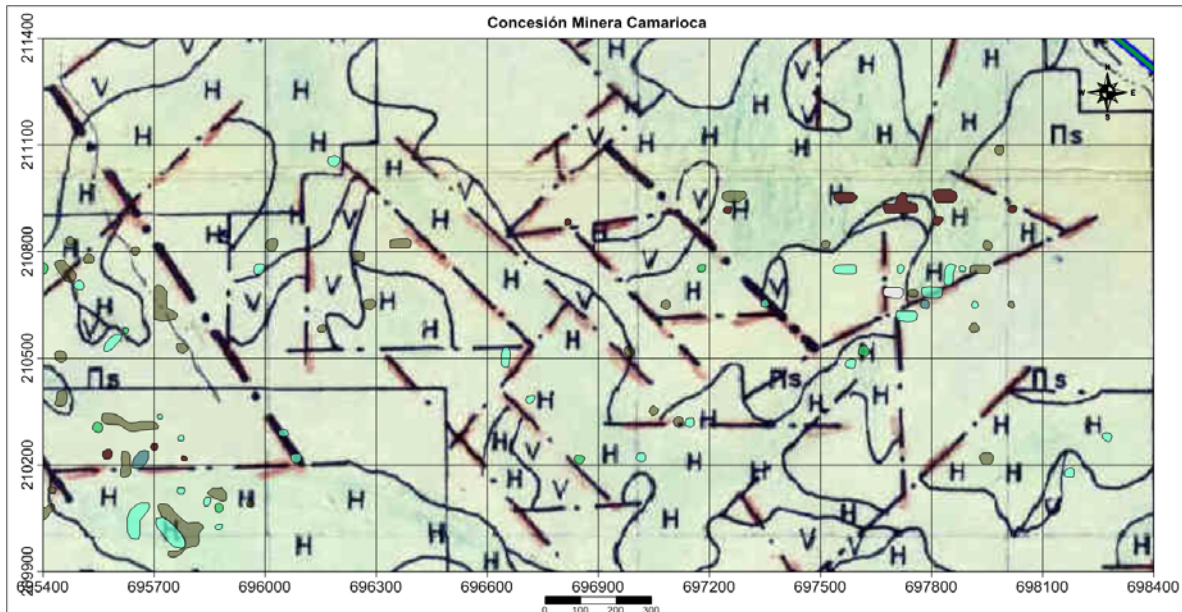








Figura 4.13 Mapa geológico del basamento (Aliojin, 1976) con afloramientos.

### Leyenda

	Cuarzo		Fallas
	Peridotita Serpentinizada		
	Metapelita (?)		
	Esquisto Clorítico		
	Antigorita		

En la figura 4.13 se muestra el mapa geológico del basamento elaborado en 1976 donde se muestran las principales litologías que conforman el basamento del área de estudio (Red de 33 x 33 m). En el mapa se observa que el basamento está compuesto predominantemente por peridotitas recristalizadas y otras rocas recristalizadas antigoríticas.

Después de realizarse el levantamiento geológico, se han podido confirmar las litologías presentes en el basamento, mencionadas, en gran medida, por otros investigadores. Las peridotitas serpentizadas, identificadas en el campo en esta última etapa coinciden en su ubicación y sobre ellas se desarrollan cortezas de intemperismo bien formadas y con contenidos relativamente altos de Ni. Estas



rocas peridotíticas serpentinizadas se localizan en toda el área aunque se trata de zonas relativamente pequeñas, lo que hace que las cortezas con valor industrial se manifiesten de manera aislada y no como un gran cuerpo de forma continua, como sucede en los yacimientos ubicados más al norte.

Las antigoritas y metapelitas (?) se localizan hacia el Este y al Suroeste principalmente, cerca de los sistemas de fallas.

### Mapa de contenido de Níquel con Afloramientos

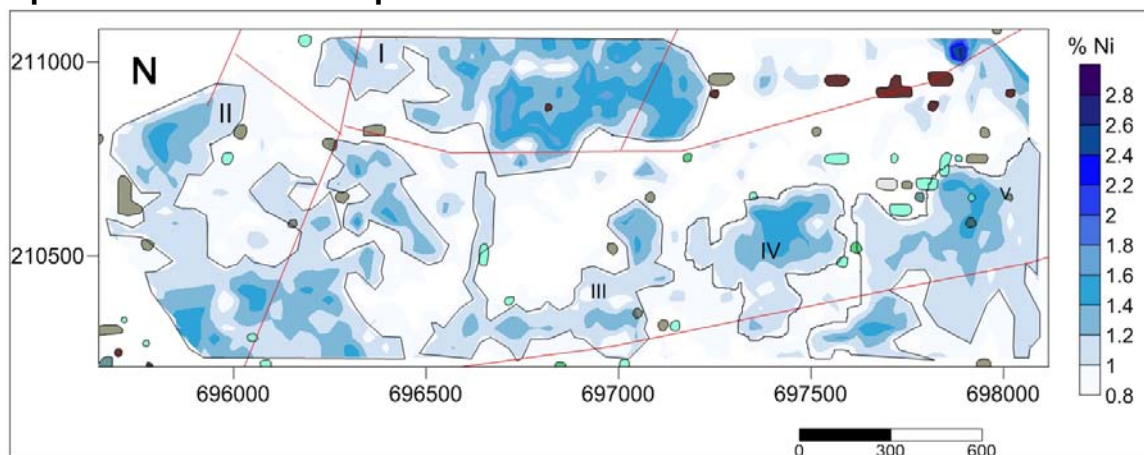
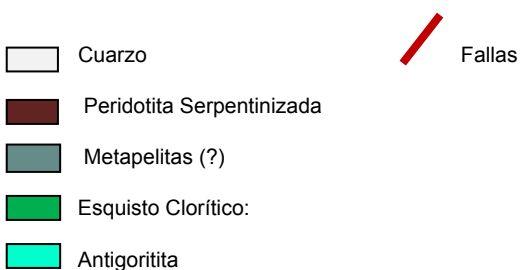


Figura 4.14: Mapa de contenido de Níquel con Afloramientos. I, II, III, IVy, V Contenido de Ni mayor de 1%.

### Leyenda



Como se aprecia en la figura 4.14, en el área de estudio aparecen afloramientos de Peridotitas Serpentinizadas, Metapelitas (?), Antigorititas, Esquistos Cloríticos y Cuarzo.

Las peridotitas serpentinizadas afloran de forma discontinua en toda el área. Los principales afloramientos se localizan al Noreste y al Oeste coincidiendo con las zonas de menores contenidos del elemento Níquel. En algunos casos se encuentran en la misma zona de las fallas tectónicas. Las Metapelitas (?) afloran en un pequeño sector específicamente entre el cuerpo IV y V, coincidiendo con las áreas de escaso contenido.

En el mapa de basamento, como se había expresado anteriormente, las antigorititas ocupan un área considerable del yacimiento, sin embargo sus áreas de afloramiento se limitan a pequeños sectores, distribuidos en toda el área, con predominio hacia su parte centro este. Todas estas zonas se caracterizan por el desarrollo de una corteza incipiente con bajos contenidos de Ni.



## Conclusiones

1. En el yacimiento Camarioca Sur las rocas identificadas en esta primera fase se corresponden con las rocas del complejo ofiolítico del macizo Moa-Baracoa, representado por toda la gama de peridotitas, serpentinizadas y rocas metamorfizadas, como antigorititas, esquistos cloríticos, metapelitas(?), cuya presencia en el área constituyen criterios litológicos para la discriminación de áreas a la hora de proyectar trabajos detallados de prospección y exploración geológica.
2. Se identifican cuatro asociaciones litológicas en el área levantada: asociación ultramáfica mantélica, asociación transicional (MTZ), asociación metamórfica y asociación ultramáfica metamorfizada.
3. Están presentes rocas derivadas de procesos de metamorfismo evidenciados por procesos de cloritización y además la presencia de talco y carbonatos en algunas serpentinitas antigoríticas.
4. Sobre las rocas del complejo metamórfico identificadas en el área, no se desarrollan cortezas ferro-niquelíferas – *in situ* - debido a la composición mineralógica y química de estas litologías metamórficas, caracterizadas por la ausencia o muy baja presencia de olivino y piroxenos; la existencia de cortezas ferro-niquelíferas sobre estas litologías hace que se infiera la presencia de un perfil de lateritas redepositadas.
5. Los contenidos de Ni en las cortezas lateríticas que se encuentran directamente sobre rocas antigoríticas son siempre menores de 1 %.

## *Recomendaciones*

- a. Evaluar cuidadosamente las cortezas lateríticas que se encuentran sobre los esquistos cloríticos y cloríticos-talcosos, tanto por el contenido de níquel recuperable como por la influencia negativa que pudiera ocasionar la presencia del talco, mineral de Mg con estructura laminar, en el proceso de lixiviación ácida a presión.
- b. Realizar la confección de los gráficos de concentración de los elementos químicos en diferentes pozos con el objetivo de esclarecer el comportamiento geoquímico de los diferentes elementos en la corteza de meteorización.
- c. Utilizar los resultados de este trabajo en la determinación de las áreas perspectivas para la ejecución de las campañas de perforación y trabajos geológicos detallados en los yacimientos lateríticos de Ni y Co.

## Bibliografía

- 1 ADAMOVICH A.; CHEJOVICH V. 1962: Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. *Revista Tecnológica*.
- 2 AGUENKO, N. 1973. Informe de los resultados de exploración detallada realizada en el yacimiento Punta Gorda 1973-1976. Archivo del Centro Nacional de Fondo Geológico. Inv. 2874.
- 3 ALBEAR, J.; I. BOYANOV; K. BREZSNYANSZKY; R. CABRERA; V. CHEJOVICH; B. ECHEVARRÍA; R. FLORES; F. FORMELL; G. FRANCO; I. HAYDUTOV; M. ITURRALDE-VINENT; I. KANTCHEV; I. KARTASHOV; V. KOSTADINOV; G. MILLÁN; R. MYCZYNSKI; E. NAGY; J. ORO; L. PEÑALVER; K. PIOTROWSKA; A. PSZCZOLKOWSKI; J. RADOZCZJ; RUDNICKI; M. L. SOMIN. 1988: Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000.
- 4 ALIOJIN, V; FESENKO, C, et al., (1977): Informe sobre los trabajos de exploración geológica detallada y orientativa realizada en el yacimiento Punta Gorda en los años 1973 -.1976.Fondo geológico Nacional. ONRM. La Habana.
- 5 ALMAGUER F. A. 1995: Composición de las pulpas limoníticas de la planta Pedro Sotto Alba, parte II, Periodo de crisis de sedimentación. *Revista Minería y Geología* (No 2).
- 6 BLANCO, I 2003: Nuevos Datos Petroquímicos y Petrográficos de las Magmatitas y Metamorfitas de algunos sectores del Bloque Oriental Cubano Sectores Moa-Baracoa y Sierra del Convento. Trabajo de diploma. ISMM.
- 7 BOLVSTOVSKOY, E. 1960. Los Foraminíferos Recientes. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 510 p.

- 8 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.
- 9 BURCH, A. AND BURCHARD, E.F. 1919: Chrome and manganese ore in Cuba: Dirección de Montes y Minas. *Boletín de Minas*, no.5, pp.57-70.
- 10 CAMPOS, M. 1983: Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología*, 2: 51-76.
- 11 CAMPOS, M. 1990: Tectónica y minerales útiles de la asociación ofiolítica y de los complejos vulcanógenos del arco insular Cretácico de Cuba oriental. Inédito.
- 12 COBIELLA, J.L. 1978: Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.
- 13 COBIELLA J.; Rodríguez J. 1978: Algunos rasgos de la geología de Cuba oriental. *Ciencias Técnicas, Serie Geodesia y Geofísica* No.3.
- 14 COBIELLA, J .L. 1988: El vulcanismo paleogénico cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. *Revista tecnológica*, 18)4),25-32.
- 15 COBIELLA, J.L. 1997: Zonación estructuro facial del corte Paleoceno Eoceno Medio de Cuba. *Minería y Geología*, 14(1): 3-12.
- 16 COBIELLA, J. L. 2000: Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. *International Geology Review*, 42: 594-616.
- 17 CRESPO, E. 1996: Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMM, 79 p.
- 18 DÍAZ, R. y PROENZA, J. 2005: Metalogenia asociada a las ofiolitas y al arco de islas del cretácico del nordeste de Cuba. *Minería y Geología* v. 21 n. 1.
- 19 FONSECA, E.; ZELEPUGIN V.N.; HEREDIA M. 1985: Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19: 321-329
- 20 .FERNANDEZ, S 1997: Ammonites, clinos tafonómicos yambientes sedimentarios. *Revista Española de Paleontología*, 12:102-128.
- 21 FORMELL F.; ORO A.: Sobre los procesos de redeposición del yacimiento Punta Gorda. *Ciencia de la Tierra y el Espacio* No.2, 1980

- 1 GALÍ, S., PROENZA, J.A., LABRADOR, M. MELGAREJO, J.C., TAULER, E., MUÑOZ, N., ROJAS-PURÓN, A., OROZCO-MELGAR, O. 2006: Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos tipo óxido: yacimiento Punta Gorda (Cuba Oriental). /Macla/a, 6, 197-199.
- 2 GYARMATI, P. Y J. LEYÉ O`CONOR. 1990: Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. O. N. R. M.
- 3 GYARMATI, 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.
- 4 HERNÁNDEZ SARLABOUS, M 2011: Informe petrográfico Camarioca Sur(fase1)
- 5 Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, Fase 1, Abril 2011.
- 6 ITURRALDE, M. A. 1976: Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. La Minería en Cuba, 5: 9-23.
- 7 ITURRALDE, M. 1996: Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. Contribución Especial No. 1. IGCP Project W364. Miami. USA. 265 pp.
- 8 ITURRALDE, M.1994: "Introduction to Cuban Geology and Tectonics". En Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO. International Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. Pp3-47.
- 9 ITURRALDE, M. 1998: Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. En Acta Geológica Hispánica.
- 10 LAVAUT COPA W: Clasificador para modelación litológica de lateritas Key – Guide for lithological mapping of laterites.
- 11 LEBRON, M.C. Y M.R. PERFIT. 1994: Petrochemistry and tectonic significance of Cretaceous island-arc rock, Cordillera Oriental, Dominican Republic. Tectonophysics, 229: 69-100.

- 12 LEWIS J. F. AND DRAPER G 1990: Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. The Caribbean region. The geology of North America, Vol. H,
- 13 Manso, A. 1995: Estudio generalizado del Oligo-Mioceno en el sector Frank País. Trabajo de Diploma. Centro de Información. ISMMM, 73p.
- 14 MYERS, E. H. 1942 Relationship of some recent and fossils Foraminifera. *Nat Res Counc. Div Geológica*, 3 :46-61
- 15 MILLÁN, G. 1996: Metamorfitas de la Asociación Ofiolítica de Cuba. En: Iturralde Vinent, M.A. ed., Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution n.1, p. 131-153
- 16 MUÑOZ, J.N. 2004: Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co.PDF-Files.ICT.ISMMM, 22p.
- 17 MUÑOZ, J.N; RODRÍGUEZ INFANTE, A; MARTÍNEZ VARGAS. A; VERA SARDIÑAS, O; LÓPEZ MARTÍNEZ, R 2007: Caracterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca norte y Camarioca sur.
- 18 MUÑOZ, J.N; OROZCO, G 2009: Mineralogía y orden cronológico de formación de los minerales de las menas lateríticas: implicaciones en la exploración de explotación. Inédito
- 19 MUÑOZ, J. N; RODRÍGUEZ, A; VERA S O; MARTÍNEZ, A 2009: Modelo Genético teórico de los yacimientos lateríticos asociados al macizo ofiolítico de Moa-Baracoa: Implicaciones en la exploración de explotación.
- 20 NAGY, E.; K. BREZSNYANSZKY; A. BRITO; D.P. COUTIN; F. FORMELL; G.L. FRANCO; P. GYARMATI; P. JAKUS; G.Y. RADO CZ. 1976: Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba.
- 21 NAGY E. y otros 1976: Informe de los trabajos de levantamiento geológico para el mapa en escala 1: 250 000 del territorio de la antigua provincia de Oriente. ACC,
- 22 NAGY N, 1983: Ensayo de las zonas estructuro faciales de Cuba oriental, contribución geológica de Cuba oriental. Editorial Ciencia y Técnica, ACC.

- 23 OLIVA G 1989: nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, ACC,
- 24 OLIVEIRA, S; PARITITI, C; ENZWEILER, J. 2001: Ochreous laterite: a nickel ore from Punta Gorda, Cuba. *Journal of South American Earth Sciences* 14307-3017
- 25 PÉREZ R.: Levantamiento Geológico de Farallones escala 1: 50 000, 1976.
- 26 PROENZA J.; Carralero N. M.: Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. *Revista Minería y Geología*, No.2, 1994.
- 27 PROENZA, J. AND. MELGAREJO J. C, 1998: Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. *Acta Geol. Hispán.*, 33, 1–4, 89–131.
- 28 PROENZA, J. 1998: Mineralizaciones de cromita en la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa (Cuba), Ejemplo del yacimiento Mercedita. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, España, 227 p.
- 29 PROENZA, J 1998: Mineralizaciones de cromita en la Faja Ofiolita Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del Yacimiento Mercedita, Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, España.
- 30 PROENZA, J.; GERVILLA F; MELGAREJO J.C; BODINIER J.L. 1999: Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94: 547-566.
- 31 PROENZA, J.; MELGAREJO J.C, GERVILLA F. 2000: La faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba oriental): una litosfera oceánica modificada en una zona de suprasubducción cretácica. En: Tercera Conferencia Internacional sobre Geología de Cuba, el Golfo de México y el Caribe Noroccidental.
- 32 QUINTAS F. 1989: Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, I.S.M.M.



- 33 QUINTAS, F. 1996: Bioestratigrafía del corte Meso-Cenozoico del extremo oriental de Cuba. *Minería y Geología*, 13(1): 3-8.
- 34 REED, M.H. 1997: Hydrothermal Alteration and Its Relationship to Ore Fluid Composition. En: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication, 303-366.
- 35 RODRÍGUEZ, A. 1998b: Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis tectónica. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, 124p
- 36 SITNIKOV, V, 1976: Informe sobre la exploración orientativa del yacimiento Camarioca con el cálculo de reservas. ONRM. La Habana, Cuba.
- 37 . STRECKEISEN, A. 1975: To each plutonic rock its proper name. *Earth Science. Reviews* 12(1976) 1-33
- 38 TORRES, M. Y E. FONSECA. 1990: Características geólogo – petrológicas del contacto entre la asociación ofiolítica y el arco volcánico en Moa – Baracoa. *Boletín de Geociencias*, 4: 18-32.
- 39 THAYER T. P1942: Chrome Resources of Cuba. U. S. Geological Survey Bulletin.
- 40 VALLEJO, N 1997: Diseño de un sistema de transporte para el yacimiento Camarioca Sur. Trabajo de diploma. ISMM.
- 41 VERA, O, 2001: 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
- 42 WINKLER, G.F. 1979. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. New York, EUA: Springer-Verlag; 348 pp.

*Anexos*



## Anexo (1)

CS-IB-(10079)-1

### Descripción

En la muestra abundan los cristales de olivino, relícticos, sustituyéndose por minerales del grupo de la serpentina, lizardita, antigorita, de color verde, formando la típica textura de malla. Se observan además cristales de piroxenos muy fracturados, en menor cantidad. Hay presencia de cristales diseminados de magnetita y cromita. Hay proceso de talcificación.

**Nombre de la roca:** dunita serpentinizada.

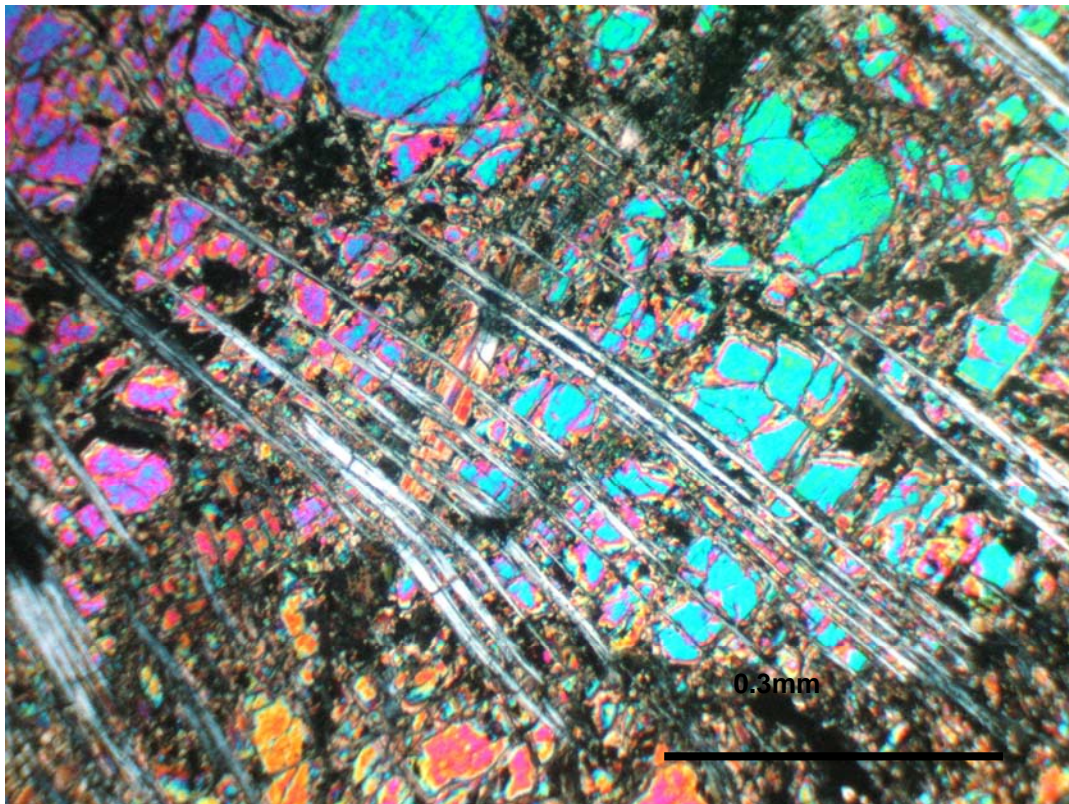


Foto 10079-1a



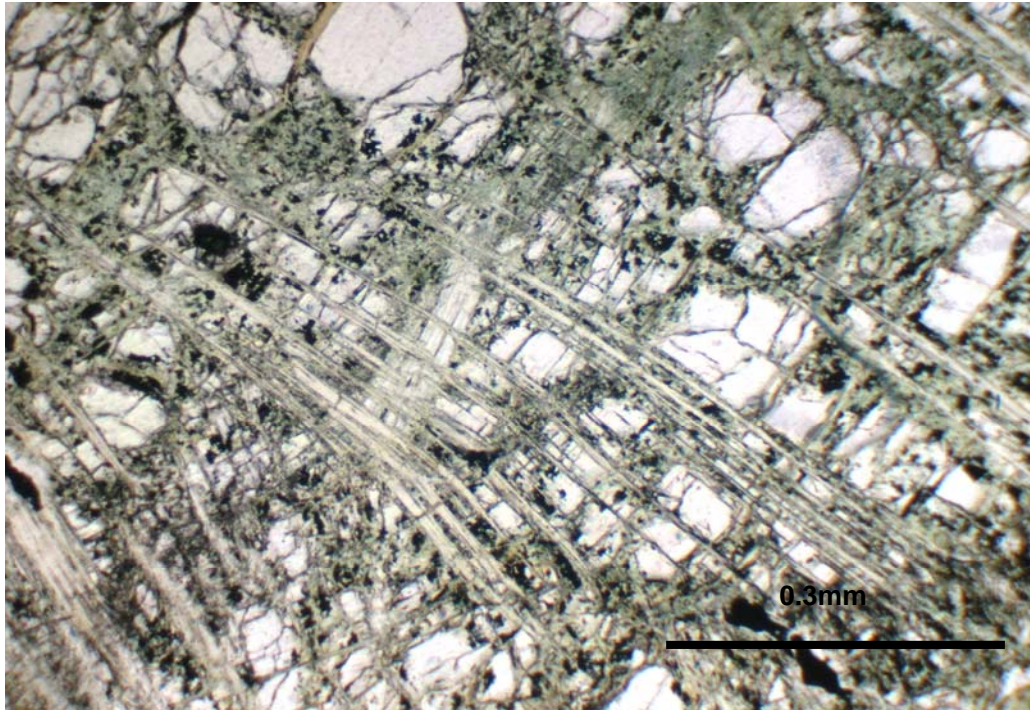


Foto 10079-1b

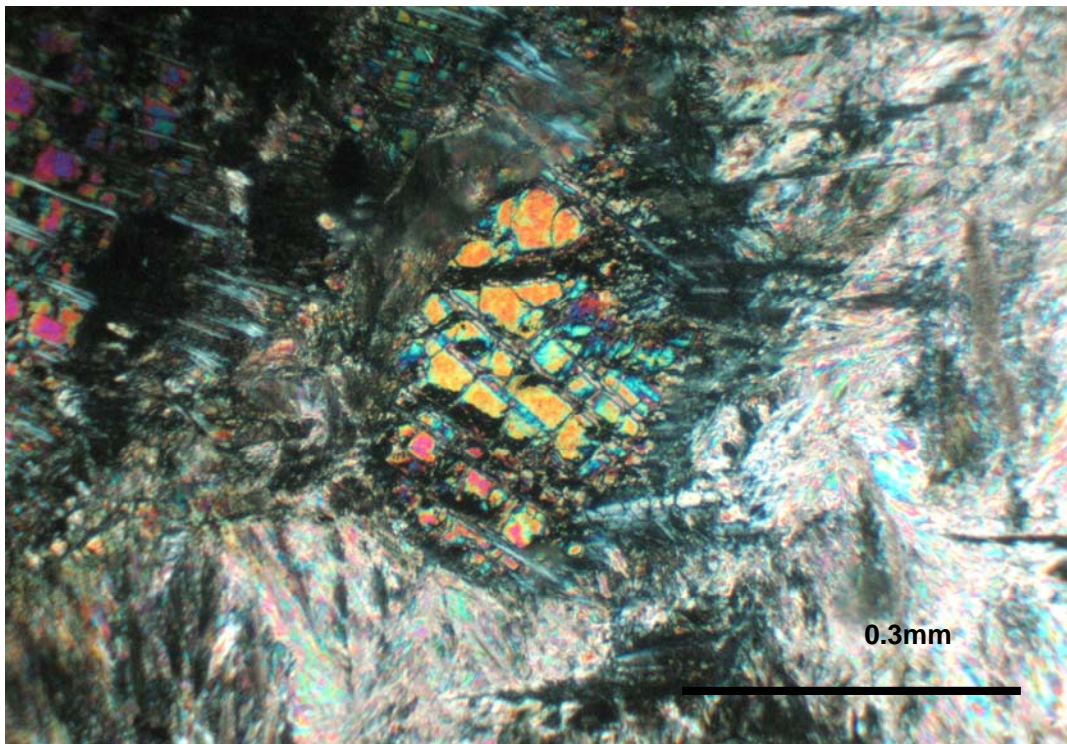


Foto 10079-1c



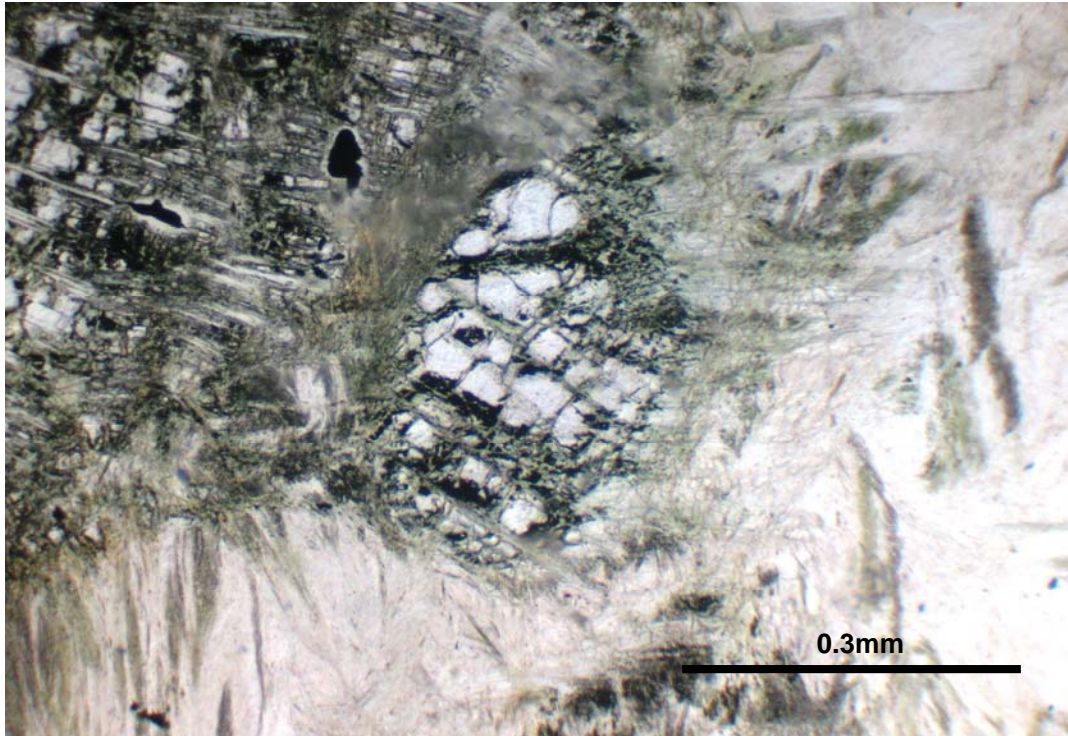
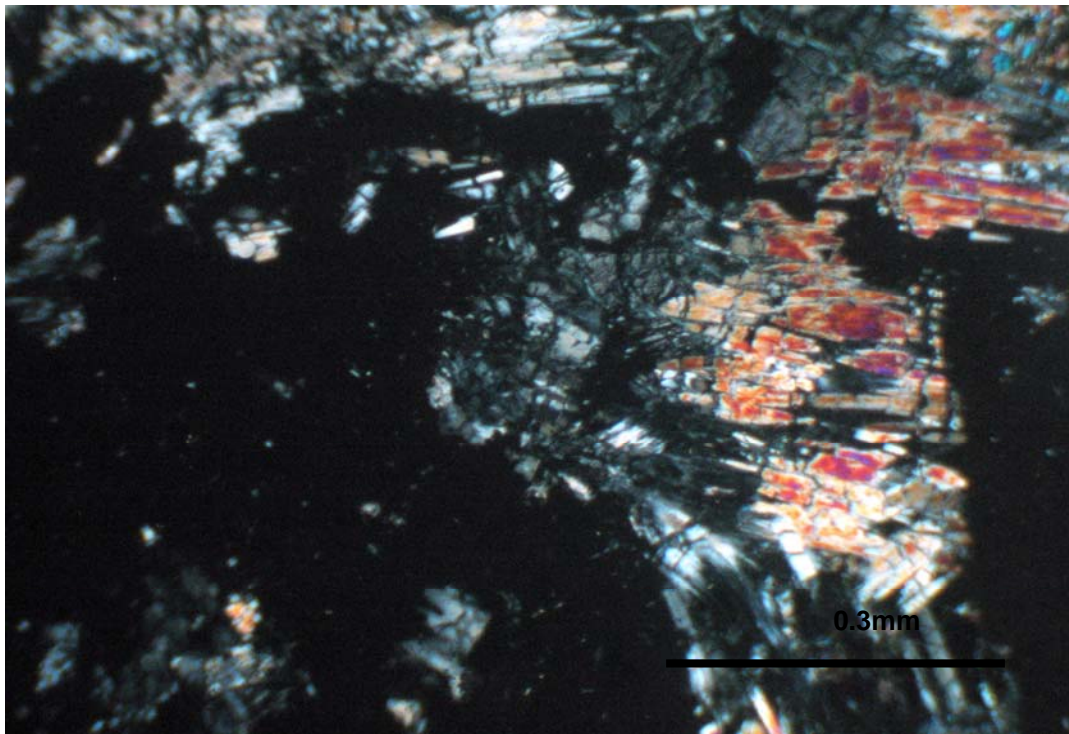


Foto 10079-1d





## CS OV 162-1

### Descripción

La muestra presenta cristales prismáticos de sillimanita, de color amarillo-verdoso, con altos colores de interferencia que llegan al azul del 2do orden. Hay presencia de cristales isótropos de granate, alterados. Se observan además pequeños cristales de baja birrefringencia, incoloros de andalucita.

**Nombre de la roca:** Metapelita

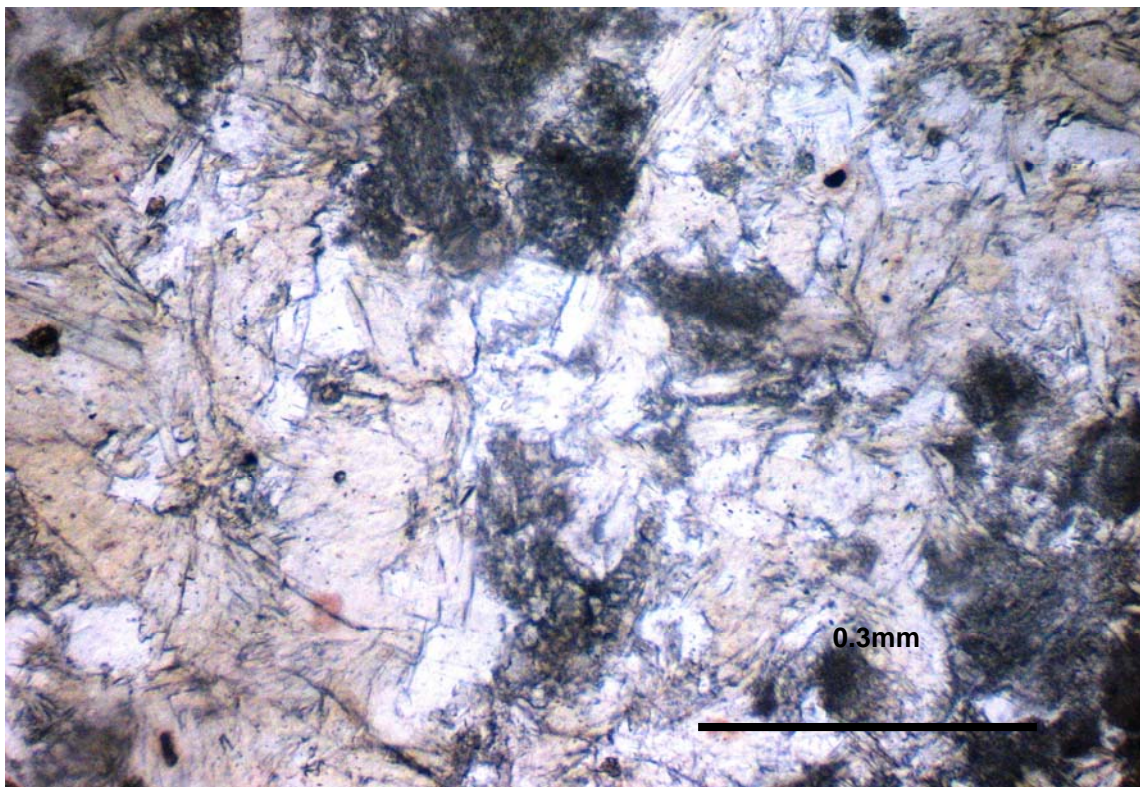


Foto 162-1a



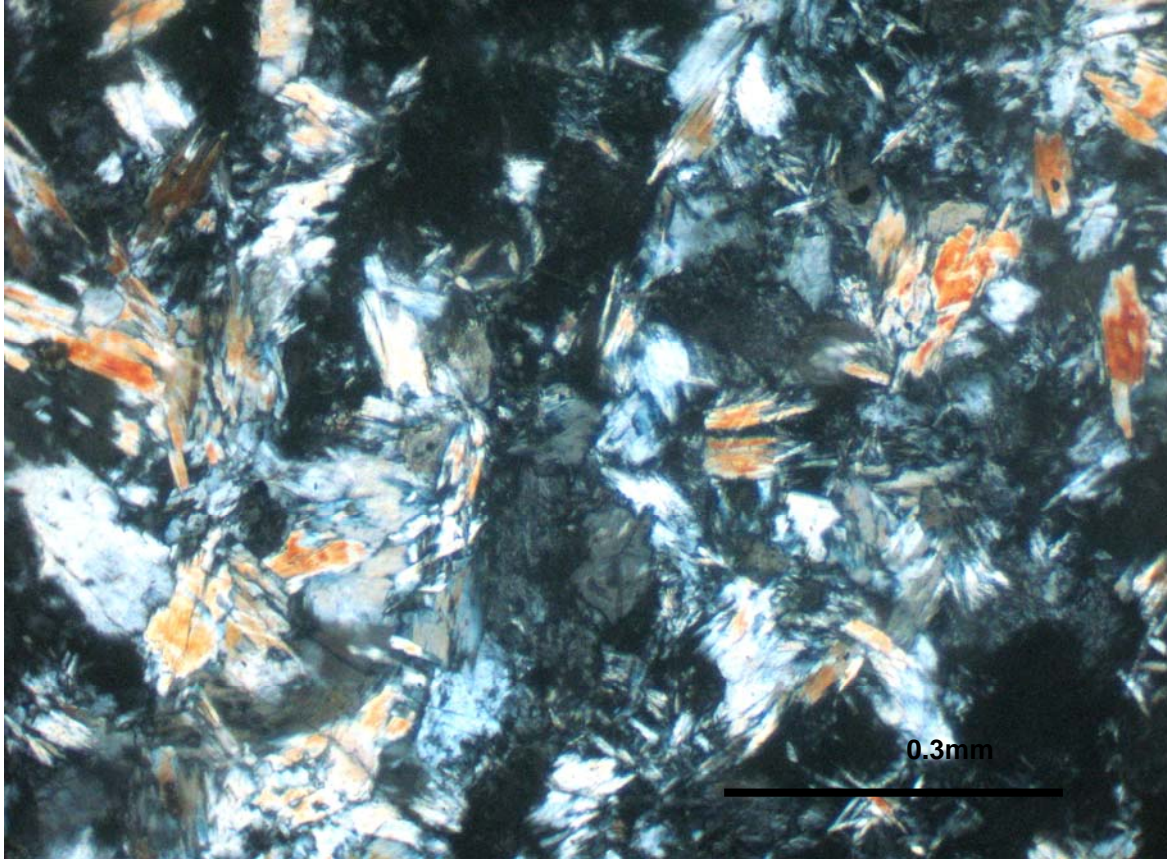


Foto 162-1b





## CS-OI-12625

### Descripción

La muestra está completamente constituida de clorita, minerales alargados con baja birrefringencia, exfoliación en una sola dirección y de coloración verde claro. Se presentan además granos de cromitas y vetillas de óxido de hierro.

**Nombre de la roca:** esquisto clorítico, posible protolito serpentinita.

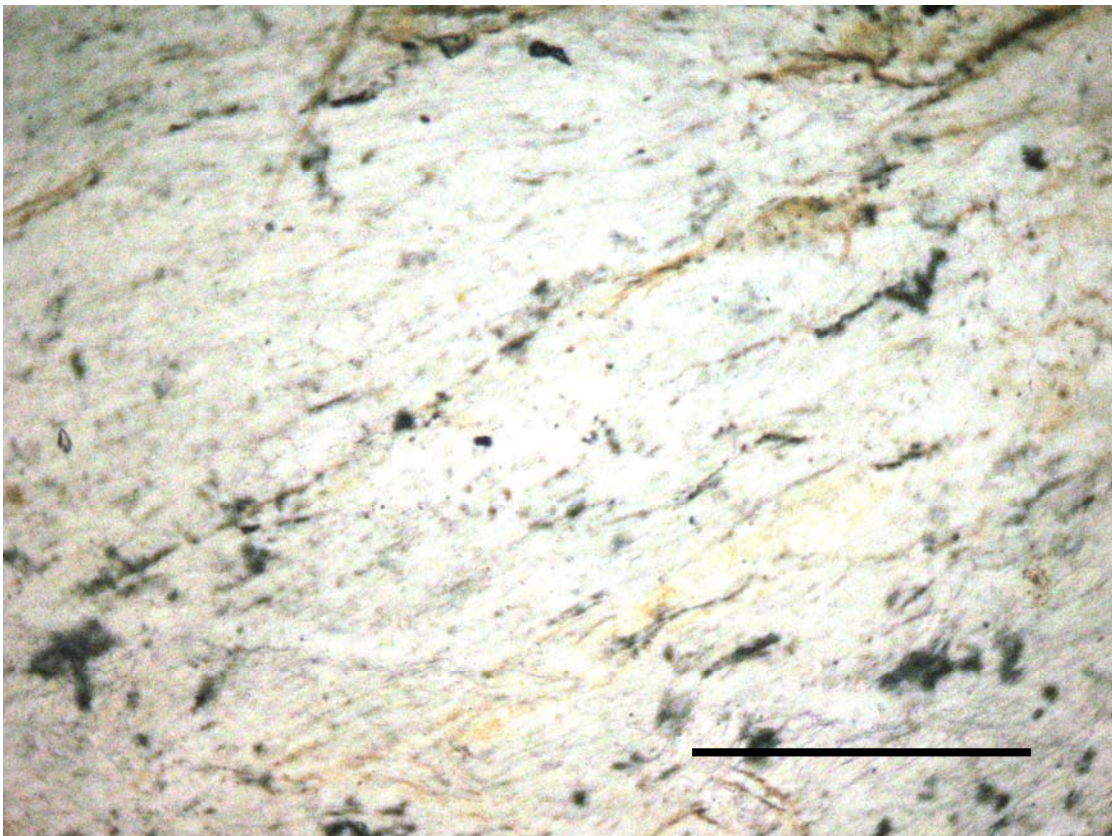


Foto 12625a

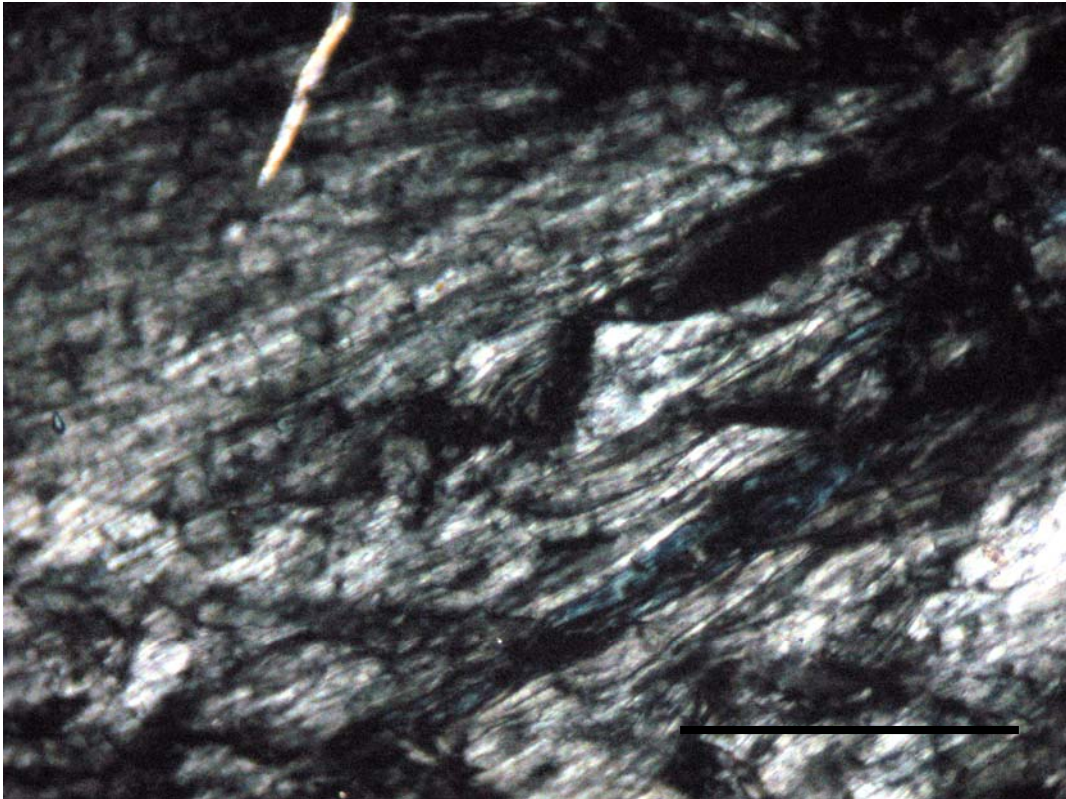


Foto 12625b





## CS OV 229-1

### Descripción

La muestra está constituida en su totalidad por minerales del grupo de la serpentina, antigorita, los mismos se disponen en agregados fibrosos que se entrecruzan unos con otros. Se observan vetillas alargadas de hematita y abundantes cristales de magnetita.

**Nombre de la roca:** Serpentinita antigorítica.

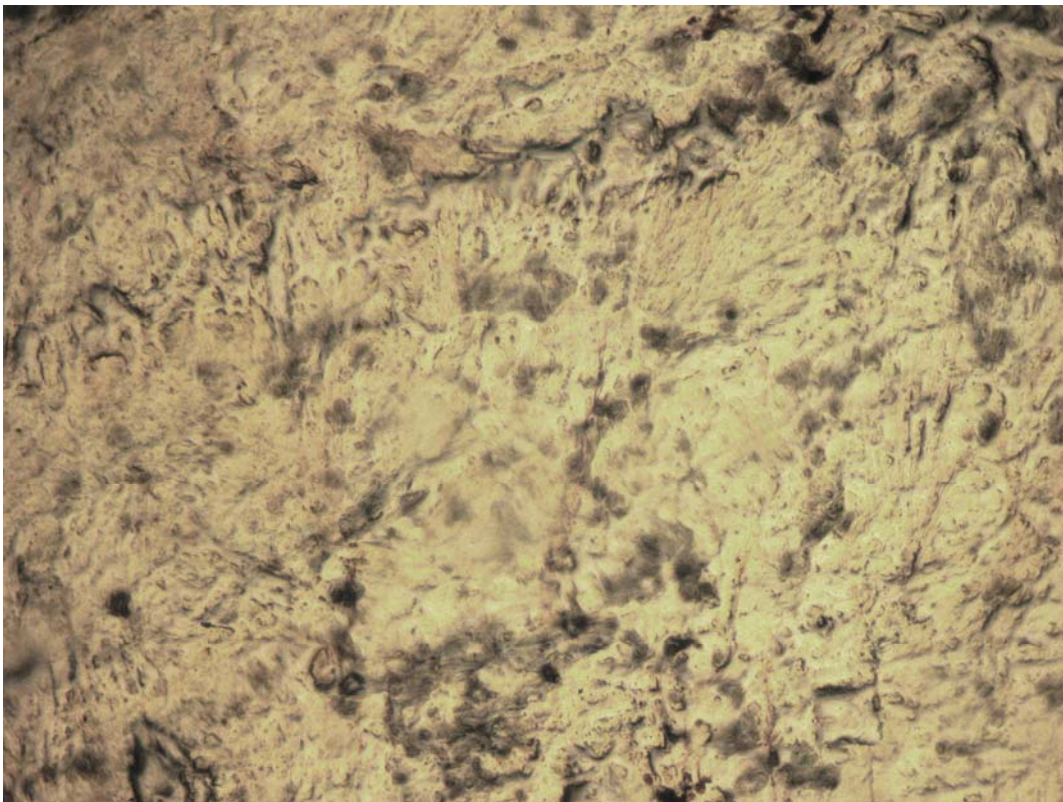


Foto 229-1a

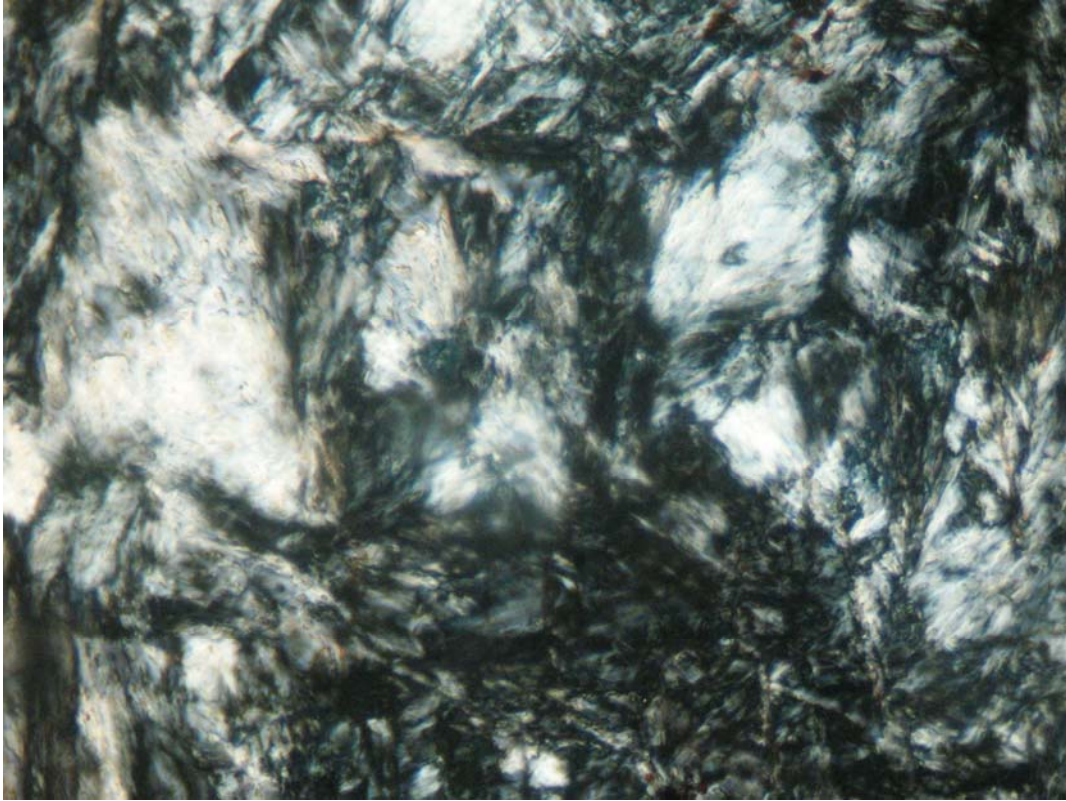


Foto 229-1b

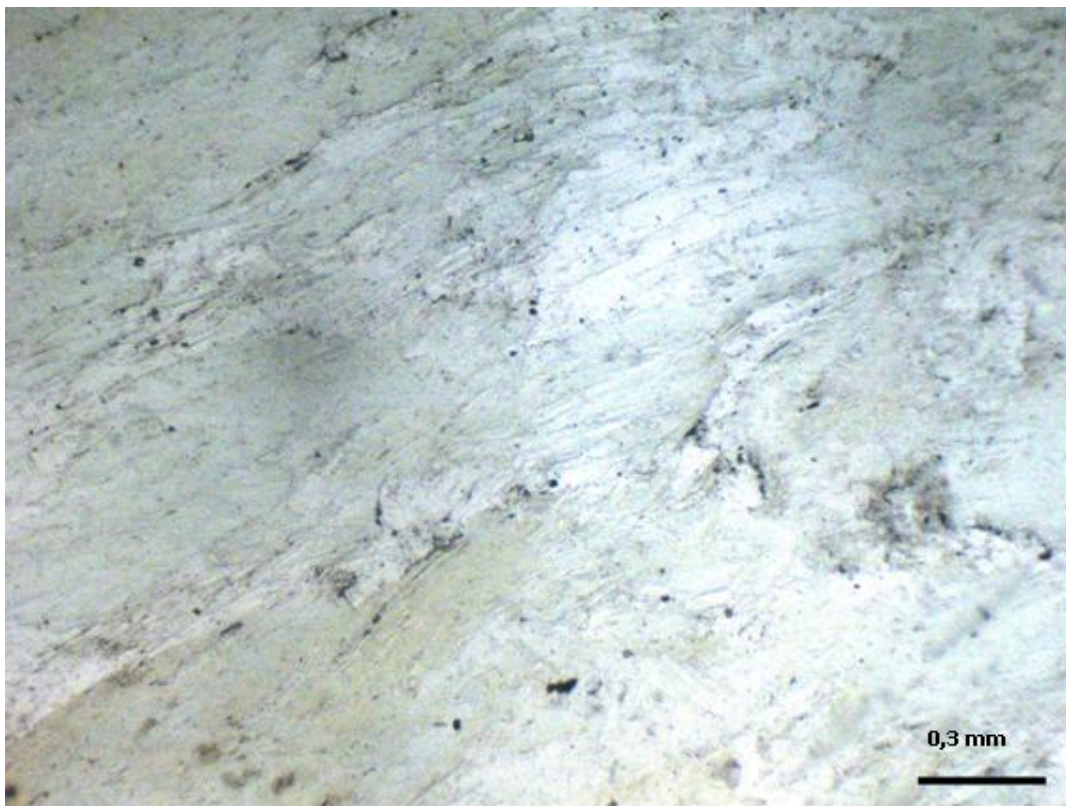


## C S-OV-(5)

### Descripción

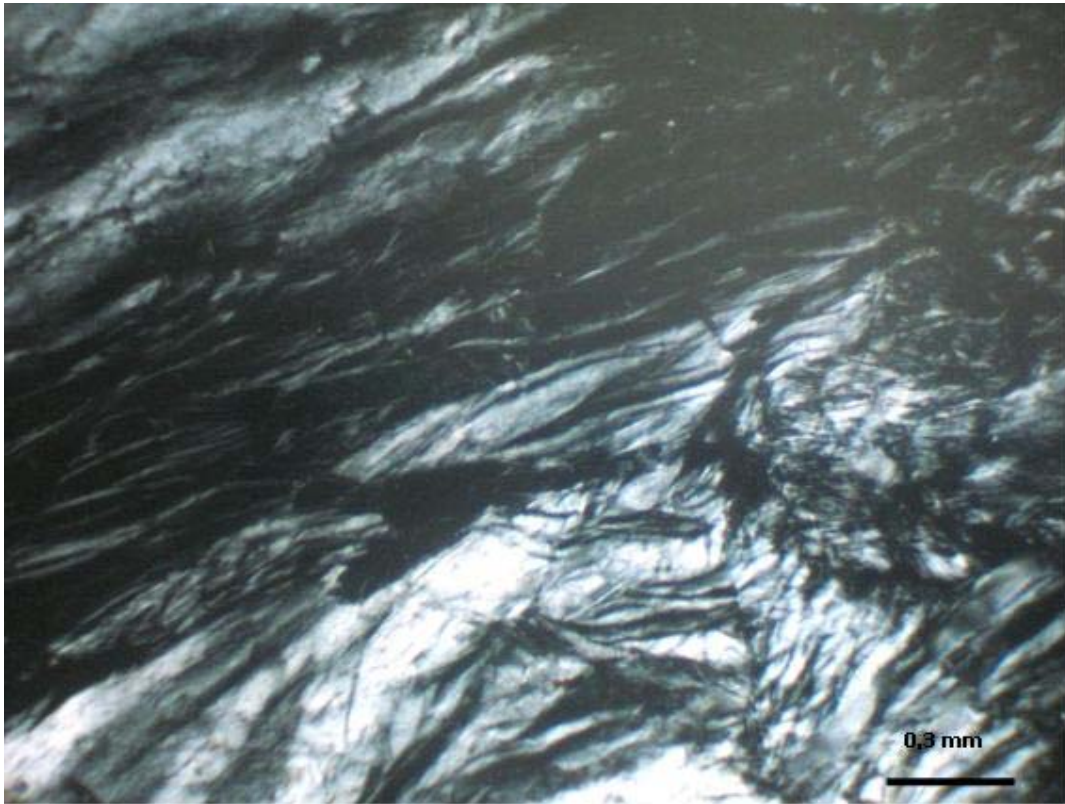
La muestra está formada completamente por minerales del grupo de la serpentina. Se observa como una alineación de la antigorita y una coloración verde pálida que se asume como posible cloritización de la antigorita. Con nicoles cruzados se observa el carácter fibroso alargado de la antigorita y también de la clorita, con baja birrefringencia. No se aprecian relictos de los minerales primarios y la magnetita aparece como pequeños puntos.

**Nombre de la roca:** Serpentinita cloritizada (esquisto clorítico?)



**Foto CS OV 5 a.** La roca tiene minerales del grupo de la serpentina. Se observa el color verde propio de la clorita. Nicoles II (4x).





**Foto CS OV 5b.** Carácter fibroso y de baja birrefringencia de los minerales que componen la roca. Nícoles X. 4x.



## Anexo (2)

### Modelo 1

#### EMPRESA GEOMINERA ORIENTE

#### DESCRIPCIÓN DE SECCIONES DELGADAS

##### DESCRIPCIÓN GENERAL

No Muestra: 0082803-----

Coordenadas X: 696749.43 y Y: 211250.755

Tipo de laboreo: Pozo ordinario----- Profundidad 6-7m-----

Nombre de la roca: ---Dunita serpentizada -----

Textura: Reticular----- Estructura-Masiva -----

Color: verde-negrusco -----

Composición general: olivino, piroxeno rómbico, lizardita, crisotilo, cromita

##### DESCRIPCIÓN DE DETALLE

La roca está constituida fundamentalmente por olivino el cual constituye el 93%. Se presenta en cristales de formas subhedrales a anhedrales de alta birrefringencia. Se observa la lizardita formando mallas reticulares y en menor proporción el crisotilo. El piroxeno rómbico es la Enstatita y representa el 4% de la roca; en ocasiones se encuentran rotos, fracturados con extinción recta. La mena metálica es la cromita en cristales irregulares en un 3%. Se observan además vetillas de carbonato y también en forma diseminada como mineral de alteración en la roca.





## Anexo (3)

## Sistema de Gestión de calidad.

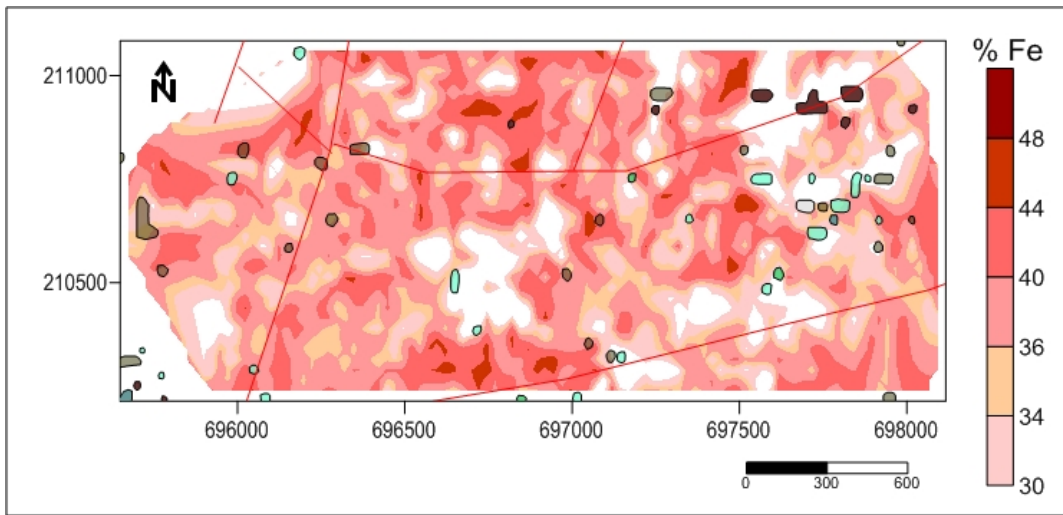
## Estudio Petrográfico de Secciones Delgadas

## Resumen

Tipos de rocas	# de muestra	Cantidad de muestras
Serpentinitas	373275,12325B,RCE,CS-MG-5050,CS-OV-229-1,CS-OV-163-1,CS-OV-12552,CS-OV12552,CS-IB-639,CS-OV-146-1,CS-OV-162-2,  CS-MG-5048-2,CS-OV-240-1,CS-OV-85-2, CS-OV-200-1  CS-OV-9-2, CS-OV-PV	17
Peridotita plagioclásica	<a href="#">CS-IB-10109-1</a>	1
Metapelita de grano fino	CS-OV 163-2,CS-OV-163-2,CS-OV-202-1,CS-OV-64-1, CS-MG-5020-1	5
Metapelita(?)	CS-MG-195,CS-OV-132-2,CS-OV-145-1,Gab-I,Gab-II, <a href="#">CS-OV 163-2</a> ,  5008-II	7
Dunitas serpentinizadas	373215, <a href="#">CS-IB-10079-1</a> ,CS-OV-121,Río Campamento,SP,CS-MG-5059-1	6
Esquisto clorítico, posible protolito serpentinita.	CS-OI-12625, <a href="#">CS-OV-5</a>	2
Harzburgita	<a href="#">CS-IB-10060-1</a> ,CS-MG-5013-1,CS-IB-635-2,CS-MG-5048-1	4
Harzburgita serpentinizada (antigorítica)	<a href="#">CS-IB-1011</a> ,CS-OV-177-1	2
Harzburgita serpentinizada	363083, 363083, 373215, CS-AM-15005,CS-AM-15038-3,CS-IB-10026-1  CS-IB-10061-1, CS-MG-187, S-MG-5048-2,CS-OV-150-1,CS-OV-158-1  <a href="#">CS-OV-95-1</a> CS-IB-636	13
Harzburgita talcitizada	<a href="#">CS-MG-196</a>	1
<b>TOTAL DE MUESTRAS</b>		<b>58</b>



### Anexo(4) Mapa de Contenido de Hierro con afloramientos





**Anexo (5) Tabla de por ciento de afloramientos.**

<i>Litología</i>	<i># Afloramientos</i>	<i>%</i>
Peridotita Serpentinizada	29	52,7
Cuarzo	1	1,81
Antigorita	19	34,54
Serpentinita	0	0
Esquisto Clorítico	4	7,27
Metapelitas(?)	2	3,63
Total de Afloramientos	55	99,95