



**ISMM**

INSTITUTO SUPERIOR MINERO  
METALÚRGICO DE MOA  
DR. ANTONIO NUÑES JIMENEZ

**Ingeniería Geológica**

**Facultad: Geología y Minería**

# **Trabajo de Diploma**

Para Optar por el Título de

## **Ingeniero Geólogo**

*Título: Consideraciones genéticas del  
dominio geológico No.2 del yacimiento  
Camarioca Sur.*

**Autor: Dayana Leyva Labañino**

**Tutor(es): Ms C. Yurislely Valdés Mariño**

**Dr C. José Nicolás Muñoz Gómez.**

**Moa, 2015**  
**“Año 57 de la Revolución”**



## ***Pensamiento***

*“La familia es la brújula que nos guía. Es la inspiración para alcanzar grandes alturas, y nuestro refugio cuando fallamos.”*

*-Brad Henry-*

## *Agradecimiento*

*Agradezco a Dios por permitir que realizara uno de mis más anhelados deseos: SER UNA PROFESIONAL y ser la persona que hoy soy, además porque nunca me desamparó, aún ni en los peores momentos de mi vida; Gracias.*

*Agradezco a mi mami querida Enoemia y mi querido padre Ramón a mi hermanito bello Dalian por todo ese apoyo incondicional que me brindaron principalmente estos cinco años; a mis abuelas Laudelina y especialmente a María; a mi abuelo Agustín que en paz descanse; mis tías y tíos, especialmente a mi tía Oslaida y mi tío Pedro que me ayudaron muchísimo y fueron como mis segundo padres; mis primos, en especial Lisdán y Yadira que me han dado su apoyo, a Ildanelis que en cinco años se convirtió en la hermana que nunca tuve y que supo darme su apoyo en las buenas y malas, a Jennys que ha sido mi amiga y mi hermana desde que fui a la escuela por primera vez.*

*A mis tutores: DrC. José Nicolás Muñoz Gómez por su apoyo y al MsC. Yurisley Valdés Mariño al que considero un gran amigo, y agradezco por todo el apoyo y la ayuda que me ha brindado estos cinco años.*

*A los profesores del departamento de Geología que me impartieron clases en estos 5 años de estudio, a los que me ayudaron y me guiaron en la realización de este trabajo Roberto Claro, Iván Barea, Jorge Félix, Lizandra, especialmente a Dioelis R. Guerra por brindarme su apoyo estos últimos dos años, el cual se ha convertido en alguien muy importante en mi vida, y a los que no pertenecen al departamento que también contribuyeron a mi formación como profesional.*

*Agradezco a mis amistades Susel, Lexy, Roberto, Yoel, Daikel, Ronney, Yudiel, José Ariel, Lisdainis, Odelaissi, Marlo, Reinier, Jorge, Pabel, Yunier, Freddy, mis vecinos del barrio (Dalgis, Pedro, Yelizandra, Marta, Ibetsy, Arisleydis, Disnaidis, Isela, Vidalia, Ale, entre otros), a las amistades que he hecho en este último año (Dayana, las dos Dailén, Yonny entre otros) y a todas esas personas que durante estos cinco años han formado parte de mi vida y siempre me han sabido dar su apoyo, y a las que quisieron verme caer porque me hicieron más fuertes.*

*Agradezco a Harald Reiter por entenderme estos últimos tres años, apoyarme y por la gran ayuda que me ha brindado.*

*Agradezco a todas mis compañeros de aula Isabel, Dariana, Sucell, Daritza, Alenny, Irayaseli, Iliana, Leyanis, Marlen T, Marlen, Danay, Mirian, Margelis, Jose Carlos, Yosmany, Yoennis, Jadier, Ricardo, Yuslaidis y especialmente para Mario que me ayudó muchísimo y que siempre estaré en deuda con él.*

*A todas esas personas que me hicieron lo que soy hoy: Muchas Gracias.*

## **Dedicatoria**

*Dedico este trabajo final como resultado de mi esfuerzo durante estos cinco años de mi carrera a mis padres Enoemia Labañino Romero y Ramón Leyva Capote que se merecen todo mi amor, por creer y tener confianza en mí, porque aunque volviera a nacer creo que no encontraría unos padres como ellos que siempre me apoyaron y estuvieron conmigo en todo momento, porque nunca me dieron un no como respuesta, los que me enseñaron a triunfar en la vida por muy difícil que sea el camino, a levantarme cuando esté en el suelo, y porque me educaron e hicieron de mí una persona de bien.*

*También se lo quiero dedicar a una persona muy importante en mi vida además de mis padres; a mi abuelita querida María Labañino Romero que gracias a ella pude empezar y llegar hasta aquí, porque siempre creyó en mí y me dio lo mejor, a parte de su inmenso amor.*

## **Resumen**

El presente trabajo investigativo titulado: **Consideraciones genéticas del dominio geológico No.2 del yacimiento Camarioca Sur**; se basa en el análisis del comportamiento geoquímico de los componentes útiles y nocivos en la corteza total y en los diferentes horizontes meníferos en profundidad, con el objetivo de establecer la relación de la corteza de intemperismo con las rocas del basamento. Para la ejecución de la investigación se siguió una metodología que contó con tres etapas: la etapa preliminar, que facilitó la búsqueda de la información disponible sobre la temática estudiada; procesamiento de la información, donde se utilizó la base de datos digital validada para la realización de los mapas de iso-contenidos, de potencia y los gráficos de los pozos mediante el Surfer12 y el LogPlot2003; e interpretación de los resultados donde se hizo un análisis geoquímico de la concentración de los elementos en la corteza total y en profundidad teniendo en cuenta los diferentes horizontes, lo que permitió llegar a la conclusión que las mayores concentraciones de Fe, Ni y Co se encuentran hacia la zona norte y central, mientras los contenidos elevados de los elementos nocivos ( $\text{SiO}_2$ , Mg, Al) hacia la parte noreste y noroeste del área de estudio; además se logró determinar que la corteza de intemperismo que se genera en el dominio geológico No.2 es típica de la meteorización de las rocas del basamento con presencia de corteza redepositada, hacia la zona norte, noroeste y suroeste del dominio, avalado por la ausencia y repetición de horizontes meníferos.

## **Abstract**

This research work entitled Genetic considerations of geological domain of the site No.2 South Camarioca; It is based on the analysis of geochemical behavior of useful and harmful components in the total cortex and meníferos different horizons in depth, in order to establish the relationship of the weathering crust with basement rocks. For the execution of the research methodology which was followed three stages: the preliminary stage, which facilitated the search for information available on the subject studied; information processing, where the digital database for conducting validated maps iso-contained power and graphics of the wells by Surfer12 and LogPlot2003 used; and interpretation of the results where a geochemical analysis of the concentration of elements in total cortical and depth taking into account the different horizons are made, allowing to conclude that the highest concentrations of Fe, Ni and Co are to the northern and central area, while the high content of harmful elements (SiO<sub>2</sub>, Mg, Al) to the northeast and northwest of the study area; in addition it was determined that the crust of weathering which is generated in the geological domain No.2 is typical of the weathering of the basement rocks with the presence of redeposited crust, to the north, northwest and southwest of the domain, supported by the absence and repeating horizons meníferos.

**ÍNDICE**

|                                                                                                                      |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Introducción.....                                                                                                    | - 1 -         |
| Estado del arte .....                                                                                                | - 4 -         |
| Trabajos precedentes .....                                                                                           | - 4 -         |
| Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos lateríticos.....                                            | - 8 -         |
| Características geomorfológicas del yacimiento .....                                                                 | - 10 -        |
| Marco teórico conceptual .....                                                                                       | - 14 -        |
| Simbologías .....                                                                                                    | - 14 -        |
| Principio teóricos.....                                                                                              | - 14 -        |
| <b>CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b> | <b>- 21 -</b> |
| 1.1 Introducción .....                                                                                               | - 21 -        |
| 1.2 Características físico-geográficas del área de estudio.....                                                      | - 21 -        |
| 1.2.1 Ubicación geográfica. ....                                                                                     | - 21 -        |
| 1.2.2 Relieve.....                                                                                                   | - 22 -        |
| 1.2.3 Hidrografía .....                                                                                              | - 23 -        |
| 1.2.4 Clima .....                                                                                                    | - 24 -        |
| 1.2.5 Vegetación.....                                                                                                | - 24 -        |
| 1.2.6 Economía.....                                                                                                  | - 25 -        |
| 1.2.7 Geología del área de estudio.....                                                                              | - 26 -        |
| 1.2.8 Tectónica del área de estudio.....                                                                             | - 29 -        |
| 1.3 Características geológicas regionales .....                                                                      | - 30 -        |
| 1.3.1 Estratigrafía .....                                                                                            | - 30 -        |
| 1.3.2 Tectónica regional .....                                                                                       | - 39 -        |
| 1.3.3 Composición química y mineralógica de las litologías ultramáficas.....                                         | - 41 -        |
| 1.3.4 Composición de la MTZ en el macizo Moa-Baracoa .....                                                           | - 46 -        |
| 1.3.5 Mineralogía de las menas lateríticas .....                                                                     | - 48 -        |
| 1.3.6 Tipos de perfiles lateríticos .....                                                                            | - 49 -        |
| <b>CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS. ...</b>                                           | <b>- 51 -</b> |



|                                                                                                                                                    |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 2.1 Introducción .....                                                                                                                             | - 51 -        |
| 2.2 Etapa preliminar .....                                                                                                                         | - 52 -        |
| 2.3 Procesamiento de la información .....                                                                                                          | - 53 -        |
| 2.4 Interpretación de los resultados. ....                                                                                                         | - 57 -        |
| <b>CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES GENÉTICAS DEL DOMINIO GEOLÓGICO NO.2 DEL YACIMIENTO CAMARIOCA SUR.....</b>                                          | <b>- 58 -</b> |
| 3.1 Introducción.....                                                                                                                              | - 58 -        |
| 3.2 Caracterización de las rocas del basamento.....                                                                                                | - 58 -        |
| 3.3 Características del dominio geológico no.2. ....                                                                                               | - 59 -        |
| 3.4 Análisis geoquímico en el área de estudio para la corteza total.....                                                                           | - 61 -        |
| 3.4.1 Comportamiento de los componentes útiles del dominio geológico No.2; Ni, Fe y Co, para la corteza total. ....                                | - 61 -        |
| 3.4.2 Comportamiento de los componentes nocivos del dominio geológico No.2; SiO <sub>2</sub> , Mg y Al para la corteza total.....                  | - 64 -        |
| 3.4.3 Comportamiento del Cr y el Mn en el dominio geológico No.2 para la corteza total. ....                                                       | - 67 -        |
| 3.5 Comportamiento de la potencia de la corteza total del dominio No.2 yacimiento Camarioca Sur. ....                                              | - 69 -        |
| 3.6 Representación gráfica vertical y comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad para los pozos de basamento. .... | - 70 -        |
| Conclusiones.....                                                                                                                                  | - 78 -        |
| Recomendaciones.....                                                                                                                               | - 79 -        |
| Bibliografía .....                                                                                                                                 | - 80 -        |
| Anexos .....                                                                                                                                       | - 84 -        |

## **INTRODUCCIÓN**

Los yacimientos ferroniquelíferos ubicados en el extremo nororiental del territorio cubano, específicamente en el municipio Moa, constituyen uno de los recursos minerales más importantes del país debido a su extensión y reservas, desempeñando un rol fundamental en el desarrollo económico de nuestro archipiélago. Ellos se ubican dentro del sistema montañoso 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.

Desde 1976 se identificaron los principales tipos litológicos que conforman el basamento sobre el cual se desarrollan las cortezas ferroniquelíferas. Dentro de esas litologías se destacan las peridotitas y las serpentinitas y con menor abundancia, aparecen diferentes variedades de gabros y disseminaciones de cromita.

Dentro de la corteza ferroniquelífera, junto a los minerales portadores de níquel se encuentran elementos nocivos que dificultan el proceso de extracción y complejizan el proceso metalúrgico. La presencia de estos está relacionada tanto con la composición y tipo de la roca madre, como de procesos hipergénicos que han alterado su composición original.

El desarrollo de las cortezas de intemperismo sobre las litologías afloradas del complejo ofiolítico no fue continuo en el tiempo geológico, así sobre las litologías antes

referidas y a partir del ascenso miocénico de la región, se iniciaron intensos procesos de meteorización que dieron lugar a la formación de las cortezas ferro-niquelíferas que cubren casi toda la superficie. Sin embargo, este proceso no fue continuo en todas las áreas con existencia de cortezas lateríticas. 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 neautóctono, (Iturralde Vinent, 1990), han sido afectadas por los procesos de remoción y redeposición, tanto en ambiente marino como continental, apareciendo indistintamente in situ, redepositadas o ambas.

Después de una revisión detallada del estado actual del tema y debido a la actividad tectónica en el área de estudio permite plantear como **problema** la necesidad de determinar la relación geoquímica entre las rocas del basamento del yacimiento Camarioca Sur en el dominio geológico No. 2 y la corteza de intemperismo que sobre ellas se desarrolla, para definir las cortezas redepositadas.

### **Objeto de Estudio**

Las rocas del basamento y la corteza de intemperismo en el dominio geológico No.2 del yacimiento Camarioca Sur.

### **Objetivo principal**

Correlacionar geoquímicamente las rocas que constituyen el basamento y la corteza de intemperismo en el dominio geológico No. 2 del yacimiento Camarioca Sur

### **Objetivos específicos**

1. Elaborar los mapas de iso-contenidos de Cr, Co, Mn, SiO<sub>2</sub>, Al, Mg, Fe y Ni, para la corteza total.
2. Representar gráficamente los horizontes de la corteza en pozos individuales y la variación de concentración de los elementos en profundidad para el dominio geológico No 2.

3. Establecer la relación geoquímica entre las rocas del basamento y la corteza de intemperismo.

### **Hipótesis**

Si se logra correlacionar geoquímicamente las rocas que constituyen el basamento y las cortezas de intemperismo que sobre ellas se han formado en el yacimiento Camarioca Sur, entonces se podrá establecer la relación geoquímica que entre ellas existe con el fin de definir las áreas de corteza redepositada.

## **ESTADO DEL ARTE**

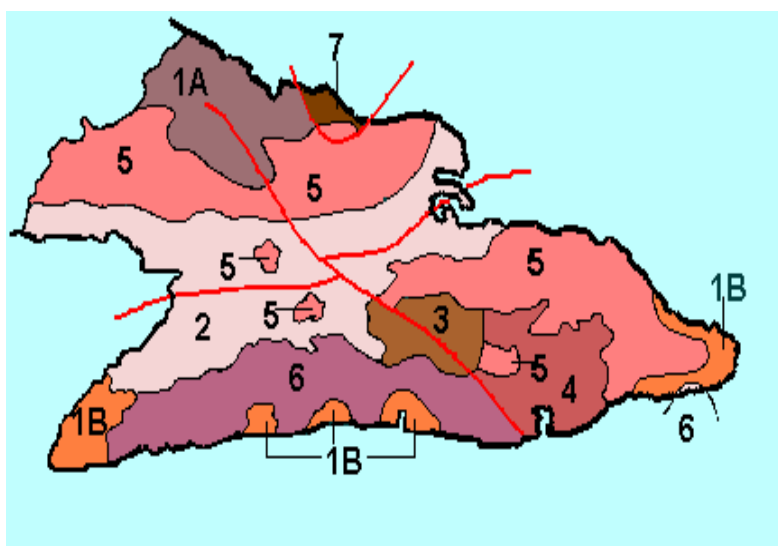
### **Trabajos precedentes**

Los primeros estudios geológicos sobre las rocas en Cuba datan desde principios de siglo XX cuando los geólogos comenzaron a interesarse por las rocas de composición ultramáficas presentes en la región de Moa. Ya en el año 1918, investigadores tales como Burch y Burchard realizaron trabajos de carácter evaluativo para el pronóstico de los yacimientos minerales de la antigua provincia de Oriente, entre ellos se pueden citar, las menas lateríticas, cromitas y minerales de manganeso, (Burch, A. y Burchard, E. F. 1919).

En 1962 se destaca el trabajo realizado por los geólogos soviéticos Adamovich y Chejovich, que consistió en un levantamiento geológico regional a escala 1:50 000 del nordeste de Cuba oriental. Las investigaciones fueron ejecutadas 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 permitieron ofrecer un pronóstico de los recursos minerales de las lateritas, (Adamovich, A. Chejovich, V, 1962).

En 1972 se comienzan las 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 de Moa, estableció en 1976 que la tectónica de sobre empuje afecta a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas, detectándose en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del Cretácico Superior sobreyaciendo las secuencias terrígenas del Maestrichtiano-Paleoceno Superior, planteando el carácter alóctono de los conglomerados-brechas de la formación la Picota, demostrándose en investigaciones posteriores (Cobiella, 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.

Entre los años 1973 y 1976, se realizaron los trabajos de exploración orientativa y el cálculo de reservas en los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Sur en los cuales se recoge una detallada información geológica, que incluye, la geología, tectónica y petrología del yacimiento, además fue posible valorar las reservas de ambos yacimientos lateríticos (Stinikov, 1976). Es importante destacar en este periodo el trabajo de levantamiento geológico a escala 1: 250 000 realizado en la antigua provincia de Oriente 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 Nagy, 1976.



**Figura 1:** Esquema tectónico según E. Nagy, 1976 1A- Margen Norte; 1B- Margen Sur; 2- Cuenca Guacanayabo - Guantánamo; 3- Sinclinatorium Central; 4- Cuenca de Guantánamo; 5-Zonas precubanas; 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 (Pérez R. 1976), quien realiza una clasificación de las fracturas que afectan al substrato serpentínico y el levantamiento fotogeológico de Farallones a escala 1: 50 000, por donde se realizó un estudio detallado de las distintas formaciones geológicas del área.

De igual forma se realizaron reconstrucciones paleogeográficas que le permitieron caracterizar el relieve pre-Maestrichtiano de la región y clasificaron el relieve actual. Mantuvieron la opinión de que las ultramafitas son intrusiones magmáticas emplazadas en estado cristalino; reconocen por primera vez la yacencia estratiforme de las ultramafitas, las que definen como un macizo con forma de lente. Además, consideraron que la serpentinización de las ultramafitas se debía a los procesos de autometamorfismo.

Según Heredia y Terepin (1984) la zona de los cumulos máficos está compuesta por gabros, gabronoritas, troctolitas y anortositas, relacionados por una transición gradual; en los puntos donde los contactos son tectónicos, los gabroides están cataclastizados y milonitizados y las serpentinitas son esquistosas.

En el período 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 geólogo geomorfológicas.(Dublan, L. et al. 1985).

En 1989, Quintas F., en su tesis doctoral realizó el estudio estratigráfico de Cuba Oriental donde propone las Asociaciones Estructuro Formacionales (AEF) 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 (Tomado de Valdés Y. 2015).

En los últimos años los trabajos realizados en el sector de estudio han estado encaminados fundamentalmente al esclarecimiento e identificación de las principales fases minerales portadoras de los componentes útiles: hierro, níquel y cobalto. (Rojas Purón, L.A. et al.1994); (Almaguer, A, 1995); (Muñoz J. N. 2004); (Muñoz, et al. 2007).

En el sector Camarioca Sur se inician los trabajos en 1976, (Sitnikov, V. et al. 1976), ellos describen que las peridotitas serpentinizadas están representadas por dunitas y harzburgitas serpentinizadas y en casos aislados por lherzolitas y wherlitas. Además identifican áreas con la presencia de serpentinitas, variedad antigorita, asociadas a las zonas de falla y describen que el basamento está constituido por las serpentinitas antigoríticas; concluyendo que en estas zonas se localizan cortezas de intemperismo poco desarrolladas y con bajos contenidos de níquel.

En el 2010 se desarrolla un proyecto de exploración geológica en esta área por investigadores del Departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, los cuales describen la secuencia mantélica que está presente en el área de estudio, constituido mayoritariamente por harzburgitas y dunitas, con alto porcentaje de cromititas podiformes y la ausencia de xenolitos de alta presión. El límite inferior de estas ofiolitas está definido por fallas inversas de bajo ángulo, indicando que su emplazamiento está relacionado con un evento de acortamiento cortical, que puede relacionarse con una colisión o subducción con polaridad reversa (subduction polarity reversal). (Iturralde-Vinent, 2003; Cobiella-Reguera, 2005).

En conformidad con las rocas pertinentes al macizo, las principales rocas ultramáficas del basamento son harzburgitas con una distribución del 76 %, un grado variable de serpentinización, asociado principalmente a zonas de fracturas y cizalla. En menor porcentaje de representación aparecen serpentinitas, dunitas y lherzolitas, las que sugieren un origen mantélico de las litologías del basamento. (Muñoz et al. 2007).

También se observan rocas peridotíticas alteradas como las antigoritas y talcitas, con predominio de talcificación hacia la parte Norte y la carbonatización hacia el Sur. Estas litologías pueden tener influencia local en el desarrollo y composición de la corteza laterítica.



En algunos sectores se documentaron bloques dispersos de variados tamaños de rocas compactas de grano fino a muy fino, muy duras, de color gris oscuro sobre las cuales apenas se desarrollan las lateritas. Estas rocas, según Valdés 2015, se clasifican en dos grupos petrológicos principales: anfibolitas gnéicas y granofels anfibolíticos. Teniendo una composición de picro-basalto y basaltos según el diagrama TAS (total álcalis vs. sílice) de Le Maitre et al (2011); lo que ha permitido identificar la existencia de rocas vulcanógenas ultramáficas metamorfizadas asociadas a las rocas del macizo ofiolítico. Demostrando que las rocas identificadas constituyen fragmentos de una antigua corteza oceánica sometida a metamorfismo de grado medio-bajo correspondiente a la parte inferior de la facies anfibolita.

Se han reportado de manera puntual rocas félsicas muy compactas y duras, que contienen plagioclasas ácidas, donde el cuarzo está ausente o se presenta en poca cantidad, y además contienen abundantes minerales metamórficos. Estas rocas podrían ser consideradas trondhjemitas, lo que debe ser precisado en futuras investigaciones, ya que implicaría la presencia de un posible melange de subducción similar al descrito en Sierra del Convento y La Corea. (Tomado de Valdés Y. 2015).

### **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:

- Clima

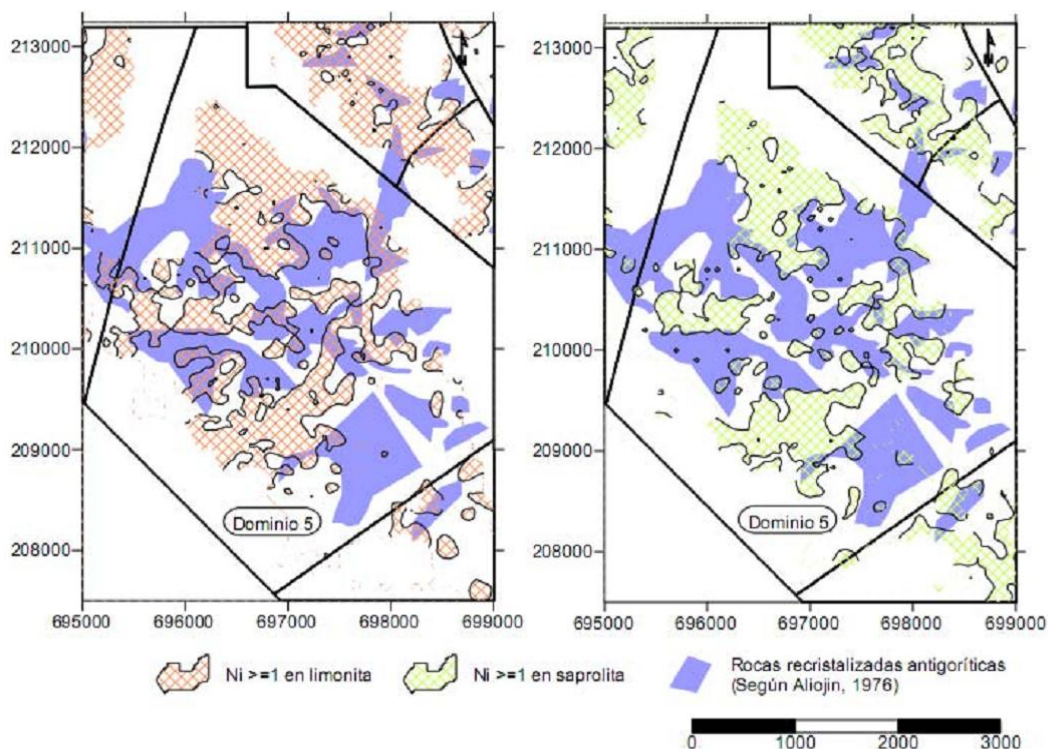
- Geotectónica
- Geomorfología
- Hidrografía (Muñoz J.N, 2004).

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., 1980).

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); (Muñoz J. N. 2004).

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. (Ver Figura 2).



**Figura 2:** Relación entre las rocas cristalizadas antigoríticas con los contenidos de níquel en limonita y saprolita. (Muñoz et al, 2007)

### Características geomorfológicas del yacimiento

La concesión minera Camarioca Sur se encuentra ubicada específicamente en el borde occidental del bloque morfo- tectónico 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 30m. 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. (Tomado de Fernández L., 2011).

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 morfo-tectónica 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. (Tomado de Fernández L., 2011).

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:

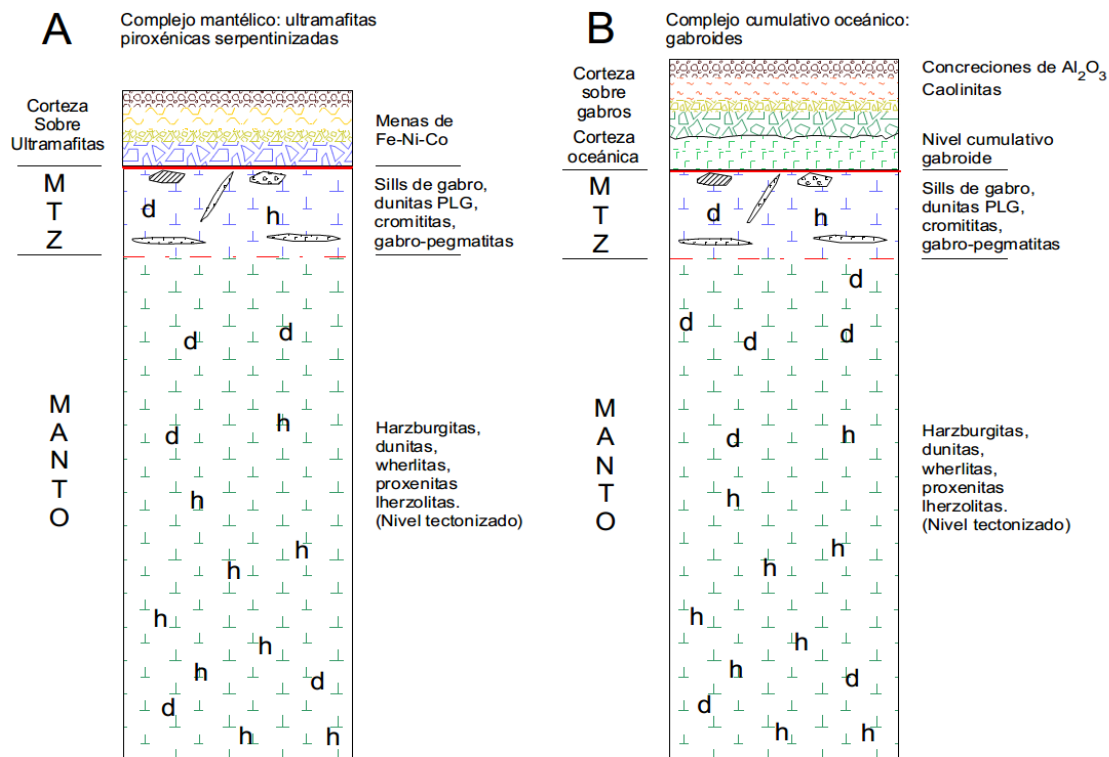
- Presencia de fósiles en los horizontes superiores e intermedios.
- Presencia de estratificación o pseudo estratificación en diferentes horizontes.
- Repetición y/u omisión de horizontes en el perfil laterítico.
- Presencia de perdigones en los niveles inferiores, en ocasiones como bolsones de acumulación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

A ese período 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 3, donde A representa el perfil de la asociación ofiolítica y la corteza ferroniquelífera 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 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)

## MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### Simbologías

**N:** norte    **m:** metro

**E:** este    **Km:** kilómetro

**S:** sur    **seg:** segundo

**W:** oeste

### Principio teóricos

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> (Tomado de Valdés Y. 2015). Los yacimientos minerales de menas residuales de níquel desarrolladas sobre litologías ultramáficas y máficas del complejo ofiolítico, constituyen las principales reservas de menas de hierro, níquel y cobalto en Cuba. Las menas lateríticas residuales se formaron durante el proceso de laterización de las ultramafitas serpentinizadas, como consecuencia de la combinación de factores climáticos, litológicos, estructurales, geomorfológicos; los que originaron potentes cortezas de intemperismo, las cuales poseen horizontes o capas, que difieren entre si desde el punto de vista químico y mineralógico, entre otros parámetros.

**Mineral:** es un sólido homogéneo por naturaleza con una composición química definida, pero generalmente no fija y una disposición atómica ordenada; normalmente se forma por un proceso inorgánico.

**Mena:** Rocas y minerales de los cuales, podemos extraer componentes útiles, bien sea metales (oro, plata) o materias primas no metálicas (calizas, azufre) de forma tal que su extracción y beneficio resulten económicamente rentables a las empresas mineras.



### **Mineralización:**

Aquellas acumulaciones de minerales o rocas, que por algún motivo no pueden declararse menas de determinada materia prima mineral. Se dan casos en que los contenidos útiles de los elementos, tienen valores por encima del contenido mínimo industrial y presentan impurezas beneficiosas, pero fallan las reservas, que permitirían su explotación racional y rentable a la economía.

**Región:** se caracteriza por una serie de yacimientos de composición y origen determinados, asociados a un elemento o grupo de elementos tectónicos de primer orden, que determinan la estructura geológica del territorio de la provincia (anticlinorios y sinclinorios, zonas internas y periféricas geosinclinales, macizos centrales, pliegues sinclinales superpuestos, zonas de activación, depresiones marginales, escudos, sinclisas, etc.). (Smirnov, 1982)

### **Corteza de intemperismo**

Es una formación geológica continental independiente, generada bajo la acción de la energía de los agentes atmosféricos, líquidos, gaseosos, y biogénicos sobre las rocas primarias, a raíz de la cual surgen nuevas rocas con una textura, estructura y composición mineral y química propia, que contiene yacimientos minerales característicos, (Smirnov, 1982).

### **Tipos de cortezas de intemperismo**

- Cortezas ferroniquelíferas (lateritas).
- Cortezas caoliníticas (arcillosas o arcillas).
- Cortezas Bauxíticas (bauxitas).

### **Lateritas**

Later, ladrillo en latín, suelo rojo residual que se desarrolla en regiones tropicales y subtropicales con buen drenaje. La sílice y el magnesio se lixivian, conteniendo concentraciones importante de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, además de manganeso, níquel, cromo y cobalto. Es el producto residual de la descomposición de las rocas silicatadas ferromagnesiales, principalmente.



## Proceso de lateritización

Una de las fases fundamentales del escenario geomorfológico en la superficie de la Tierra es la destrucción y descomposición de las rocas por los procesos del intemperismo. El 14 % de la superficie terrestre experimenta el intemperismo físico o mecánico y el 86 % está afectada por los procesos químicos (Tomado de Pérez Y. 2013). El intemperismo implica una fuerte dependencia de los procesos asociados con la hidrosfera, atmósfera y biosfera (Tomado de Pérez Y. 2013), ya que la cristalización y disolución de los minerales a partir de las soluciones acuosas son los procesos principales en la cinética de este fenómeno.

Las condiciones relevantes para que ocurra la lateritización son las siguientes:

1. Presencia de minerales formadores de las rocas fácilmente solubles y movilizables que dejen residuos ricos en alúmina y hierro.
2. Permeabilidad y porosidad efectiva que favorezcan el fácil acceso, así como la circulación del agua y las soluciones. La libre circulación asegura la movilidad de la materia disuelta, lo cual no favorece el establecimiento de condiciones de equilibrio en soluciones saturadas.
3. Precipitaciones normales a abundantes con un régimen estacional o, al menos, con interrupción entre ellas.
4. Abundante vegetación y otros componentes bióticos, incluyendo las bacterias; los ácidos orgánicos, en particular, actúan como agentes efectivos de solución y precipitación.
5. Temperaturas tropicales o calientes que aceleren la velocidad de las reacciones químicas y promuevan los procesos de formación de arcillas.
6. Relieve topográfico bajo o moderado que permita el movimiento libre del nivel del agua subterránea y minimice los procesos de remoción.
7. Un largo período de estabilidad de las estructuras geológicas. (Tomado de Pérez Y. 2013)

El grado de alcance del intemperismo tiene su expresión en dos conceptos:

1. Profundidad en el sentido espacial, esto es, el espesor o potencia de la corteza de intemperismo
2. Intensidad o grado de intemperismo como expresión del cambio en la roca original afectada por las reacciones químicas.

Los principales factores que determinan la profundidad del intemperismo se exponen en la Tabla 1.

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Factores climáticos      | Temperatura: el aumento de ésta incrementa la velocidad de las reacciones químicas endotérmicas. Precipitación: el agua constituye el agente principal del proceso de intemperismo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Factores bióticos        | Cubierta vegetal: una cubierta densa protege a la superficie de los procesos de lavado y proporciona los ácidos orgánicos que son capaces de alterar ciertos minerales de las rocas, movilizándolo especialmente el Fe por quelación. Por el contrario, la vegetación de sabana abierta favorece la inmovilización del Fe y propicia el escurrimiento superficial.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Factores geomorfológicos | Estabilidad de la superficie del terreno: la penetración del intemperismo se favorece con una baja velocidad de la denudación donde prevalecen las pendientes suaves. Presencia de paleosuperficies: la estabilidad prolongada de las antiguas superficies permite que se desarrollen perfiles profundos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Factores locales         | Drenaje libre: los lugares hipsométricamente elevados posibilitan el movimiento hacia abajo y la renovación frecuente del agua subterránea, que es esencial para la rápida descomposición de las rocas. Las zonas de captación-recepción: la combinación del incremento de la cantidad de agua en las zonas de convergencia del escurrimiento con un pobre drenaje provoca la formación de cortezas lateríticas poco profundas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Factores geológicos      | Tipo de roca: la presencia de minerales particularmente susceptibles a la alteración, incrementa la velocidad de penetración del intemperismo y puede provocar la desintegración temprana de la roca. Textura de la roca: Las rocas cristalinas de textura gruesa se desintegran más rápidamente que las de textura fina. La textura en las rocas sedimentarias afecta la permeabilidad y la velocidad de la penetración del intemperismo. Fisibilidad de la roca: las fallas, grietas y bordes de granos fracturados facilitan la penetración del intemperismo especialmente en las rocas cristalinas. Alteración hidrotermal: las rocas que han sido sometidas previamente a las distintas formas de la actividad hidrotermal pueden ser más susceptibles al intemperismo. |
| Factores cronológicos    | Cambios climáticos: las variaciones de vegetación y clima alteran con el tiempo el balance de intemperismo y erosión. Las condiciones pluviales en las zonas áridas durante el Terciario y el Pleistoceno han conducido a la presencia de un intemperismo relicto profundo. Cambios tectónicos: las variaciones de la estabilidad cortical afectan la estabilidad de la superficie del terreno y el tiempo disponible para la penetración del intemperismo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

La intensidad o grado de intemperismo es la cantidad de alteración a partir del estado original que muestra una roca o un sedimento no consolidado en un punto y momento dados, como resultado de la acción de los distintos procesos de descomposición. Por consiguiente, la velocidad del intemperismo se refiere a la cantidad de cambio por unidad de tiempo, aunque en la práctica se refiere a un cambio generalizado. Estas dos nociones están unidas, ya que una alta intensidad en el intemperismo puede implicar una velocidad rápida de alteración; no obstante, se pueden obtener altas intensidades a velocidades moderadas, pero que actúen durante mucho tiempo.

La intensidad del intemperismo está determinada por una serie de factores que afectan la velocidad y naturaleza de los procesos. Estos factores se agrupan en dos categorías:

intrínsecos y extrínsecos. Los primeros incluyen a los poros, fracturas de las rocas y su mineralogía básicamente. Los extrínsecos comprenden la temperatura, el quimismo de las soluciones determinado básicamente por su índice de acidez, y la hidrodinámica de las soluciones intemperizantes.

La medida de la intensidad del intemperismo puede obtenerse por la relación de alúmina en el material intemperizado con respecto al de la roca fresca. También existe una relación entre la suma de los óxidos de Na y K / sílice del horizonte intemperizado con respecto al del material original, que se denomina factor de lixiviación (Tomado de Pérez Y. 2013).

El papel de los procesos biológicos en el intemperismo es bien conocido. La macroflora aporta un suministro continuo de materia orgánica a los detritos de la roca intemperizada. La microflora, por su parte, vive en el material intemperizado, es variada y numerosa, y está integrada por bacterias, hongos, actinomicetos, algas, protozoos y gusanos de tierra.

Esta biota alcanza valores considerables de hasta 89 kg por cm de espesor del suelo, pero esta cantidad así como su composición varían en función del clima, uso del suelo, adición de fertilizantes y materia orgánica, y otros factores. Los diferentes grupos en la microflora utilizan para su nutrición los compuestos de C y N de las plantas y animales muertos, y al hacerlo producen humus. También utilizan el O<sub>2</sub> del suelo e incrementan su contenido en CO<sub>2</sub>.

Los principales procesos biológicos que incrementan el intemperismo de los minerales son:

- a) El crecimiento de las raíces y la acción de los hongos producen la desintegración física de los minerales, exponiendo nuevas superficies frescas a la acción de los agentes del intemperismo.
- b) La estabilización del suelo incrementa la retención del agua, lo que favorece la ocurrencia de las reacciones del intemperismo.

- c) La producción de ácidos, en primer término el ácido carbónico a partir del CO<sub>2</sub>, así como también otros ácidos orgánicos e inorgánicos, acelera la velocidad del intemperismo.
- d) Los ligandos orgánicos atacan directamente la superficie de los minerales o forman complejos con iones en solución, cambiando el estado de saturación.
- e) Los polímeros extracelulares complejos moderan el potencial de agua, mantienen los canales de difusión, actúan como ligandos o quelatos y sirven como puntos de nucleamiento para la formación de minerales autógenos.
- f) La absorción, primeramente de K, Fe y P, disminuye el estado de saturación de la solución y favorece el intemperismo.

El intemperismo diferencial de los minerales de las rocas ultrabásicas se expresa en una alteración más rápida del olivino que la del ortopiroxeno, la que a su vez es más rápida que la del clinopiroxeno. La serpentinita se intemperiza más lentamente que otras rocas ultrabásicas y, por lo tanto, se localiza en posiciones más altas dentro del perfil laterítico. Esto puede explicarse por qué el olivino puede liberar Ni hacia las soluciones del intemperismo, de ahí que las lateritas niquelíferas puedan contener entre 2-5 % de Ni en los horizontes de menas silicatadas y entre 1-3 %, como promedio, en las zonas de menas oxidadas. (Tomado de Pérez Y. 2013)

**Peridotita:** Roca ígnea ultramáfica, constituida de olivino, piroxeno y anfíboles. Se presenta en los núcleos de los escudos continentales, presentando facies granulíticas, facies cumulíticas, granatíferas

**Dunita:** Roca ígnea plutónica, ultrabásica, minerales esenciales: olivino, piroxenos, accesorios: rubí, granates, platino nativo. Están ligados a yacimientos metálicos de importancia.

**Harzburgita:** Roca ultramáfica compuesta esencialmente de olivino y ortopiroxeno. Si contiene hasta 10 % de clinopiroxeno la roca es una harzburgita clinopiroxénica.

**Lherzolita:** Roca ultramáfica compuesta esencialmente por olivino, con cantidades subordinadas de ortopiroxeno y clinopiroxeno. Si contiene plagioclasa hasta 15 % se nombra lherzolita plagioclásica.

**Serpentinita:** Roca metamórfica regional, ultrabásica. Componentes serpentina, accesorios, magnesita, talco, de color verde claro. La serpentización se realiza sobre los piroxenos, anfíboles y peridotos. Su nombre deriva del color y de los listados de las serpientes. Variedades: crisotilo, garnierita.

# **CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO- GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

1.1 Introducción.

1.2 Características físico-geográficas del área de estudio.

1.3 Características geológicas regionales.

## **1.1 Introducción**

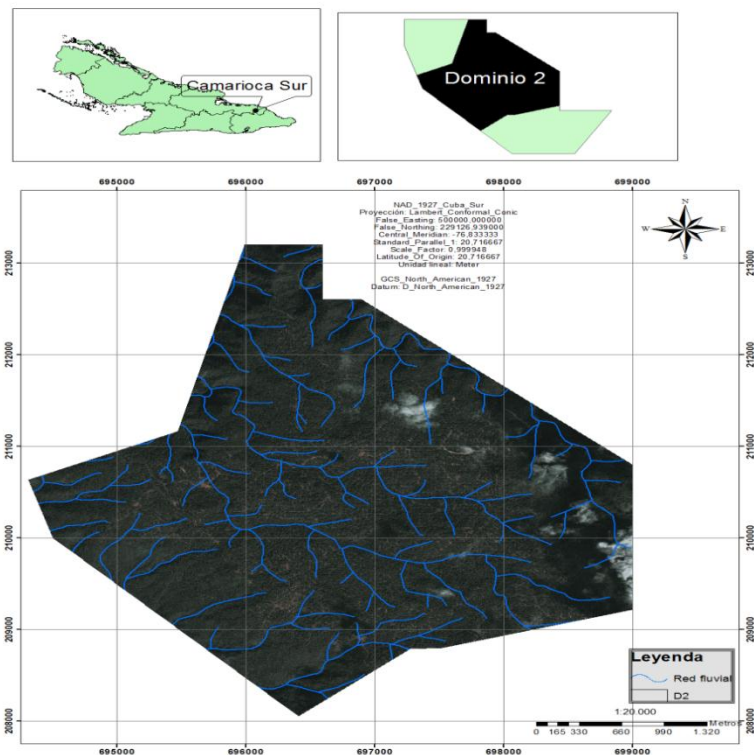
En el presente capítulo se describen los principales rasgos geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, climáticos y geológicos del sector analizado así como también las características de la vegetación y la economía, lo cual permitirá tener una panorámica general acerca del área de estudio.

## **1.2 Características físico-geográficas del área de estudio**

### **1.2.1 Ubicación geográfica.**

El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente en el extremo nororiental del territorio cubano específicamente en el municipio Moa, provincia Holguín y en el sector norte del yacimiento Camarioca Sur, como se puede observar en la figura 4.

Según el sistema de coordenadas Lambert el sector de estudio se encuentra delimitado por las coordenadas: X: 694 500 – 699000 y Y: 208000 – 213 000



**Figura 4:** Fotografía del mapa de ubicación geográfica, sector Camarioca Sur, dominio geológico No.2.

### 1.2.2 Relieve

El territorio se caracteriza por el predominio del relieve de montaña, las que se manifiestan de forma continua hacia la parte centro sur, con predominio de las cimas aplanadas y vertientes abruptas hacia los cursos de aguas principales, destacándose como cota máxima la elevación El Toldo con una altura de 1174,6 m sobre el nivel del mar. Geomorfológicamente el territorio está clasificado genéticamente dentro del tipo de horst y bloques que corresponde a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevados en la etapa geotectónica (Tomado de Valdés Y. 2015). Para la región se han determinado dos zonas geomorfológicas: de llanuras y montañas.

Las llanuras fluviales, acumulativas y abrasivo – acumulativas presentan un desarrollo limitado a algunas cuencas fluviales de la zona. Por su parte, la llanura litoral que se dispone como una estrecha franja paralela a la costa, es de tipo acumulativa marina, apareciendo ligeramente diseccionada con alturas que pueden alcanzar hasta los 20 –

25 m. Hacia la parte Sur predominan las montañas bajas y premontañas de cimas aplanadas o ligeramente diseccionadas.

El área de estudio 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, así como sectores diseccionados. 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.

### **1.2.3 Hidrografía**

La red hidrográfica en la zona se encuentra bien desarrollada, representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Aserrío, Cabañas, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam, Semillero, El Medio, Cupey, Yamanigüey y parte de su curso del Jiguaní, los que en su mayoría corren de Sur a Norte, desembocando en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles. En general predomina la configuración fluvial de tipo dendrítica, aunque debido al control tectónico del relieve, pueden observarse sectores fluviales con red enrejada. Los ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas y en todos los casos son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como nacimiento las zonas montañosas del grupo Sagua–Baracoa. En el sector analizado la red hidrográfica aunque mantiene sectores con configuración dendrítica, presenta un gran control tectónico debido a la alta fracturación de las rocas. (Tomado de Valdés Y. 2015)



#### **1.2.4 Clima**

El clima de la zona es del tipo tropical húmedo, el cual se ve influenciado por la orografía, ya que las montañas del grupo Sagua-Baracoa sirven de barrera a los vientos alisios del NE, los cuales descargan toda su humedad en forma de abundantes precipitaciones en la parte norte de la región. En la misma se distinguen de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos de lluvia (Mayo-Junio) y (Octubre-Enero) y dos períodos de seca (Febrero-Abril) y (Junio-Septiembre). Según análisis estadístico de 21 años (1989–2009), referente al comportamiento de las precipitaciones en Moa, el total anual varía entre 767 – 3560 mm. La cantidad de días con lluvias anuales que se registran en la serie analizada para cada pluviómetro, manifiestan una regularidad cada cuatro años, en que existe un ascenso en la cantidad de días lluviosos. Por tanto este comportamiento corrobora la existencia de períodos húmedos comprendidos entre los meses octubre - enero con un promedio de lluvia que oscila entre 155 - 336 mm y el mes de mayo con un promedio de 169.7 mm; y períodos secos que se dividen entre los meses febrero, marzo, abril con un promedio de lluvia entre 113 - 151 mm y el que abarca los meses junio, julio, agosto con un acumulado promedio entre 120 - 122 mm de precipitaciones. La temperatura media anual oscila entre 22.26 °C y 30.5 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los más fríos enero y febrero, siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los meses más secos marzo, julio y agosto. (Tomado de Valdés Y. 2015)

#### **1.2.5 Vegetación**

La flora del municipio Moa es muy variada en toda su magnitud, por eso se destaca tanto por su endemismo genérico, como específico; también hay especies significativas por considerarse relictos de eras pasadas. La vegetación presente forma parte de 5 formaciones vegetales:

**Pinares:** es un bosque siempre verde, con hojas en forma de agujas, generalmente con un solo estrato arbóreo dominante (*Pinus Cubensis*), con altura de 20-30 m y una cobertura entre 80 y 90 % de la superficie pudiendo llegar en ocasiones hasta el 100 %. Especies más representativas *pinus cubensis*, framboyán azul, guao y copey.

Pluvisilvas: es la formación vegetal más vigorosa y puede alcanzar hasta 40 m de altura. Especies más representativas: majagual azul, ocuje colorado, roble y yagruma.

Carrascales: son formaciones de bosques siempre verde o matorrales bajos siempre verde. 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. Especie representativa: ocuje colorado y diferentes tipos de helechos.

Manglares: son bosques siempre verdes que pueden oscilar desde 5 a 15 m y en ocasiones hasta 25 m de acuerdo a las condiciones ecológicas de las zonas. Se localizan en zonas costeras bajas, fangosas, parcial o totalmente inundadas por agua salada, con acción directa del agua de mar.

Especies características: mangle rojo, mangle prieto, patabán, yana. Esta formación vegetal resulta extremadamente importante no solo económica y biológicamente sino desde el punto de vista ecológico ya que funciona como la barrera principal en la interacción de todos los acontecimientos entre los ecosistemas marinos y terrestres. (Tomado de Valdés Y. 2015)

### **1.2.6 Economía**

Las principales actividades económicas de la región son: el desarrollo de la industria minera y el procesamiento de las menas níquelíferas, trayendo como consecuencia que sea una de las zonas más industrializadas de nuestro país, debido a que cuenta con plantas procesadoras de níquel como: La empresa Comandante Pedro Soto Alba y la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Además existen otras industrias y empresas relacionadas con la actividad minero metalúrgica tales como: La Empresa Mecánica del Níquel, la Empresa Constructora y Reparadora de la Industria del Níquel (ECRIN) y el Centro de Proyecto del Níquel (CEPRONIQUEL) y otros organismos de los cuales depende la economía de la región como son: Empresa Geólogo-Minera, la EMA y diferentes instalaciones de apoyo

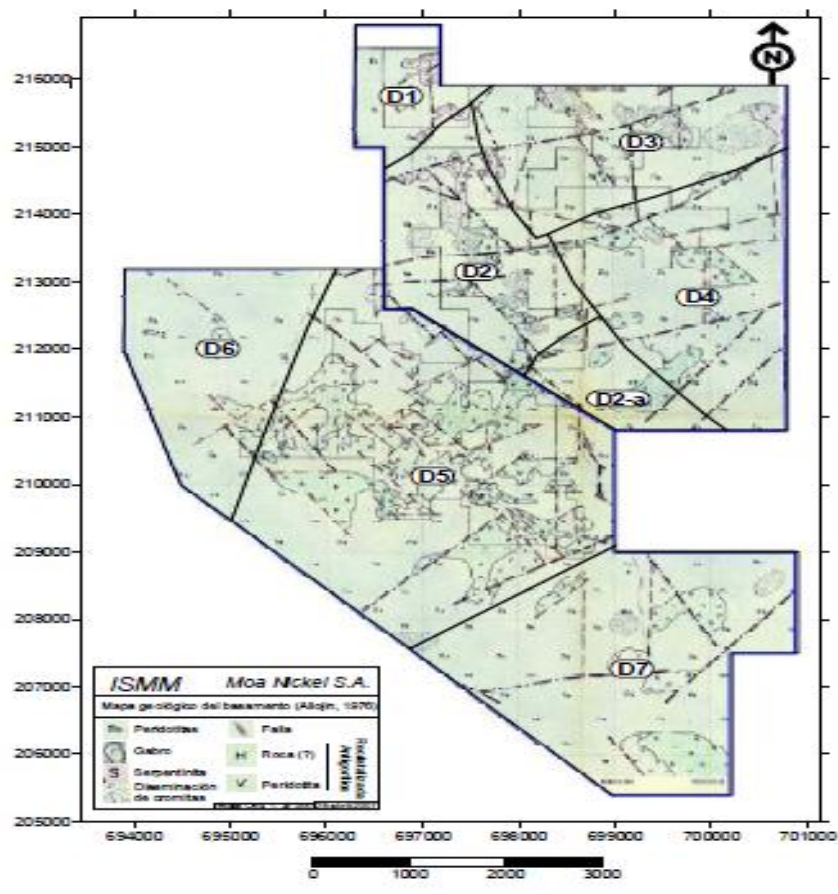
social, tales como: la presa Nuevo Mundo (la más profunda del país), el Tejar de Centeno, y el Combinado Lácteo.

En la región se explotan también los recursos forestales por la Empresa Municipal Agroforestal (EMA), al constituir los recursos forestales un eslabón importante de la economía de la región. (Tomado de Valdés Y. 2015)

### **1.2.7 Geología del área de estudio**

Los trabajos de exploración geológica realizados por Sitnikov en 1976, en la concesión minera de Camarioca Sur, empleando la red de 100 x 100 metros; permitieron identificar y diferenciar las principales litologías que conforman el basamento sobre el que se desarrolló la corteza ferroniquelífera.

Entre las litologías del basamento se destacan las peridotitas y serpentinitas; en menor grado de abundancia aparecen diferentes variedades de gabros y disseminaciones de espinelas cromíferas; como se muestra en el mapa geológico del basamento del área de estudio. (Aleojin, V. et al. 1977). (Ver Figura 5)



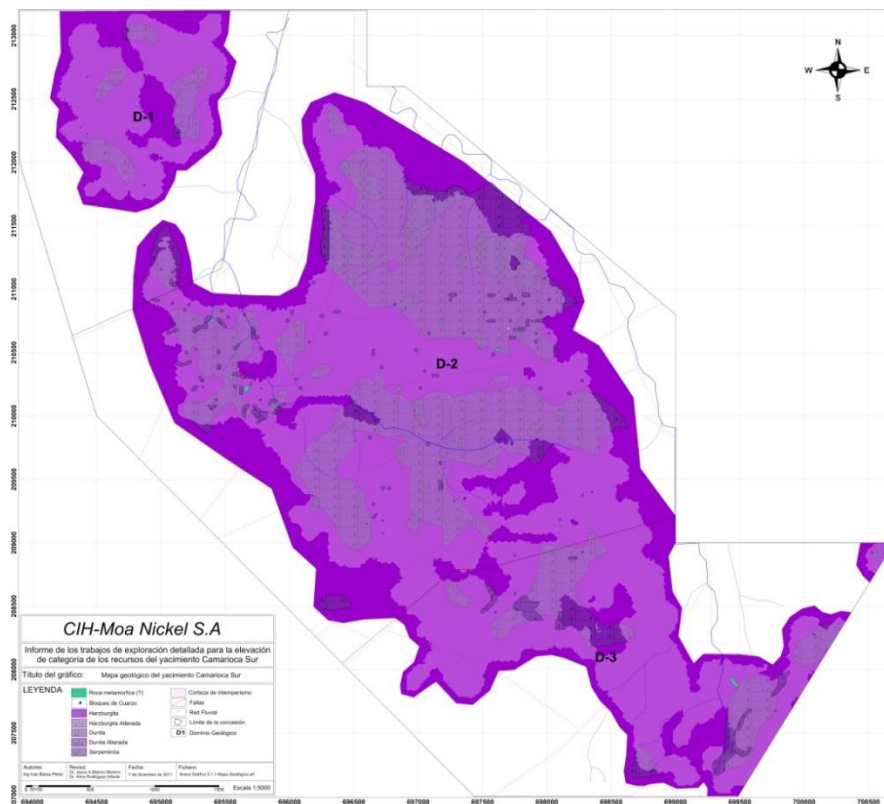
**Figura 5:** Fotografía del mapa geológico del basamento tomado de Aleojin, 1977.

En correspondencia a los trabajos efectuados en 1976, (Sitnikov, V. et al. 1976), las peridotitas serpentinizadas están representadas por dunitas y harzburgitas serpentinizadas y en casos aislados por lherzolitas y wherlitas. Asimismo, se identifican áreas con la presencia de serpentinitas, variedad antigorita, asociadas a las zonas de falla.

Las características geológicas del área de estudio son complejas como se observa en la figura 6, ya que existe una distribución heterogénea de los diferentes tipos de litologías y las mismas presentan génesis diferentes. Las litologías predominantes en la zona son rocas ultramáficas del complejo inferior de la asociación ofiolítica que están metamorizadas, tales como harzburgitas y dunitas todas ellas afectadas en mayor o menor grado por procesos metamórficos tales como serpentinización, cloritización, talcificación, antigoritización, anfibolitización y carbonatización. Este complejo de rocas

se encuentra muy tectonizado formando parte de un conjunto de mantos de cabalgamiento que constituyen fragmentos del manto superior y corteza oceánica, que han sido emplazados tectónicamente por encima de las secuencias de rocas pertenecientes al antiguo arco de islas volcánicas del Cretácico en el Maastrichtiano-Campaniano (Iturralde Vinent et al. 2006). Petrológicamente este sector se caracteriza por la presencia de dunitas, harzburgitas, lherzolitas, peridotitas ricas en plagioclasa, serpentinitas, esquistos antigóríticos, esquistos cloríticos, rocas anfibolitizadas y diques de trondhjemitas. Encima de estas litologías se desarrollan diferentes espesores de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas las cuales ocupan una gran extensión superficial del área estudiada.

En muchos afloramientos aparecen abundantes fragmentos de cuarzo criptocristalino relacionados con lineaciones tectónicas, estos materiales están relacionados con eventos hidrotermales de baja temperatura posteriores al emplazamiento de los mantos ofiolíticos.



**Figura 6:** Fotografía del mapa geológico del área de estudio, escala original 1:3500.

### **1.2.8 Tectónica del área de estudio.**

El sector Camarioca Sur se encuentra en el límite occidental de un bloque de máximo ascenso tectónico, el cual es afectado por estructuras disyuntivas de diferentes períodos de la evolución geotectónica, lo que determina el alto grado de complejidad del mismo. Las fallas más antiguas se 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 ocurrió en el Eoceno Medio. Otros investigadores consideran que este proceso sólo se alcanzó hasta el Paleoceno Inferior (Tomado de Valdés Y. 2015).

Desde el punto de vista estructural, las mediciones realizadas en los sistemas de grietas son escasos y la dirección predominante es: NW–SE (Ver Figura 7), las zonas de fallas se identifican, por la presencia de sílice rellenando los sistemas de grietas, se estableció la relación entre las serpentinitas antigoritizadas y las manifestaciones de sílice.

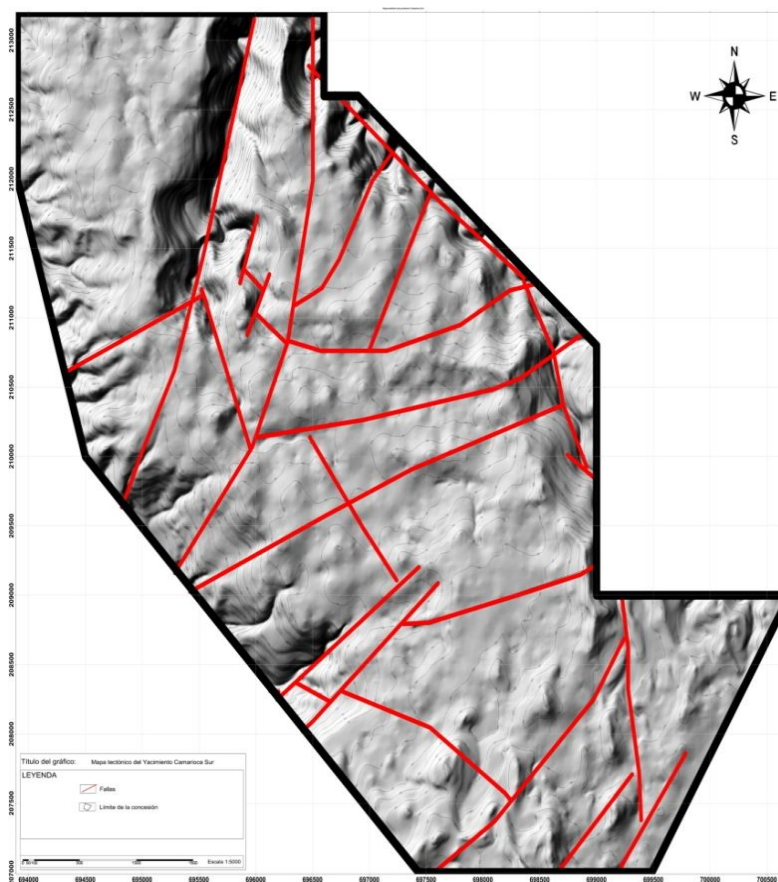


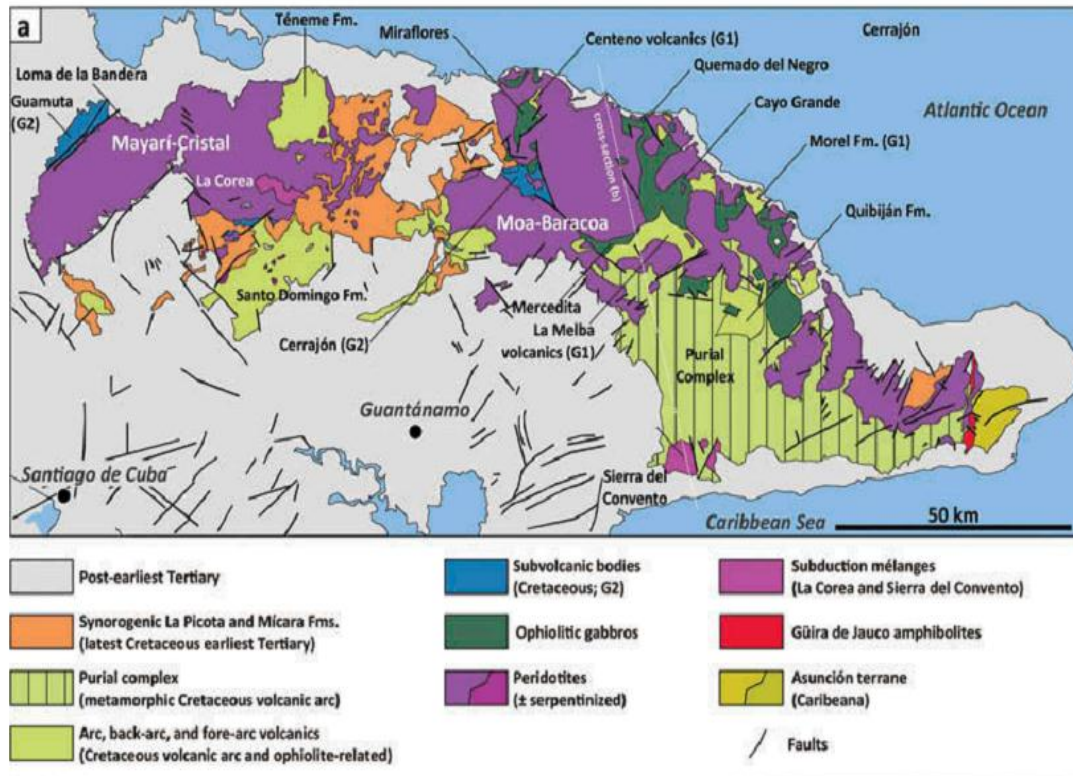
Figura 7: Fotografía del mapa tectónico del sector Camarioca Sur.

### 1.3 Características geológicas regionales

#### 1.3.1 Estratigrafía

El área de estudio se encuentra dentro de la región oriental de Cuba, la cual desde el punto de vista geológico se caracteriza por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del Neoaútctono. (Ver Figura 8). En el macizo montañoso Sagua-Moa afloran principalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales y a los arcos de islas volcánicas del Cretácico y el Paleógeno (Tomado de Valdés Y. 2015).





**Figura 8:** Fotografía del Mapa geológico (Tomado de Valdés Y. 2015).

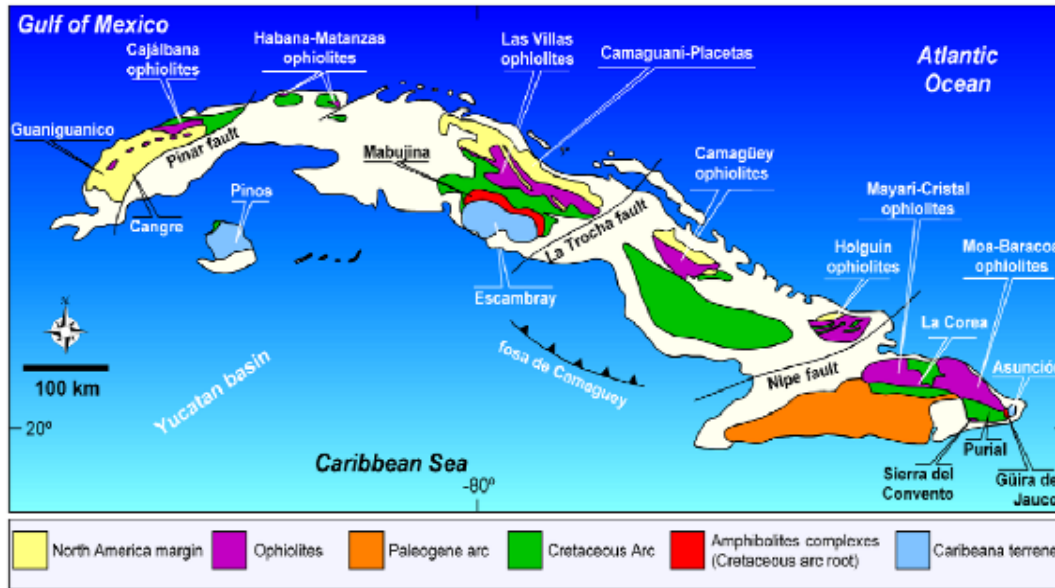
A continuación se hace una breve descripción de las principales unidades estructuro-formacionales mencionadas anteriormente.

### Ofiolitas Septentrionales

Estas rocas afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad septentrional de la isla de Cuba a lo largo de una franja discontinua de más de 1000 km de largo y hasta 30 km de ancho, entre la localidad de Cajálbana al oeste y Baracoa al E, ocupando una extensión areal superior a los 6500 km<sup>2</sup> (Figura 9). Desde el piso hasta el techo estos complejos rocosos se encuentran divididos estratigráficamente en las siguientes zonas fundamentales: a) una zona de harzburgitas con textura de tectonitas; b) una zona de harzburgita que contiene principalmente cuerpos de dunitas, peridotitas “impregnadas” (con plagioclasa y clinopiroxeno), sills y diques de gabros y pegmatoides garroticos, así como cuerpos de cromititas. Esta zona correspondería a la denominada Zona de Transición de Moho (MTZ-siglas en inglés); c) una zona de gabros, y d) el complejo



volcando-sedimentario. La zona correspondiente al complejo de diques paralelos de diabasas aún no ha sido identificada en este macizo. (Tomado de Valdés Y. 2015).



**Figura 9:** Fotografía del mapa esquemático que muestra la extensión superficial del Cinturón ofiolítico cubano. Blanco-Quintero, 2010.

El Complejo Peridotítico (tectonitas), se caracteriza por presentar harzburgitas, en menor grado websteritas y lherzolitas, con bolsones aislados de dunitas, todas serpentinizadas. 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 (Tomado de Fernández L. 2011). 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 isótropa. En este macizo también existen numerosos cuerpos de cromititas y sills de gabros, así como diques de gabros y de pegmatoides garroticos (Tomado de Valdés Y. 2015). 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, 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, 1998).

El complejo de diques paralelos de diabasas no ha sido reconocido en todo el complejo ofiolítico 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).

### **ARCO DE ISLAS VOLCÁNICAS DEL CRETÁCICO (PALEOARCO)**

El arco se compone de depósitos volcánicos 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, 1996), el basamento del arco volcánico 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, Téneme, Santo Domingo y el Complejo Cerrajón.

**La Fm Quibiján** según Quintas (1989), se puede dividir en tres secuencias: inferior, media y superior. La secuencia inferior tiene un espesor de 550 m y está compuesta por basaltos, la media es parecida a la inferior, pero predominan las lavas-brechas y las tobas lapilíticas de grano grueso a fino, litoclásticas y litocristaloclasticas con estratificación gradacional y laminar. La secuencia superior no está bien aflorada y las rocas se presentan con agrietamientos intensos y metamorizadas, aunque se puede observar diversos mantos de lavas basálticas microfaneríticas porfiríticas, a veces amigdaloidales con algunas intercalaciones andesito-basálticas porfiríticas de color verde oscuro.

**La Fm. Téneme** (Cretácico Superior-Inferior), se encuentra en las cuencas de los ríos, Carbónico y Téneme y en la región de Moa. Está compuesta principalmente por flujos de basaltos, andesitas basálticas, tobas y brechas y en menor medida dacitas, cabalgadas por rocas ultramáficas serpentinizadas (Proenza et al. 2006). Las rocas volcánicas están cortadas por pequeños cuerpos de cuarzo-diorita intrusivas de  $89,70 \pm 0,50$  Ma (en Río Grande). La composición química de las rocas volcánicas indica una afinidad geoquímica que varía entre toleítas de arco pobres en Ti y boninitas (Proenza et al. 2006).

**La Fm. Santo Domingo** (Albiense -Turonense) está compuesta por tobas y lavabrechas andesíticas, dacitas, tufitas, argilitas, lutitas volcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Tomado de Valdés Y. 2015), se incluyen en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo, que afloran en la localidad de Centeno. Aflora además hacia la parte centro occidental (al N y S de la Sierra Cristal), en la parte alta de la cuenca del río Sagua y en la región de Farallones-Calentura. Los materiales de la Fm. Santo Domingo se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas de la Faja Mayarí-Baracoa. Muchas veces los contactos coinciden con zonas que presentan una

mezcla de bloques de vulcanitas pertenecientes al arco y de ofiolitas (Iturralde-Vinent, 1996).

**El complejo Cerrajón** (Aptiense-Turonense) está compuesto por diques subparalelos de diabasas y gabrodiabasas (Tomado de Valdés Y. 2015). La actividad volcánica se extendió desde el Aptiense al Campaniense Medio (Iturralde-Vinent, 1996). Restos de este basamento ofiolítico del arco afloran actualmente y están representados por las anfibolitas de la Formación Güira de Jauco, al sur de la región de estudio (Iturralde-Vinent, 1996).

En la zona de contacto de estas rocas cretácicas con las ofiolitas, las mismas se encuentran deformadas, generalmente trituradas hasta brechas. En ocasiones los contactos coinciden con zonas muy fisuradas y foliadas, o con masas caóticas que contienen mezcla de bloques de ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Tomado de Valdés Y. 2015).

### **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. La secuencia inferior es de tipo molásica y la superior de tipo flysch. El límite inferior no se ha observado, pero se supone discordante sobre la formación Santo Domingo (Tomado de Valdés Y. 2015).

**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. De acuerdo a las características de esta formación se estima que la misma se acumuló a finales del Cretácico e incluso en el Paleoceno inicial, asociada al emplazamiento de las ofiolitas,

que constituyeron su principal fuente de suministro. Aflora en los flancos meridionales de la Sierra del Cristal, cuenca de Sagua de Tánamo, la base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

**La Formación Gran Tierra**, se compone de calizas brechosas, conglomerados volcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas órgano-detríticas, areniscas volcanomícticas con cemento calcáreo, lutitas y tufitas (Tomado de Valdés Y. 2015). En algunas localidades los depósitos Maestrichtiense-Daniense de tipo olistostrómico-flyschoide (formaciones Mícara y La Picota) transicionan a la secuencia del Daniense-Eoceno Superior (formaciones Gran Tierra, Sabaneta, Charco Redondo y San Luis) (Tomado de Valdés Y. 2015). La formación Gran Tierra es una secuencia terrígeno-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la Sierra Cristal. En las rocas arcillosas y margosas de esta formación se han registrado los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

En consecuencia, estas formaciones constituyen un registro temporal del proceso de emplazamiento tectónico (obducción) de las ofiolitas, el cual estuvo enmarcado en el tiempo de desarrollo de estas cuencas.

### **ARCO VOLCÁNICO (ARCO 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) (Tomado de Valdés Y. 2015) 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 (Tomado de Valdés Y. 2015). Esta formación

aflora en los flancos septentrional y meridional de la Sierra Cristal, en la cuenca de Sagua de Tánamo, en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey.

## **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 Puerto Boniato, Charco Redondo, Sagua, Sierra de Capiro, Cilindro, Mucaral, y Maquey.

**La Fm. Puerto Boniato** (Eoceno Medio), se compone principalmente de calizas organodetríticas, aporcelanadas, algáceas y margas (Nagy y otros, 1976).

**La Fm. Sagua** está compuesta por margas y calizas (Quintas, 1989).

**La Fm. Charco Redondo** (Eoceno Medio) está compuesta por calizas compactas organodetríticas, fosilíferas, de color variable. En la parte inferior del corte son frecuentes las brechas. En esta parte predomina la estratificación gruesa, mientras que en la superior la fina (Tomado de Valdés Y. 2015).

**La Fm. Sierra de Capiro** pertenece al Eoceno Superior y se compone de lutitas y margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas (Tomado de Valdés Y. 2015). Aflora en la región de Yamanigüey formando una franja a lo largo de toda la costa.

**La Fm. Cilindro**, perteneciente al Eoceno Medio-Superior se conforma de conglomerados polimícticos con estratificación enticular y a veces cruzadas, débilmente cementada con lentes de areniscas que contienen lignito. La matriz es arenítica polimíctica, conteniendo carbonato (Tomado de Valdés Y. 2015).

**La Fm. Mucaral** de edad Eoceno Medio-Oligoceno Inferior está compuesta por margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, lutitas y tobas (Quintas, 1989).

**La Fm. Maquey** de edad Oligoceno-Mioceno Inferior está compuesta fundamentalmente por alternancia de lutitas, areniscas, arcillas calcáreas y espesor variable de calizas biodetríticas (Tomado de Valdés Y. 2015).

## **NEOAUTÓCTONO**

El "Neautóctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Las rocas del Neautóctono 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 monoclinal suave u horizontal (Quintas 1989; Iturralde-Vinent, 1994, 1996). Son representativas de esta secuencia las formaciones Cabacú, Yateras, Jagüeyes, Majimiana, Júcaro, Río Maya y Jaimanitas.

**La Fm. Cabacú** (Oligoceno Medio-Mioceno Inferior) está compuesta por gravelitas, areniscas y lutitas polimícticas (proveniente principalmente de ultramafitas y vulcanitas) de cemento débilmente arcilloso-calcáreo y a veces algunos lentes de margas arcillosas en la parte inferior (Quintas, 1989).

**La Fm. Yateras** (Mioceno Inferior) se compone de alternancia de calizas biodetríticas y detríticas y calizas biogénicas de granos finos a gruesos, duras, de porosidad variable y a veces aporcelanadas (Tomado de Valdés Y. 2015).

**La Fm. Jagüeyes** (Mioceno Medio Temprano) se compone de lutitas, areniscas, gravelitas polimícticas de matriz arenácea y arcillosa, con escaso cemento carbonático y margas arcillosas y arenáceas. Esta formación se caracteriza por ser fosilífera, en la cual alternan calizas biodetríticas, biohémicas, calcarenitas y arcillas. Las arcillas y lutitas, pueden ser yesíferas (Tomado de Valdés Y. 2015).

**La Fm. Júcaro** (Mioceno Superior-Plioceno) está compuesta por calizas generalmente arcillosas, calcarenitas, margas, lutitas, a veces con gravas polimícticas y arcillas yesíferas (Nagy y otros 1976). Esta formación aflora por toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

**La Formación Majimiana** está constituida por calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de esta formación, presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, conteniendo una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asignarle una edad Oligoceno Superior hasta el Mioceno, aflora en la región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa. Se presenta en forma de franja paralela al litoral, con un relieve poco accidentado representado por pequeñas colinas onduladas de poca pendiente.

**La Fm. Río Maya** (Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior) se conforma de calizas biohémicas algáceas y coralinas muy duras, de matriz micrítica, frecuentemente aporcelanadas, conteniendo corales en posición de crecimiento, así como subordinadamente moldes y valvas de moluscos, todas muy recristalizadas, las calizas frecuentemente están dolomitizadas. El contenido de arcillas, es muy variable. (Nagy y otros, 1976).

**La Fm. Jaimanitas** (Pleistoceno Medio-Superior) se compone de calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas, contiene conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermas (Tomado de Valdés Y. 2015).

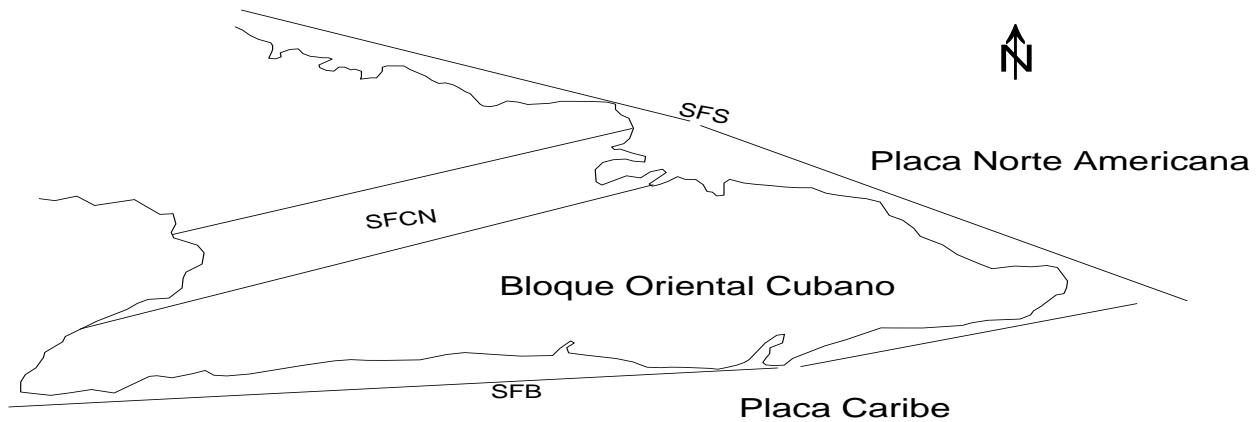
### **1.3.2 Tectónica regional**

Desde el punto de vista tectónico, el área analizada se ubica dentro del denominado Bloque Oriental Cubano, el mismo constituye el más oriental de los tres grandes bloques tectónicos en que ha sido subdividida la estructura geológica del territorio cubano (Ver Figura 10). Sus límites se encuentran definidos por los siguientes sistemas de fallas regionales:

- Sistema de fallas Cauto-Nipe.
- Sistema de fallas rumbo-deslizantes Bartlett-Caimán.



- Falla de sobrecorrimiento Sabana

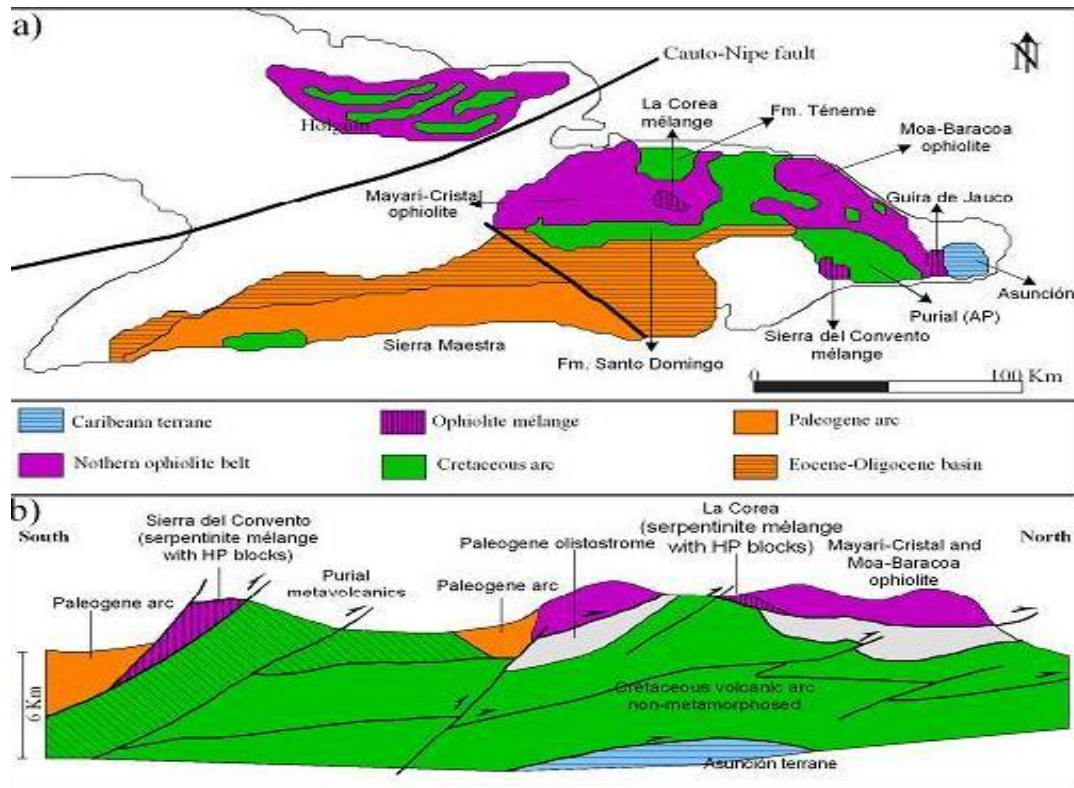


**Figura 10:** Foto del mapa esquemático del Bloque Oriental Cubano. Nombre de los Sistemas de Fallas: SFS, Sistema de Falla Sabana; SFB, Sistema de falla Bartlett; SFCN, Sistema de Fallas Cauto-Nipe. (Tomado de Petrus R. 2012).

En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad Mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: NE-SW; NW-SE y N-S, 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 1983, 1990). A fines del Campaniano Superior – Maestrichtiano 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 E-W, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinas u horizontal (Campos 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 N y NE, que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.(Figura 11).



**Figura 11:** a) Foto de mapa geológico esquemático que muestra las principales unidades geológicas, de Cuba Oriental, mostrando su relación con las ofiolitas. b) Corte generalizado de Cuba Oriental. Tomado de (Blanco-Quintero 2010).

### 1.3.3 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 NE de Cuba oriental forman parte del cinturón ofiolítico que se encuentra emplazado en la porción N del territorio cubano. 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)

En Cuba, las rocas tectónicas ultramáficas y cúmulos ultramáficos, serpentizados en diferente grado, hasta llegar a serpentinitas, así como los gabros bandeados e isotrópicos del nivel de cumulos máficos, constituyen los niveles de mayor desarrollo de la asociación ofiolítica (tectonitas o ultramafitas metamorfizadas, zona de transición manto-corteza oceánica que incluye los cúmulos ultramáficos y cúmulos máficos).

Estos niveles ocurren en escamas imbricadas con rocas de los niveles de diabasas y efusivo-sedimentario de las ofiolitas y vulcanitas del Arco Volcánico del Cretácico, formando parte del melange ofiolítico que se distribuye en el cinturón septentrional cubano y subordinadamente, desmembradas, a veces metamorfizadas y mezcladas entre otros complejos rocosos (Guaniguanico, Escambray, Güira de Jauco y Mabujina).

Las rocas ultramáficas son clasificadas de acuerdo a su contenido de minerales máficos, los cuales consisten en olivino, ortopiroxeno, clinopiroxeno, hornblenda, algunas veces biotita, granate y usualmente pequeñas cantidades de espinelas. En el caso de Cuba, teniendo en cuenta además lo sugerido en el párrafo anterior, las ultramafitas descritas hasta el presente han sido clasificadas según el diagrama de Streckeisen (1973) para rocas compuestas esencialmente por olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno.

Así, entre los tipos de ultramafitas, en Cuba se distinguen peridotitas, piroxenitas, peridotitas y piroxenitas con plagioclasa.

Las peridotitas, que aunque están serpentinizadas, son posibles diferenciarlas entre los principales tipos según Streckeisen (1973), serán subdivididas en: dunita, dunita enstatítica (si el piroxeno presente, hasta un 10 % es enstatita), harzburgita, harzburgita clinopiroxénica (si el clinopiroxeno está presente en rango de 1 a 10 %),

lherzolita, wherlitas y wherlitas plagioclásica (cuando la plagioclasa aparece como fase intercumular y puede llegar hasta un 15 %).

La piroxenitas son subdivididas en ortopiroxenitas, websteritas y clinopiroxenitas. Las rocas ultramáficas que contienen granate y espinela deben ser clasificadas en la siguiente forma: si el granate o la espinela está presente en menos del 5 % se usa el término peridotitas contenedoras de granate y dunita contenedora de cromita, etc. No obstante, en muchas ocasiones, la espinela ocurre en el porcentaje indicado y se ha hecho alusión a su presencia solo en el texto descriptivo de la roca y no en su denominación o nombre. Si el contenido de estas fases minerales supera el 5 % se usan los términos peridotitas granatíferas y dunita cromítica, etc. En Cuba, el segundo término es el usado en algunos casos.

Las Ofiolitas del cinturón septentrional son las de mayor desarrollo y afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad norte de la Isla de Cuba, desde Cajálbana al oeste, hasta Baracoa al E, formando un cinturón con una extensión de más de 1000 km de longitud y con un ancho de hasta 30 km. Forman mantos tabulares, donde las rocas están intensamente deformadas y pueden alcanzar hasta 6 km de espesor (Iturralde-Vinent, 1996).

Las Ofiolitas anfibolitizadas (Complejos Mabujina, Güira de Jauco, Formación Yayabo, etc.) se consideran como parte de la corteza oceánica infrayacente al arco volcánico cretácico (Tomado de Valdés Y. 2015). La edad de esta corteza tiene que ser anterior a la del arco (pre Aptiano-Albiano), es decir, Jurásico o más antigua.

Sobre la edad de las ofiolitas existen escasos datos. Solo algunas determinaciones bioestratigráficas han sido realizadas. Así, sobre la edad de los niveles inferiores que constituyen el llamado fundamento melanocrático propuesto por Iturralde-Vinent (1996), que abarca los niveles de tectonitas, transicional y cumulativo, aún no existen datos convincentes.

El emplazamiento de las ofiolitas propició el desmembramiento de sus unidades oceánicas, las que aparecen imbricadas tectónicamente entre sí o con rocas del arco volcánico cretácico y sedimentos del Campaniano al Eoceno.

Sobre el ambiente tectónico que originó las ofiolitas, han sido postulados diversos criterios; pero en los últimos diez años se ha sustentado fundamentalmente un origen

en un mar marginal–cuenca de retroarco (Iturralde-Vinent, 1996). Sin embargo, la presencia de efusivos con particularidades geoquímicas de toleítas intraplacas ha sido además reportada en ofiolitas septentrionales de la región de Matanzas (Tomado de Valdés Y. 2015).

Haciendo una generalización de la información petrólogo-geoquímica de las ofiolitas en Cuba (las del melange septentrional, las emplazadas en los terrenos suboccidentales y las anfibolizadas), es admisible suponer, de acuerdo con los limitados datos geocronológicos y discriminantes de ambiente tectónico, así como teniendo en cuenta la complicada estructura tectónica en que yacen los niveles ofiolíticos, la existencia de al menos dos tipos de ofiolitas, de acuerdo al ambiente geodinámico en el cual estas pudieron evolucionar: a) ofiolitas de zona de suprasubducción (cuenca de retroarco, o cuenca frontal de arco o litosfera oceánica prearco), b) ofiolitas intraplacas, cuya procedencia Protocaribeña, Caribeña o Pacífica aún no está esclarecida.

A través del mapeo geológico a diferentes escalas y del estudio petrológico y geoquímico, se ha revelado la presencia de los niveles oceánicos que constituyen una asociación ofiolítica, de muro a techo: tectonitas o ultramafitas metamorizadas o tectónicas; cumulos ultramáficos y máficos, diabasas del nivel de diques paralelos y nivel volcánico-sedimentario.

Es importante destacar la presencia de la zona de transición manto-corteza oceánico, la que ha sido revelada por varios autores en diferentes regiones, entre las ofiolitas del Cinturón Septentrional Cubano (Tomado de Valdés Y. 2015). Al respecto, aún son muy pocos los estudios realizados y permanecen algunos aspectos polémicos en cuanto a su ubicación en el corte ofiolítico en Cuba, atendiendo a lo propuesto por los investigadores citados y a las consideraciones actuales en este sentido (Tomado de Valdés Y. 2015).

En la composición de las ultramafitas en Cuba, un papel hegemónico lo tienen las harzburgitas serpentinizadas y serpentinitas harzburgíticas. Subordinadamente ocurren lherzolitas plagioclásicas y ortopiroxenitas. Ocurren también diques de gabros, rodingitas y pórfidos andesito-dacíticos. Entre las rocas ultramáficas que constituyen el nivel cumulativo ultramáfico, aparecen principalmente lherzolitas y lherzolitas

plagioclásicas, wherlitas y wherlitas plagioclásicas, clinopiroxenitas y clinopiroxenitas plagioclásicas y ortopiroxenitas.

Entre los tipos de rocas máficas (gabróicas) descritas en Cuba se destacan los gabros normales, gabros olivínicos, gabros anfibólicos, gabros anfibolizados y troctolitas. Las harzburgitas serpentinizadas y serpentinitas harzburgíticas son los tipos ultramáficos predominantes en Cuba. Macroscópicamente son de color verde pálido, verde azulado y de aspecto resinoso. Las primeras se diferencian de las segundas por ser más serpentinizadas, en las que se conservan relictos de ortopiroxeno y olivino. Las serpentinitas harzburgíticas presentan una textura reticular-fibrosa y hojosa, más acentuada.

En el complejo, existe un predominio de las litologías ultramáficas, entre ellas se encuentran, en primer lugar harzburgitas y 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, 2004).

Las ultramafitas se caracterizan por poseer un bajo contenido de  $\text{SiO}_2$  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 –  $(\text{Mg, Ni, Mn, Co, Fe})_2 \text{SiO}_4$  (Tomado de Petrus R. 2012).

### 1.3.4 Composición de la MTZ en el macizo Moa-Baracoa

1. Las harzburgitas presentan texturas típicas de tectonitas en las que se pueden observar porfiroclastos de enstatita a veces con evidentes signos de deformación (extensión ondulada y kink -bands), con bordes de grano cóncavo-convexos, incluidos en una matriz recristalizada en la que los cristales de olivino pueden llegar a tener tamaño milimétrico. Este tipo de texturas indica que la formación de olivino tuvo lugar a partir del ortopiroxeno mediante reacciones entre la matriz peridotítica y un fundido basáltico intergranular. (Tomado de Fernández L., 2011)
2. Las dunitas, especialmente las existentes envolviendo los cuerpos de cromititas, presentan mayor tamaño de grano que la harzburgitas y texturas granoblásticas no deformadas, lo que pone de manifiesto la existencia de un intenso proceso de recristalización post deformación, probablemente asociada a la reacción peridotita/magma.
3. Las cromititas accesorias en las peridotitas exhiben una morfología vermicular y, en menor medida subidiomorfa en las harzburgitas. Por el contrario, en las dunitas predominan las morfologías euhédricas o redondeadas sobre los vermiculares. Este hecho sugiere que, en las dunitas, la cromita está igualmente recristalizada.
4. En las peridotitas “impregnadas” de plagioclasa y de piroxenos el olivino presenta evidencias de deformación, mientras que el clinopiroxeno no. Estas rocas evolucionan lateralmente, por aumento de las proporciones modales de clinopiroxeno y plagioclasas, a sills de troctolitas. (Tomado de Fernández L., 2011)
5. Existe un gran desarrollo de sills de gabros, los cuales pueden estar incluidos en cromititas.
6. Se observan variaciones mínimas en el contenido de Fe del olivino en los diferentes tipos de litologías ultramáficas, lo que cuestiona la incidencia de la fusión parcial como mecanismo responsable de la deformación de las rocas refractarias.



7. El número del Mg en el olivino se correlaciona positivamente con el porcentaje de  $TiO_2$  de la cromita asociada coexistente con las dunitas y las harzburgitas, y negativamente con el número del Cr de dichas cromitas asociadas. Tales variaciones químicas no son explicables mediante procesos de fusión parcial o cristalización fracturada. En cambio, son compatibles con un origen residual de estas rocas mantélicas, debido a procesos de reacción de las peridotitas con fundidos intergranulares que circulan a través de estas mediante flujo poroso. (Tomado de Fernández L., 2011)
8. El número del Cr en la cromita accesoria varía, en la mayor parte de las harzburgitas, en las dunitas, en las peridotitas “impregnadas” y en los sills de gabros dentro de un margen estrecho (entre 0,45-0,65 %).
9. El patrón de REE, normalizado a condritos, de las harzburgitas y dunitas no puede ser explicado exclusivamente por un proceso de fusión parcial y ha sido interpretado como producto de metasomatismo mantélico enriquecimiento cromatológico en fundidos percolantes de elementos incompatibles, asociados a interacción (reacción fundido/roca).

Dadas las características texturales de las harzburgitas de la MTZ en el macizo Moa-Baracoa, descritas anteriormente, sugieren que las harzburgitas se pueden haber formado por interacción entre un magma ascendente circulando mediante flujo poroso y las rocas del manto.

Las características texturales de las rocas presentes en la MTZ del Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa ponen de manifiesto la actuación de procesos de percolación/reacción de fundidos ascendentes.

Las variaciones químicas entre el olivino y la cromita, así como las contenidas en REE presentes en las harzburgitas y dunitas de la MTZ en el macizo Moa-Baracoa son compatibles con un origen “residual” de estas rocas mantélicas, debido a procesos de reacción de las peridotitas con fundidos intergranulares que circulan a través de estas mediante flujo poroso.

La MTZ es una zona de importante interacción entre magmas ascendentes y las rocas del manto. 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. (Tomado de Valdés Y. 2015).

### **1.3.5 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 ferroniquelífera 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. (Muñoz, J. N., et al., 2007).

#### **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:

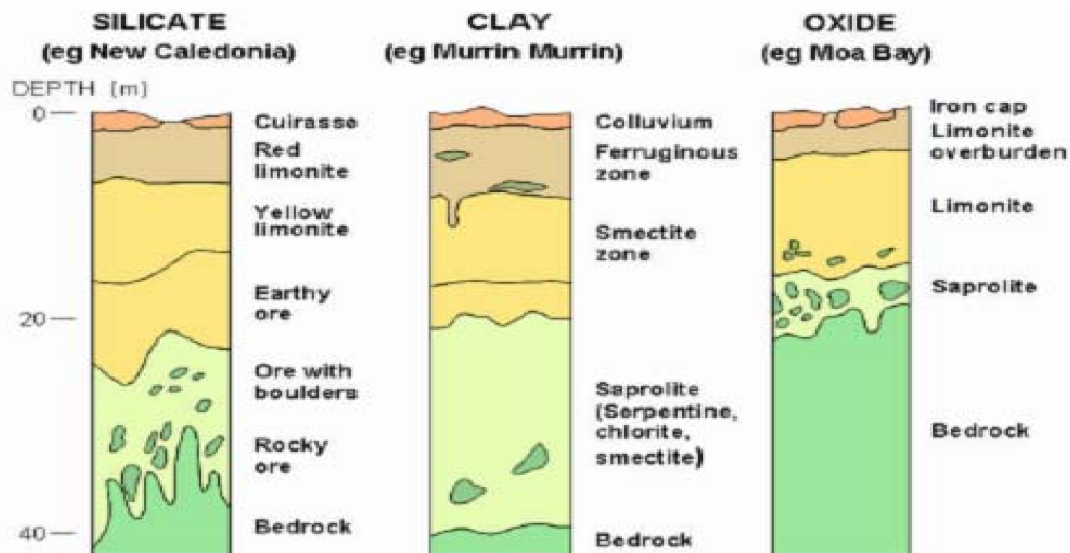
- a) Desintegración de la molécula del olivino y ortopiroxenos
- b) Fase de formación de óxidos e hidróxidos
- c) Fase de formación de silicatos de níquel

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

### 1.3.6 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 (figura 12):

- Perfil de lateritas oxidadas
- Perfil de lateritas arcillosas
- Perfil de lateritas silicatadas (Tomado de Muñoz, et al. 2009)



**Figura 12:** Esquema comparativo de los principales tipos de perfiles lateríticos (Tomado de Muñoz, et al. 2009)

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, et al. 2014)

## CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

2.1 Introducción

2.2 Etapa preliminar

2.3 Procesamiento de la información

2.4 Interpretación de los resultados

### **2.1 Introducción**

El presente capítulo abarca los trabajos proyectados para las diferentes etapas de la investigación (búsqueda bibliográfica, interpretación de los resultados y procesamiento de la información). Además recoge algunos métodos de análisis que ayudan a la interpretación de los datos obtenidos para hacer una correcta selección de las áreas perspectivas, que en un futuro pasarán a etapas posteriores de prospección y exploración geológica. Se dividió el trabajo en tres etapas fundamentales:

Etapa I: Búsqueda bibliográfica.

Etapa II: Procesamiento de la información.

Etapa III: Interpretación de los resultados.



**Figura 13:** Flujograma de la investigación.

## 2.2 Etapa preliminar

Durante esta primera etapa de la investigación, se hizo una búsqueda de información bibliográfica, mediante la revisión de una serie de artículos científicos, trabajos de diploma, tesis de maestría, doctorados y otros documentos relacionados con la evolución geológica de Cuba oriental y del complejo ofiolítico.

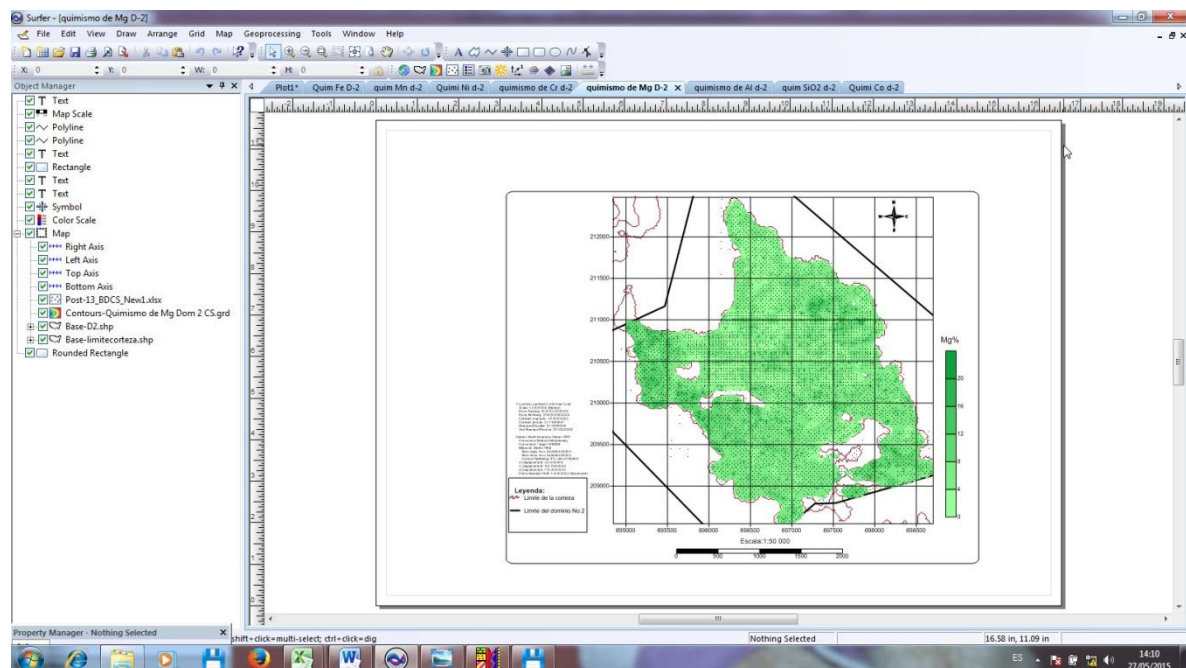
Para ello se utilizó la base de datos del Centro de información del ISMM, así como información suministrada por el Fondo Geológico y sitios web de internet

especializados en el tema. Luego de haber desarrollado la búsqueda bibliográfica de dicha información, se comenzó a procesar e interpretar los datos obtenidos previamente para posteriormente ser llevados a formato digital como parte de la memoria escrita del trabajo y también como documentos gráficos incluidos.

### **2.3 Procesamiento de la información**

En esta etapa se llevó a cabo el procesamiento de toda la información primaria obtenida en el campo y brindada por la Empresa Moa Níquel S. A. Sobre la base de estos datos fueron confeccionados los mapas de contenidos en la corteza total de los elementos Ni, Co, Fe, Mg, Al, Cr, Mn y SiO<sub>2</sub>, también se generaron los gráficos que muestran el comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad, para las zonas con valores anómalos, para ello se utilizaron coeficientes para obtener mayor representatividad del Cr, Mn, Ni, Cr. Para la confección de los mapas de contenidos se utilizó el promedio de los valores de los elementos químicos, así como todas las redes de perforación realizadas en el yacimiento. Además se trabajó con los perfiles geológicos de los pozos del basamento con mayor y menor contenido de los elementos analizados que se ubican en el área. Para desarrollar el procesamiento de esta información se emplearon fundamentalmente programas especializados como: Surfer 12, LogPlot 2003, Microsoft Access 2010 y Microsoft Excel 2010.

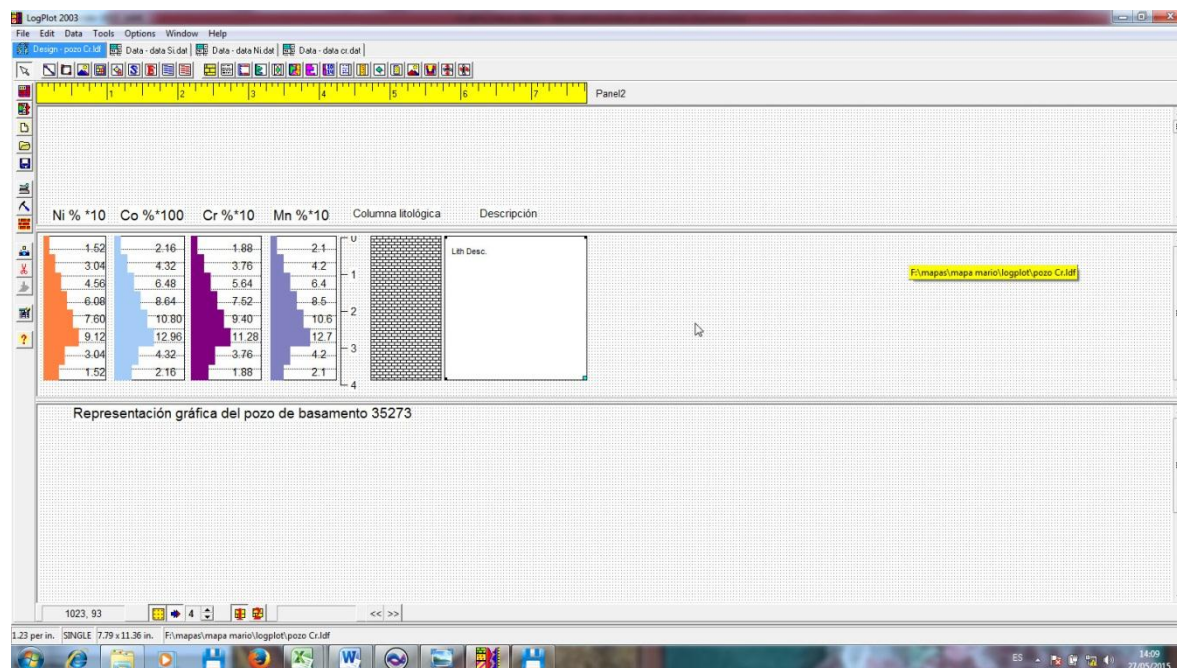
En la figura 14 se muestra el software Surfer12 con el cual se generaron los mapas de contenidos, en ellos se puede observar el comportamiento de los contenidos de los diferentes elementos analizados, es decir, los valores más predominantes, así como también los menos frecuentes en el área. Se observa además los sectores del yacimiento donde las concentraciones de los elementos son más abundantes, así como las zonas donde son escasos los valores del elemento analizado. Este software brinda la posibilidad de resaltar en colores, con un número asignado en %, las zonas con valores anómalos.



**Figura 14:** Foto del software (Surfer 12) utilizado en la confección de los mapas de contenidos para la corteza total.

Para la elaboración de la representación gráfica vertical de los pozos que muestran el comportamiento geoquímico en profundidad de los componentes útiles y nocivos en el dominio geológico No.2 del yacimiento Camarioca Sur, se utilizó el LogPlot 2003 el cual permite hacer una representación gráfica en profundidad de la concentración de los elementos que se desea analizar, mediante histogramas y dar una idea visual de los horizontes de la corteza representado en perfiles geológicos, además de la posibilidad de agregarle nombre y señalamientos mediante cuadros de texto, realizar una leyenda, entre otras opciones que ofrece el mismo, para ello se selecciona lo que se quiere obtener y el programa lo representa en una ventana que se crea con el nombre de logDesing, se divide en tres secciones: la parte superior donde se puede establecer un encabezado a la representación gráfica; el área en la cual se realizan todos los gráficos y perfiles es la sección central y la más importante de las tres porque es la que da una vista previa de lo que se obtiene una vez que se haya terminado de procesar la información; en la sección inferior y no menos importantes se puede trabajar de igual forma que en la parte superior, como se muestra en la figura 15.

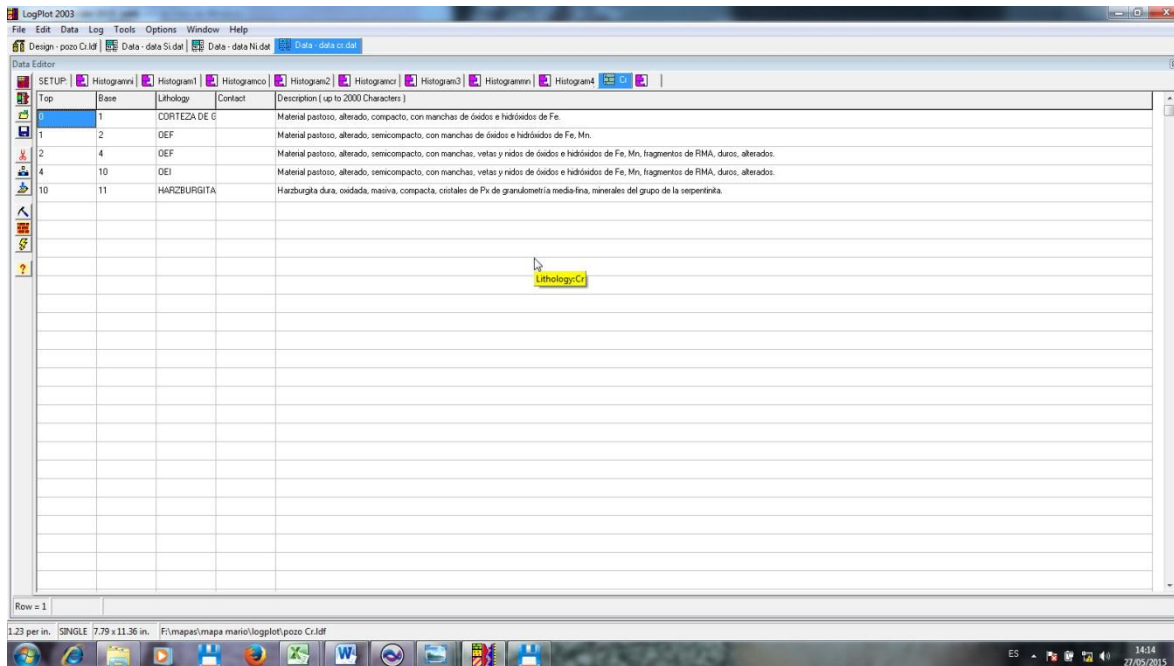




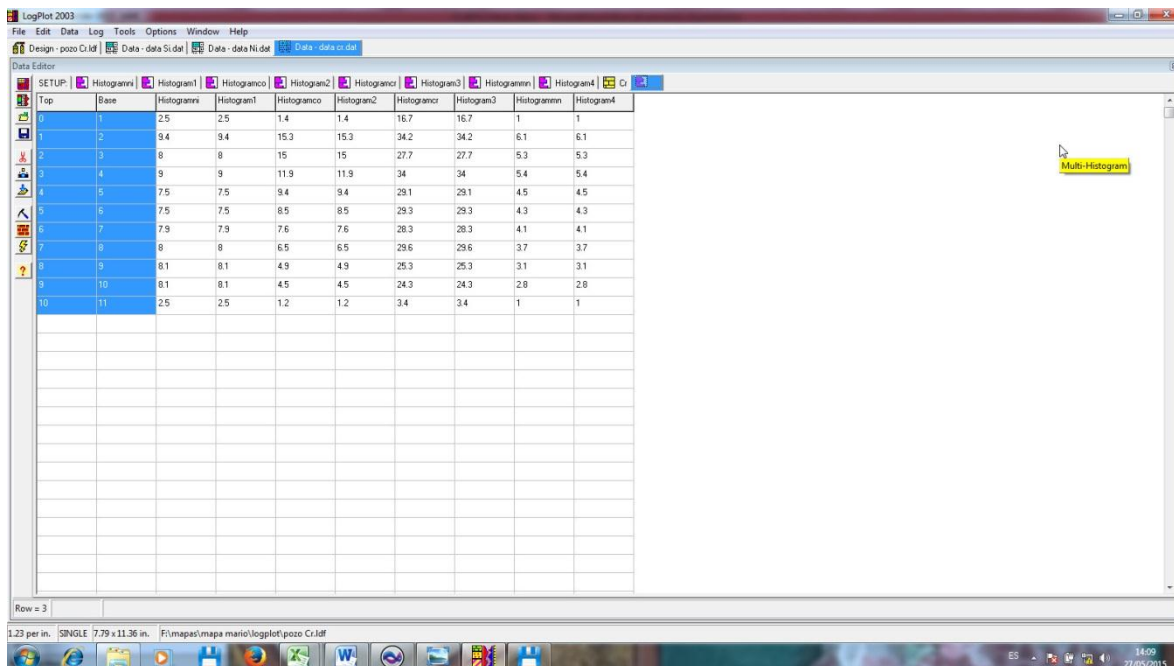
**Figura 15:** Foto del software (LogPlot 2003) especializado en la realización de gráficos verticales y comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad.

Además de logDesing en este software se crea una Data Editor, en la cual se introduce toda la información necesaria para la confección de los histogramas y los gráficos verticales de los pozos. Para la confección de los gráficos se utiliza la potencia de cada horizonte cortado por el pozo, la roca encontrada en cada horizonte para asignarle una trama que lo represente y sus respectivas descripciones. Para la confección de los histogramas se escoge la potencia de cada horizonte muestreado y el valor de la concentración de cada elemento de interés al que se le realizó análisis químico. Todos los datos utilizados son tomados de la base de datos en Microsoft Excel 2010 de dicho yacimiento. Figuras 16 y 17.





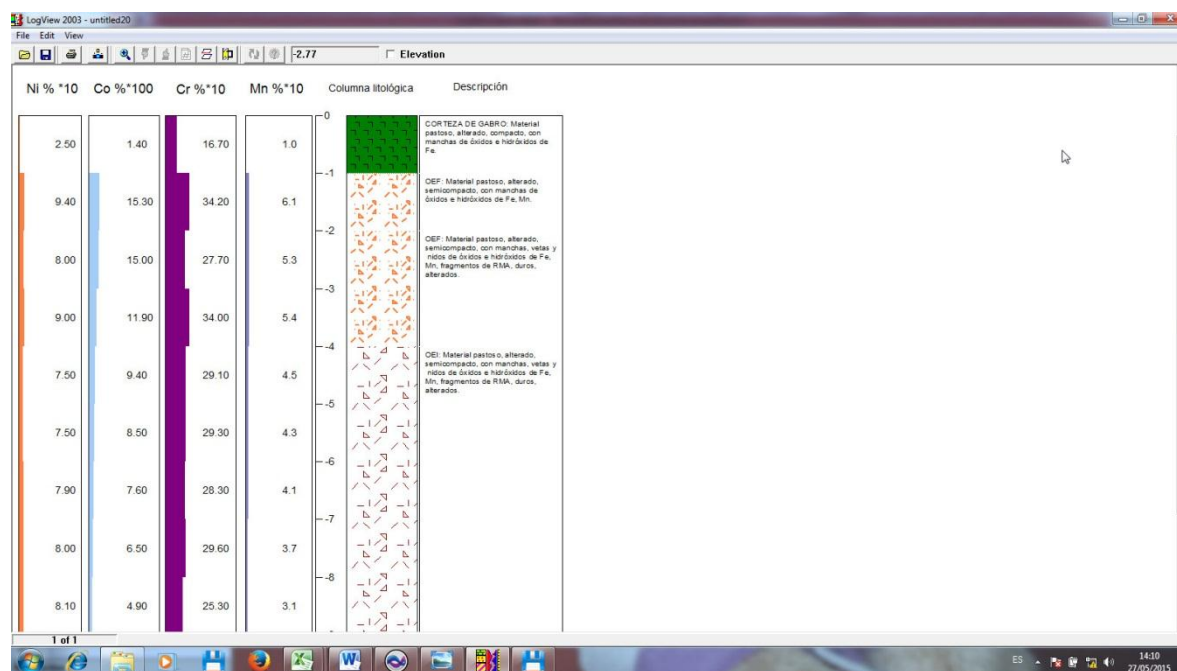
**Figura 16:** Foto del software (LogPlot 2003), representación de la Data Editor para la creación de gráficos verticales.



**Figura 17:** Foto del software (LogPlot 2003), data para la confección de los histogramas.

Después de introducir los datos en la data y el logDesing se ejecuta el programa que grafica los datos introducidos en una ventana emergente llamada LogView donde se

muestra una vista previa del gráfico, de esta forma el ejecutor puede chequear los resultados antes de guardarlo, si no están bien, se puede arreglar sin ningún contratiempo. En el gráfico ya terminado, se evidencia las variaciones de las concentraciones de los elementos en profundidad y una representación visual de la corteza cortada por el pozo como se muestra en la figura 18.



**Figura 18:** Foto del software (LogPlot 2003), vista previa de histogramas y gráfico vertical en profundidad.

## 2.4 Interpretación de los resultados.

En esta etapa se llevó a cabo para la corteza total del yacimiento la interpretación de los mapas de iso-contenidos de los elementos Ni, Fe, Co, Cr, SiO<sub>2</sub>, Mg y Al y el mapa de potencia. Se interpretaron los gráficos que muestran el comportamiento geoquímico en profundidad de los elementos útiles y nocivos, además de hacer un análisis del orden de los horizontes en el gráfico vertical del pozo y comparar los valores de concentración de los elementos que presentan con los que habitualmente deben tener, con el fin de darle explicación a cualquier anomalía existente.

## **CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES GENÉTICAS DEL DOMINIO GEOLÓGICO NO.2 DEL YACIMIENTO CAMARIOCA SUR.**

3.1 Introducción.

3.2 Caracterización de las rocas del basamento.

3.3 Características de dominio geológico No.2.

3.4 Análisis geoquímico en el área de estudio.

3.5 Comportamiento de la potencia de la corteza total en el dominio geológico No.2 yacimiento Camarioca Sur.

3.6 Representación gráfica vertical y comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad para los pozos de basamento.

### **3.1 Introducción**

En este capítulo se exponen los resultados de la investigación, se realiza la caracterización geoquímica de los componentes útiles y nocivos, a través de los mapas de iso-contenido elaborados con los valores promedios de cada elemento permitiendo así el análisis de su comportamiento en la corteza total, y se establece la relación geoquímica entre las rocas del basamento y la corteza de intemperismo en el Dominio No.2 del yacimiento Camarioca Sur a partir de la representación gráfica vertical de los pozos evaluados del basamento.

### **3.2 Caracterización de las rocas del basamento**

El basamento está constituido por las ultramafitas de la asociación ofiolítica, en mayor o menor grado serpentinizadas y serpentinitas. Las principales rocas que guardan estrecha relación con la mineralización son: harzburgitas, harzburgitas serpentinizadas, dunitas, serpentinitas y lherzolitas. Además se observan rocas alteradas (metamorfizadas?) a partir de ultramafitas. En lo referido a la alteración de las

ultramafitas se pudo comprobar que en la parte norte del yacimiento predomina la talcificación mientras que hacia el sur se incrementa la carbonatización.

Macroscópicamente 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. (Informe de los trabajos de exploración detallada para la elevación de categoría de los recursos del yacimiento Camarioca Sur, 2012).

En el informe Caracterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca Norte y Camarioca Sur, (Muñoz, et al., 2007), fueron definidos para el área del yacimiento tres dominios geológicos a partir de criterios tales como la litología predominante en el basamento, la morfología y dinámica de los procesos erosivos y meteóricos sobre las rocas y los depósitos, y las estructuras disyuntivas que afectan a las rocas.

### **3.3 Características del dominio geológico no.2.**

A continuación se describe el dominio geológico No.2, al cual se le realiza el estudio en este trabajo para establecer la relación entre la corteza de intemperismo con el basamento, a partir de las consideraciones genéticas del mismo y los horizontes generados a partir de las rocas del basamento.

#### Dominio geológico No.2

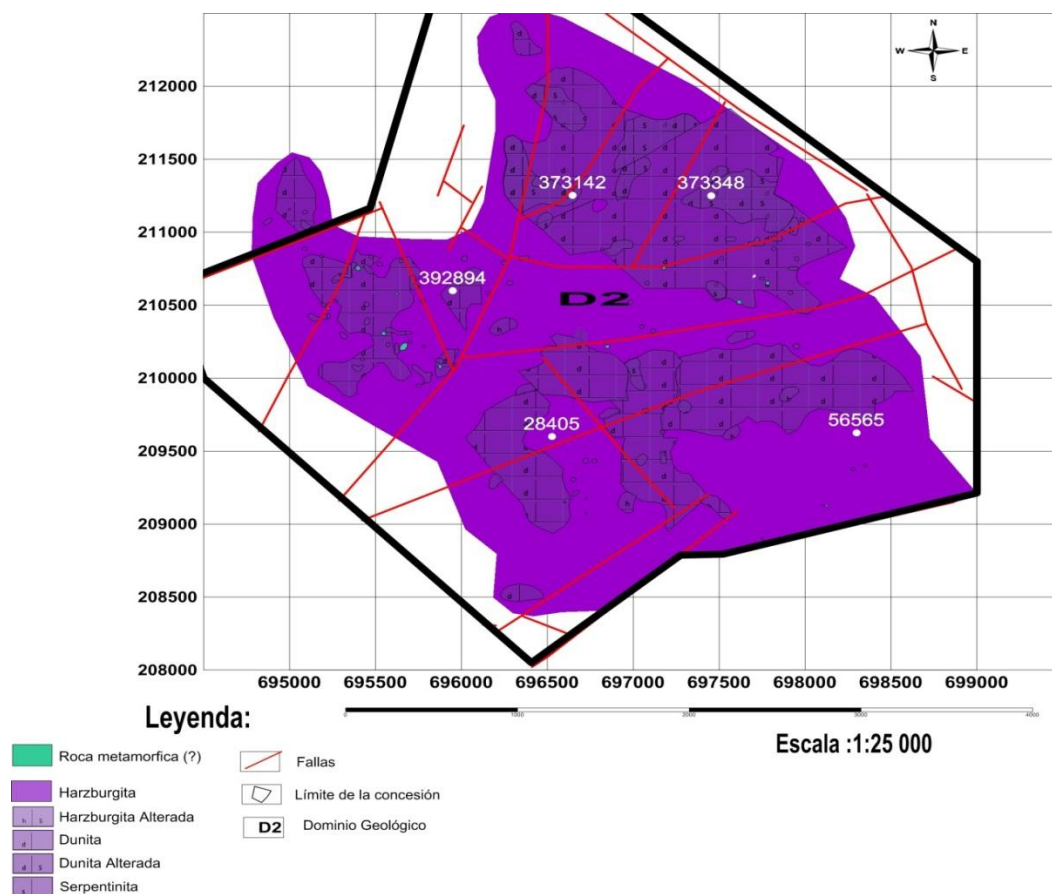
Ubicado en la parte central del yacimiento y ocupando la mayor área del mismo, muestra alturas topográficas desde los 520 hasta los 850 m. Las pendientes del terreno son variables, condicionado por la disección tectónica y fluvial del relieve. Hacia el NW y E, el dominio está limitado por barrancos de tributarios del río Arroyón, controlados tectónicamente por fallas. Hacia el S el límite, también de carácter tectónico, a través de fallas de dirección NE-E que enmarcan un escalón a través del cual se asciende a la zona más alta del yacimiento y que lo pone en contacto con el dominio geológico No.3.

Constituye el dominio con mayores recursos minerales de Ni del yacimiento. Presenta valores intermedios de Fe, Ni y Co en la corteza, en comparación con los otros dominios. La relación entre la corteza y la potencia útil en este dominio es la más elevada, al tener los mayores espesores.

Hacia la parte N-NE del dominio se presentan numerosas intercalaciones de horizontes de SB dentro de la LB, así como alteraciones de las rocas del basamento, fundamentalmente antigoritización, lo que puede alterar la calidad de la mena y la masa volumétrica.

Las características geológico tectónicas, junto con algunos elementos del relieve como las formas cársicas, en superficie o enterradas, han condicionado una alta dinámica erosiva en el dominio. (Informe de los trabajos de exploración detallada para la elevación de categoría de los recursos del yacimiento Camarioca Sur, 2012).

En la figura 19 se muestra el mapa geológico del dominio geológico No.2, donde hay predominio de corteza laterítica y las rocas están representadas por dunitas y harzburgitas en su mayoría. Existen diseminadas áreas donde se muestra la presencia de peridotitas ligeramente alteradas y de serpentinitas. Y en pequeños sectores rocas metamórficas (anfíbolitas gnéissicas y granofels anfíbolíticas). Como se puede observar en el mapa geológico están representados algunos los pozos donde hay representatividad de los valores anómalos de concentración de los elementos útiles y nocivos en la corteza de intemperismo.



**Figura 19:** Foto del mapa geológico del dominio geológico No.2.

### 3.4 Análisis geoquímico en el área de estudio para la corteza total.

#### 3.4.1 Comportamiento de los componentes útiles del dominio geológico No.2; Ni, Fe y Co, para la corteza total.

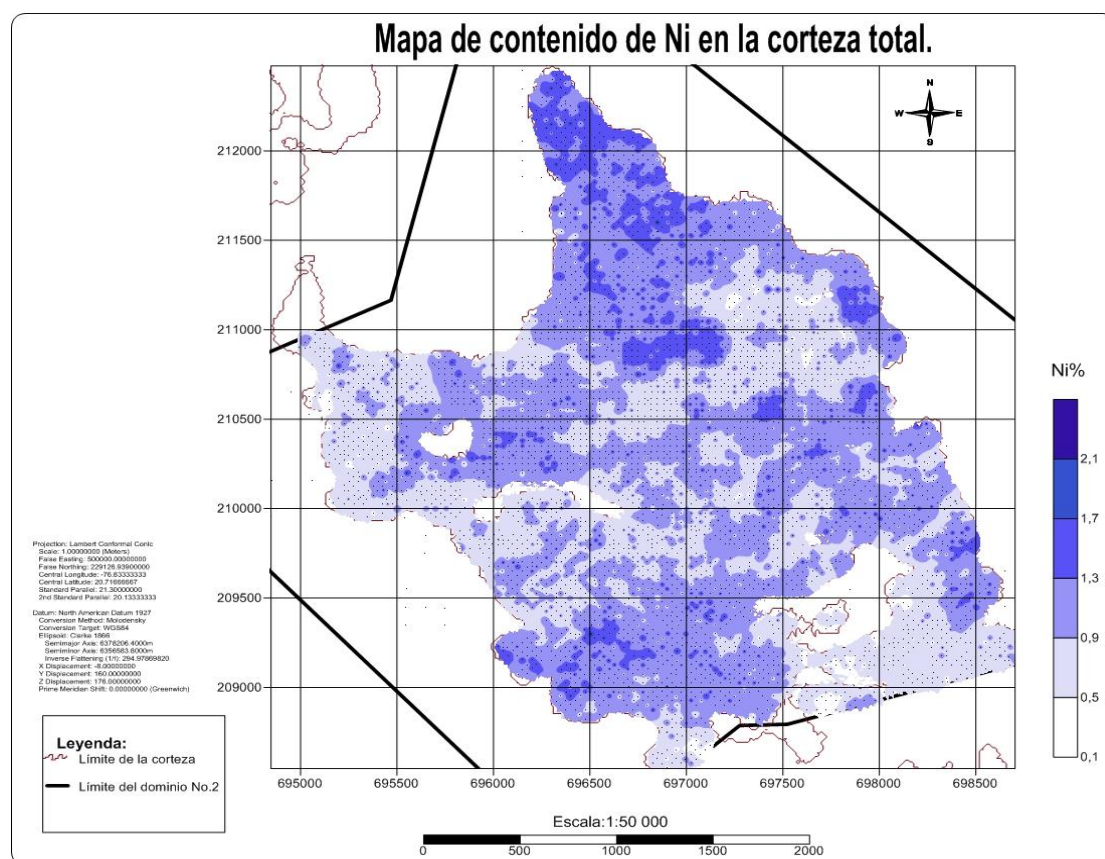
##### Níquel (Ni).

En el área de estudio, el contenido de Ni oscila entre 0.1 % y 2.1 %. Se observa un predominio de valores que van desde 0.5 % hasta 1.3 % con más incidencia en el sector N y S, y en algunas áreas al E del dominio.

El contenido de Ni aumenta hacia el N, alcanzando el máximo valor de 2.1 % de concentración. Estos altos valores de concentración es debido a que están asociados a corteza sobre dunitas y harzburgitas dado por la gran presencia de olivino en las



mismas, aportando gran beneficio para la concentración y a su vez la explotación de Ni. El valor más representativo es de 0.9% como se observa en la figura 20.

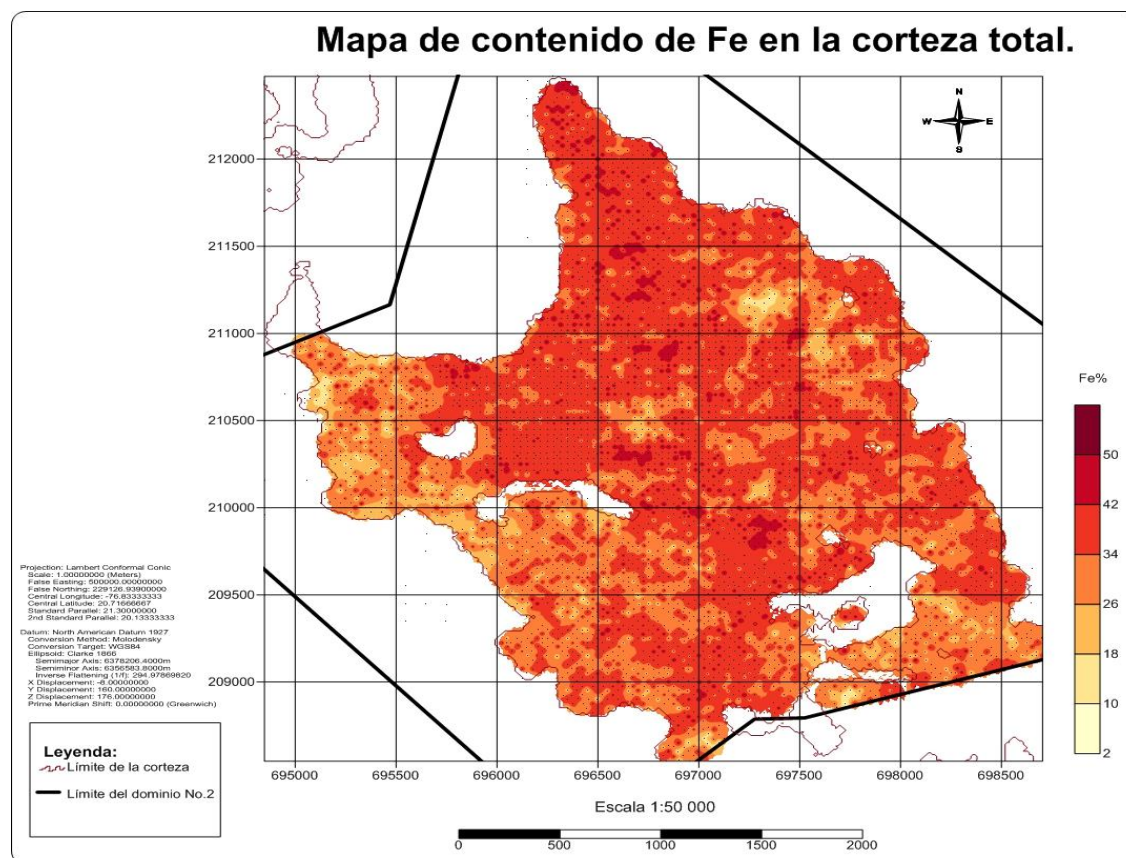


**Figura 20:** Foto del mapa de iso-contenido de níquel (Ni) en la corteza total.

## Hierro (Fe).

En la corteza total del dominio el contenido promedio de Fe oscila desde 2 % hasta 50 % como valor máximo. Se puede apreciar que los valores más predominantes aumentan desde 26 % hasta un 42 % distribuido en toda el área de estudio con una mayor concentración hacia la parte N. En algunas zonas muy puntuales pero en su menor totalidad se encuentran los valores bajos de 2 %.

El valor de concentración de Fe más recurrente es de 34 % (aparece en la mayor totalidad del dominio), con más presencia en el sector N, donde aparece el contenido más alto de 50 % de forma muy irregular. Estos valores son debido a que la corteza laterítica está desarrollada sobre peridotitas alteradas. (Ver Figura 21).



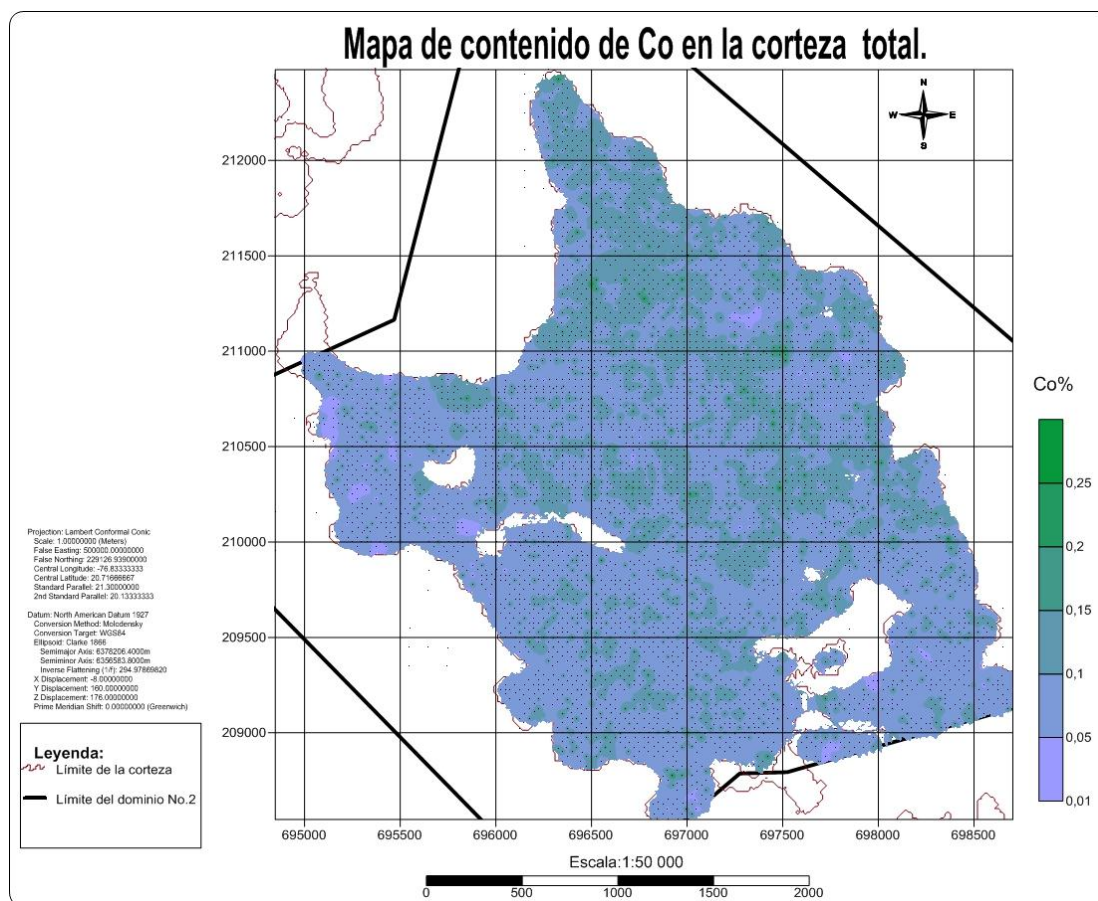
**Figura 21:** Foto del mapa de iso-contenido de hierro (Fe) en la corteza total.

## Cobalto (Co)

El Co para la corteza total, varía su contenido de 0.01 % hasta 0.25 %. Los valores más predominantes en el área van de 0.05 % a 0.15 % diseminados por todo el dominio.

Estos valores son muy bajos, aparecen pequeñas concentraciones de valores más altos de 0.25 % hacia la parte N y centro del dominio. El valor más frecuente en el mapa es de 0.05 % que ocupa todo el área de estudio, las concentraciones más bajas se ubican al noroeste del área en cuestión y pequeñas intercalaciones hacia el NE y S. (Ver Figura 22).





**Figura 22:** Foto del mapa de iso-contenido de cobalto (Co) en la corteza total

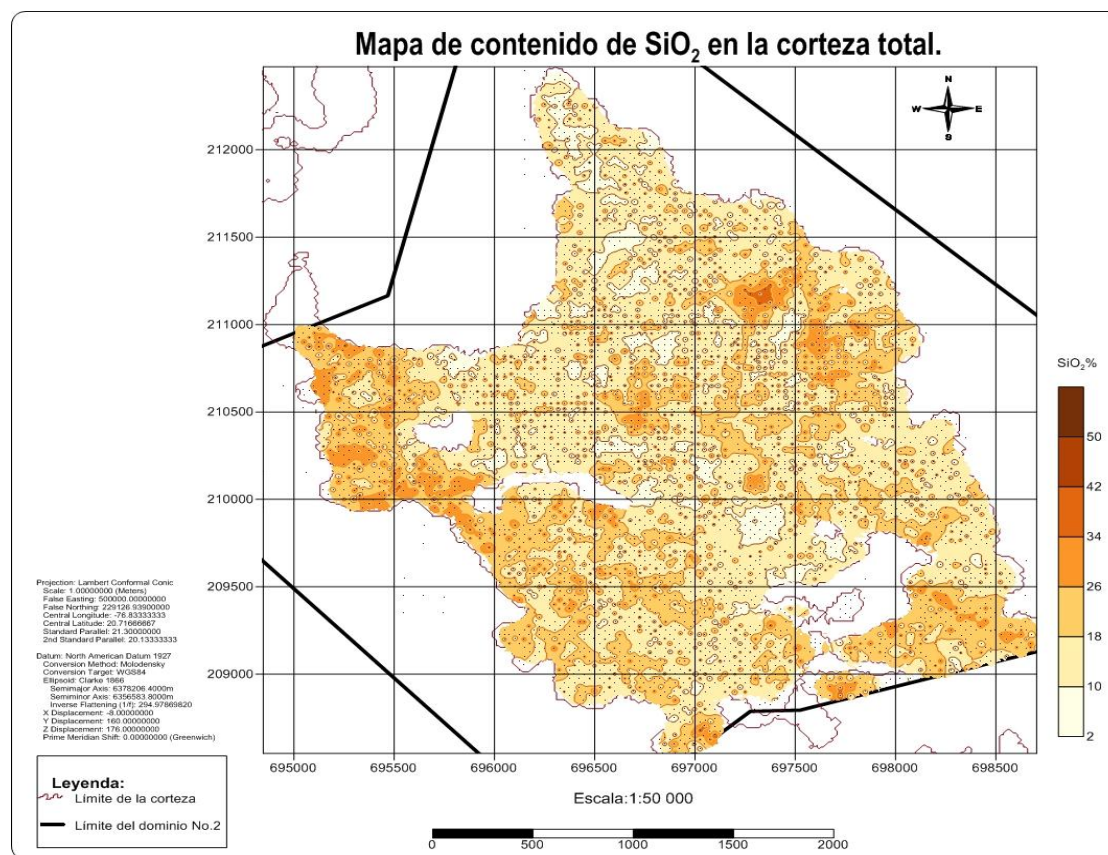
### 3.4.2 Comportamiento de los componentes nocivos del dominio geológico No.2; SiO<sub>2</sub>, Mg y Al para la corteza total.

#### Sílice (SiO<sub>2</sub>).

El contenido promedio de SiO<sub>2</sub> para la corteza total asciende de un 2 % hasta 50 %. Los valores más predominantes varían desde 10 % hasta 34 %, estos contenidos están dispersos en el dominio destacándose más hacia el W y S del mismo, con algunos sectores en la parte NE.

El valor más alto de SiO<sub>2</sub> de 42 % se encuentra concentrado en la parte noreste del yacimiento, predominando pequeñas intercalaciones de concentración de 34 % hacia el W y E del dominio. Estos valores disminuyen hacia la parte N y central, encontrándose

además valores bajos en al S que descienden hasta a un 2 %. Estos valores se deben a que las rocas ricas en olivino reflejan menores valores ( Ver Figura 23).

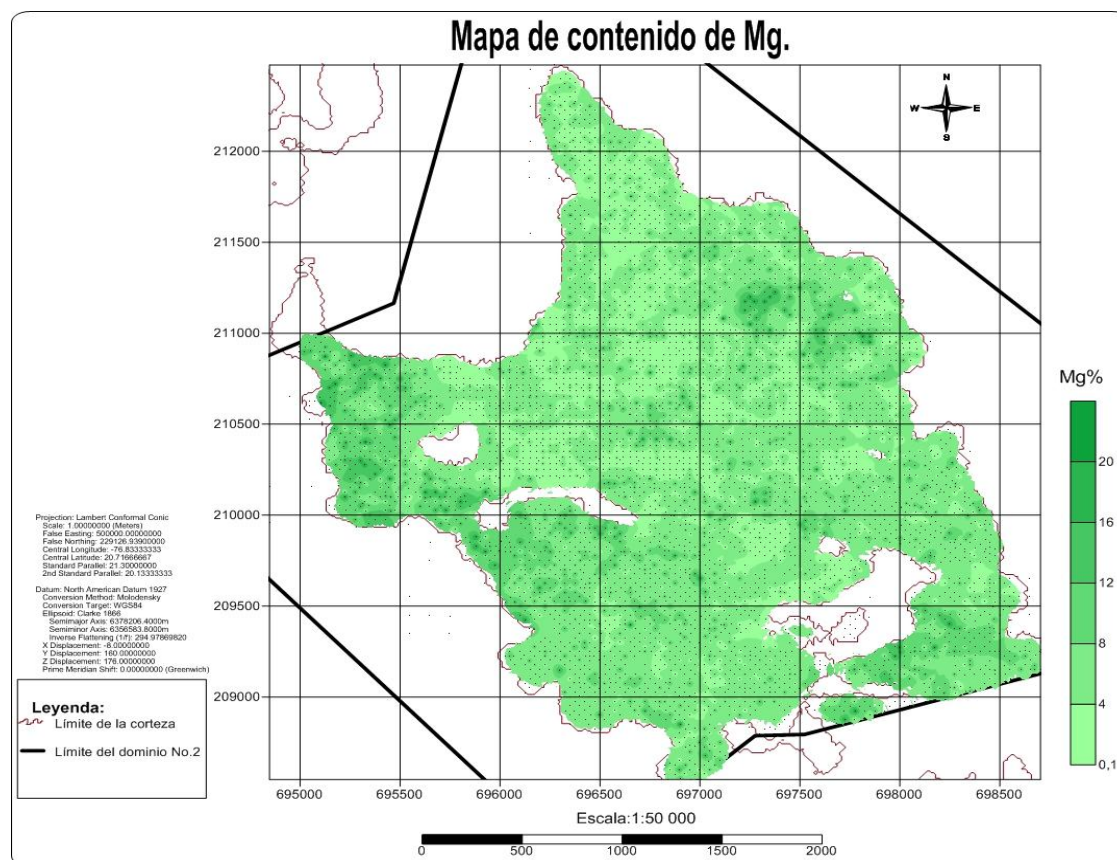


**Figura 23:** Foto del mapa de iso-contenido de sílice (SiO<sub>2</sub>) en la corteza total

### Magnesio (Mg).

El contenido promedio de Mg en la corteza total del dominio tiene una variación desde 0.1 % hasta 20 % de concentración del mismo. Los valores de predominantes en el área abarcan desde un 0.1 % hasta un 12 % y se encuentran esparcidos por todo el dominio.

Los valores de concentración más abundante son de 4 % y 8 % estos ocupan casi la totalidad del dominio. Las mayores concentraciones de Mg se encuentran más concentradas en la parte W y en una pequeña área en la zona noreste del dominio alcanzando valores de un 20 %. Estas concentraciones disminuyen hacia el centro y en menor cantidad al N alcanzando valores de concentración de 0.1 %. (Ver Figura 24).



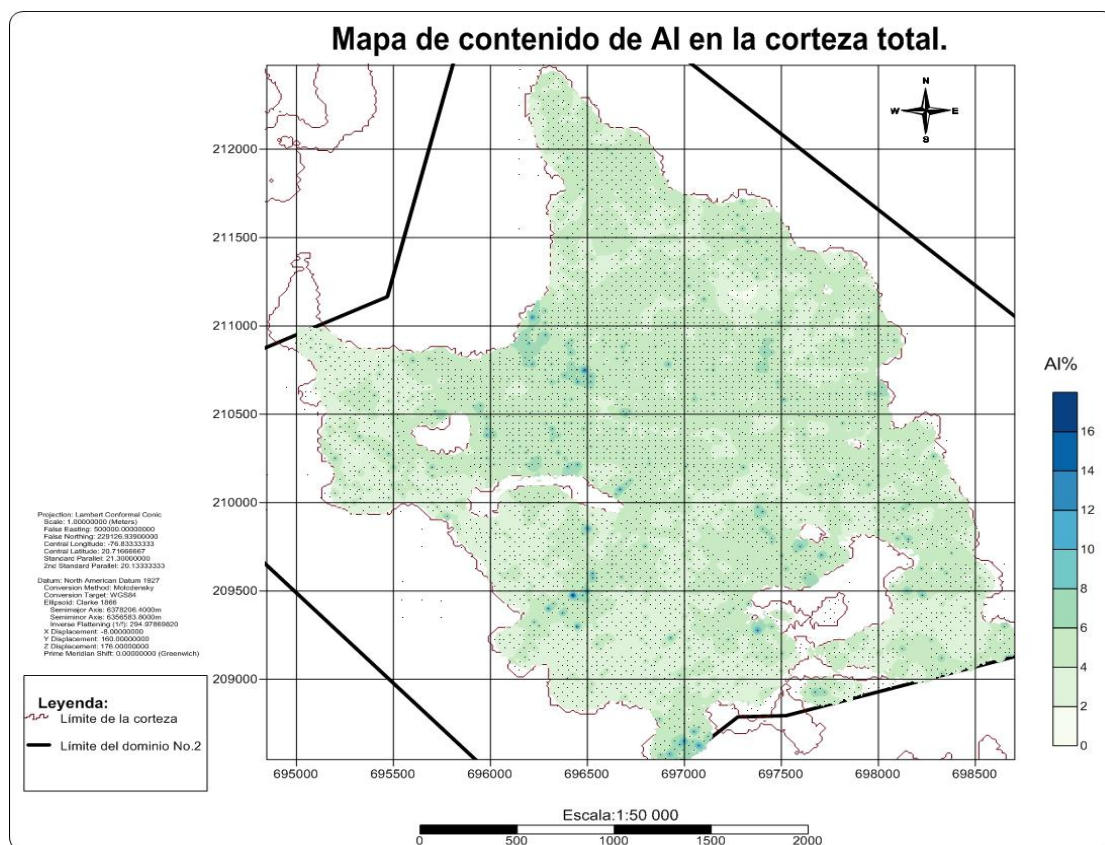
**Figura 24:** Foto del mapa de iso-contenido de magnesio (Mg) en la corteza total

## Aluminio (Al).

En la corteza total del dominio las concentraciones de Al oscilan entre 0 % a 16 % siendo este el valor más alto. Los valores predominantes están entre 2 % y 6 %, estos abarcan casi la totalidad del dominio principalmente N y centro de este.

El valor de concentración predominante es de 4 %, el mismo alcanza gran representatividad en la parte N y central del dominio. Los mayores valores de concentración de Al se encuentran ubicados en pequeñas cantidades hacia el NW y S del dominio, alcanzando valores de 16 % y en concentraciones de pequeña extensión. Las mayores concentraciones disminuyen desde el centro hacia S y el W siendo cada vez menores hasta alcanzar los valores mínimos de 2 % en el extremo S del dominio. La presencia de Al en este dominio es realmente pobre lo que es beneficioso para la industria metalúrgica. (Ver Figura 25).





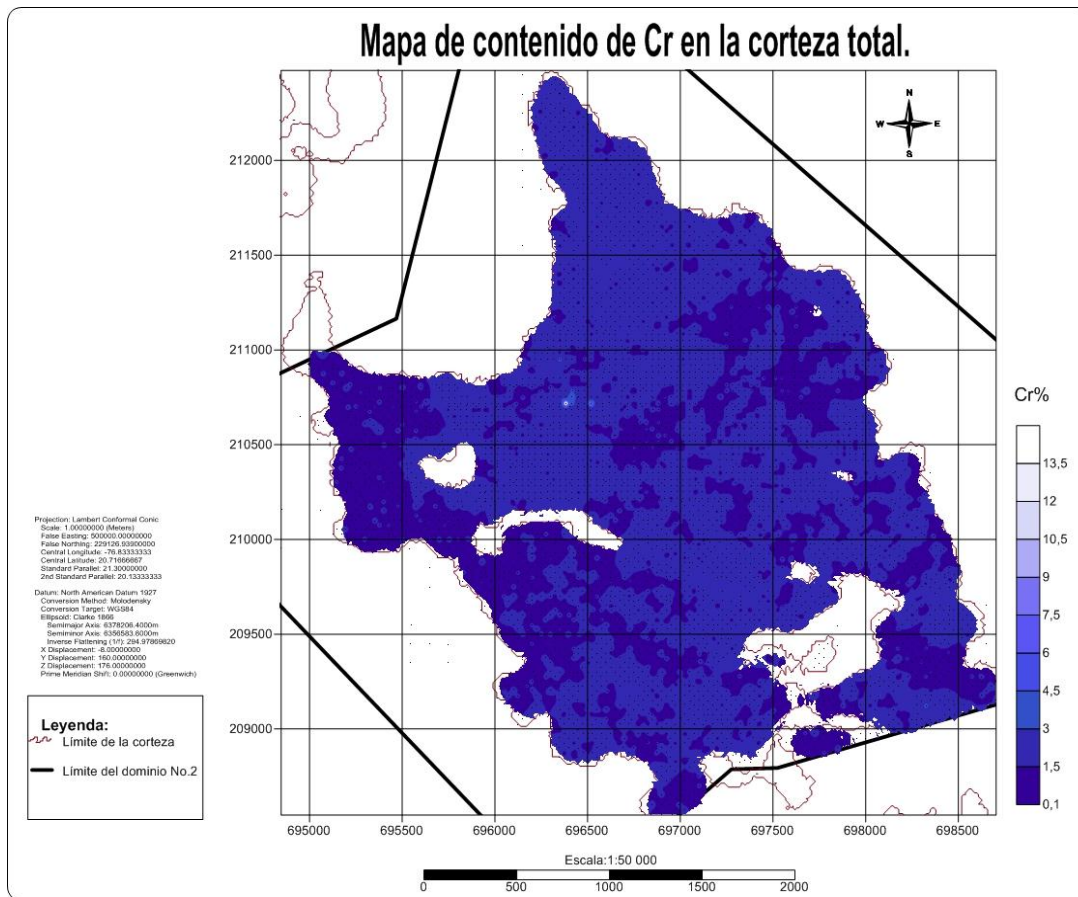
**Figura 25:** Foto del mapa de iso-contenido de aluminio (Al) en la corteza total.

### 3.4.3 Comportamiento del Cr y el Mn en el dominio geológico No.2 para la corteza total.

#### Cromo

Para la corteza total el Cr en el dominio tiene una concentración varía entre 0.1 % y 13.5 %. Las concentraciones predominantes tienen valores que van desde 0.1% hasta un 1.5 %. Estas se encuentran distribuidas en todo el dominio.

El valor de concentración más representativo es de 1.5 %, este se encuentra en todo el dominio en la parte más central y en el extremo W y SE del mismo. El mayor valor que alcanza el Cr en esta área es de 12 %, es una pequeña zona en la parte NW del dominio, siendo esta la única zona en todo el dominio donde se alcanza este valor. (Ver Figura 26).



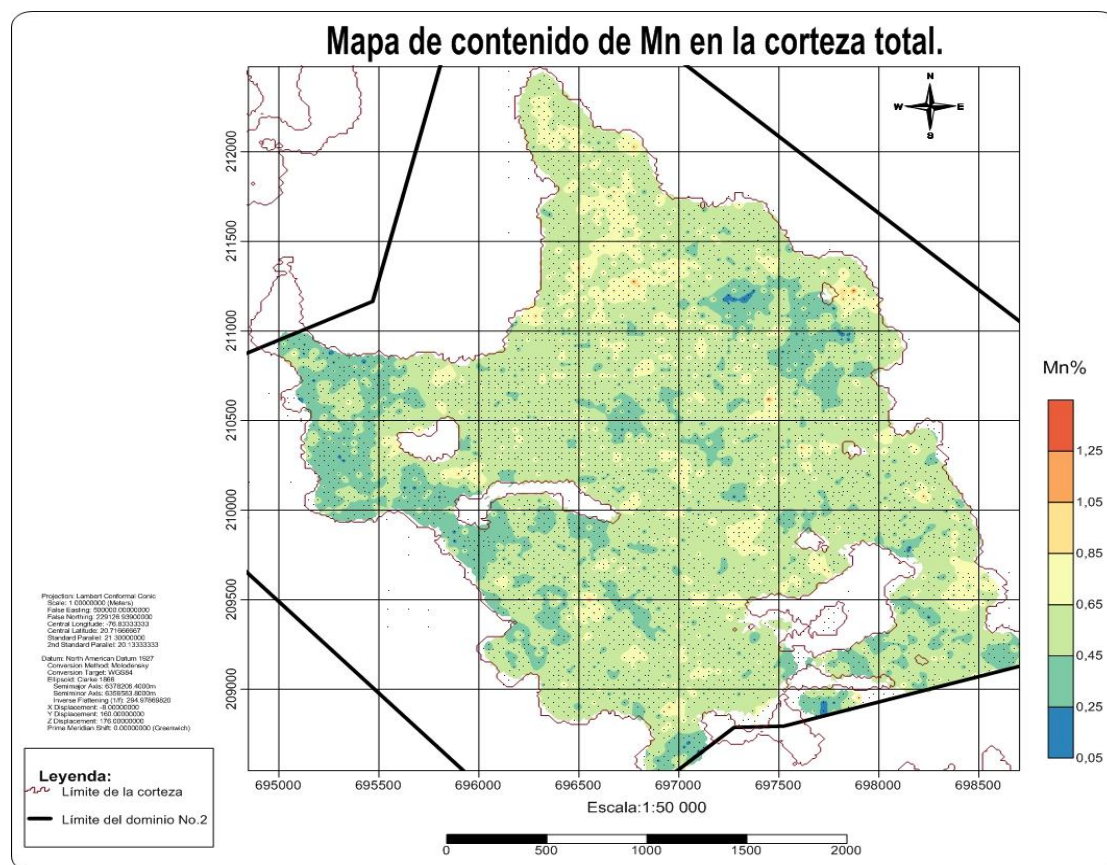
**Figura 26:** Foto del mapa de iso-contenido de cromo (Cr) en la corteza total.

## Manganeso (Mn)

La concentración promedio de Mn en el dominio para la corteza total presenta valores desde 0.05 % hasta 1.25 %. Los valores de concentración que más abundan varían entre 0.25 % y 0.65 % y están distribuidos a lo largo de todo el dominio ocupando la mayor parte de este.

El valor de concentración más representativo es de 0.45 % y ocupa la mayor parte del dominio tanto en la parte S como en el centro y E del mismo. El mayor valor de concentración de Mn es de 1.25 % encontrándose en zonas casi imperceptible y en menor extensión, se alcanza a observar en la parte NE. La concentración de Mn en el dominio es muy pobre encontrándose los menores contenidos hacia el oeste en zonas bien definidas, así como en la parte noreste y en menor porción centro y S del dominio.

En el N predominan las concentraciones de valor medio, así como pequeñas intercalaciones en el resto del área. (Ver Figura 27).



**Figura 27:** Foto del mapa de iso-contenido de manganeso (Mn) en la corteza total.

### 3.5 Comportamiento de la potencia de la corteza total del dominio No.2 yacimiento Camarioca Sur.

La potencia de la corteza en el Dominio No.2 del yacimiento Camarioca Sur varía desde 1 hasta 24 m. Los espesores más frecuentes están entre 4 y 16 m se encuentran distribuidos por todo el dominio. Las mayores potencias se ubican hacia el N y E del dominio y oscilan 24 y 28 m. Las menores potencias de 1 a 4 m de espesor se encuentran en la parte central y en pequeños sectores en el resto del área de estudio. La potencia de la corteza influye directamente en la interpretación de los mapas de contenido para la corteza total. (Ver Anexo 1).

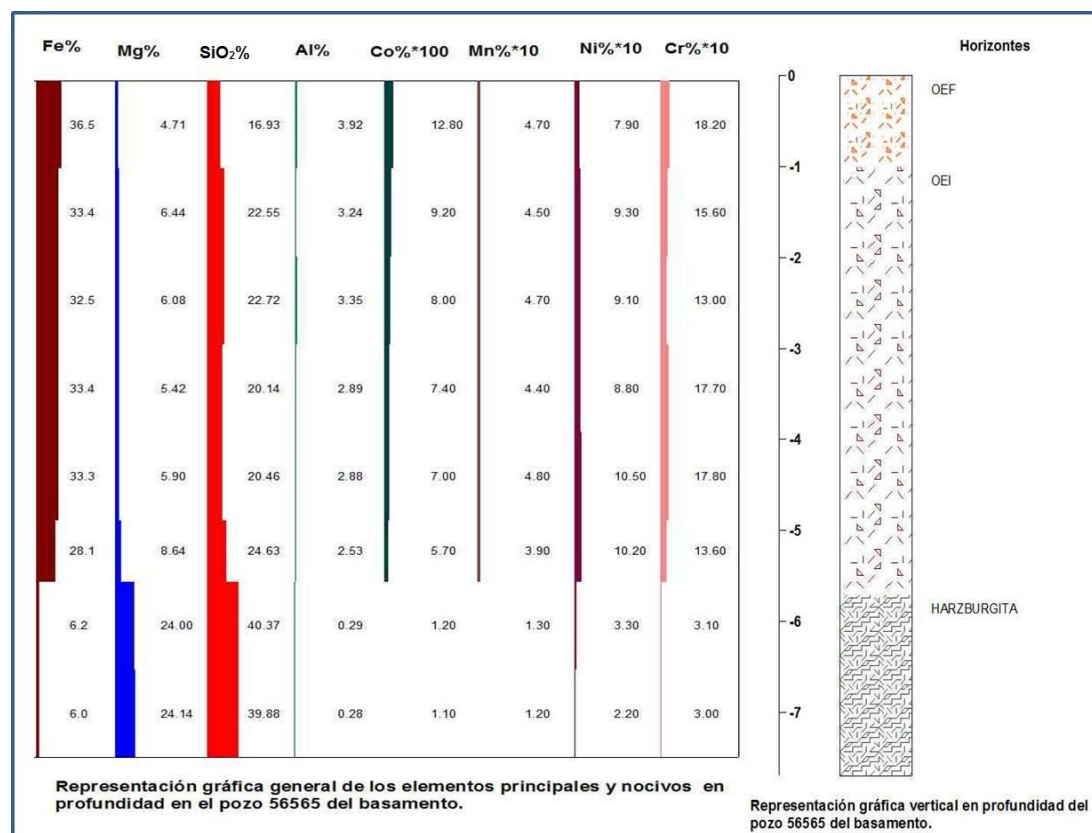
### **3.6 Representación gráfica vertical y comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad para los pozos de basamento.**

A partir del análisis del mapa geológico del área y las concentraciones de los elementos químicos se representaron gráficamente 5 pozos del basamento, con el objetivo de establecer la relación genética de la corteza de intemperismo con las rocas que constituyen el basamento del dominio geológico.

El pozo 56565, ubicado hacia el SE, con una potencia de 7.7 m revela una variación geoquímica de los elementos útiles y nocivos en profundidad, presentando un comportamiento normal para los elementos útiles. En el pozo completo desde la roca madre hasta la superficie del terreno se destaca la existencia de: harzburgita dura, masiva, compacta y oxidada, vetillas rellenas por minerales del grupo de la serpentina, cristales de piroxeno de granulometría fina a media; OEI constituido de un material pastoso, oxidado, alterado, y semicompacto con vetas longitudinales, nidos y manchas rellenas de óxido e hidróxido de Fe; y en la corteza se encontró OEF con presencia de vetillas finas de óxido e hidróxido de Fe. Tal como se representa en el gráfico de la figura 28. Se genera una corteza ferroniquelífera típica de las rocas del basamento, además muestra una secuencia ideal como la generalidad de las cortezas desarrolladas in situ.

El Fe presenta altos valores de contenidos en los horizontes superiores alcanzando un 48.24 % y disminuye hacia los horizontes inferiores. Se puede observar como los contenidos Co, Mn, Ni, y Cr disminuye paulatinamente en profundidad.

Los elementos nocivos tienen un comportamiento normal para horizontes de OEF, los cuales aumentan exponencialmente en profundidad. Tanto el Mg como la sílice aumentan con la profundidad, lo que indica una tendencia normal para estos elementos en los yacimientos de intemperismo. (Ver anexo 4).



**Figura 28:** Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y representación gráfica vertical del pozo 56565 de basamento.

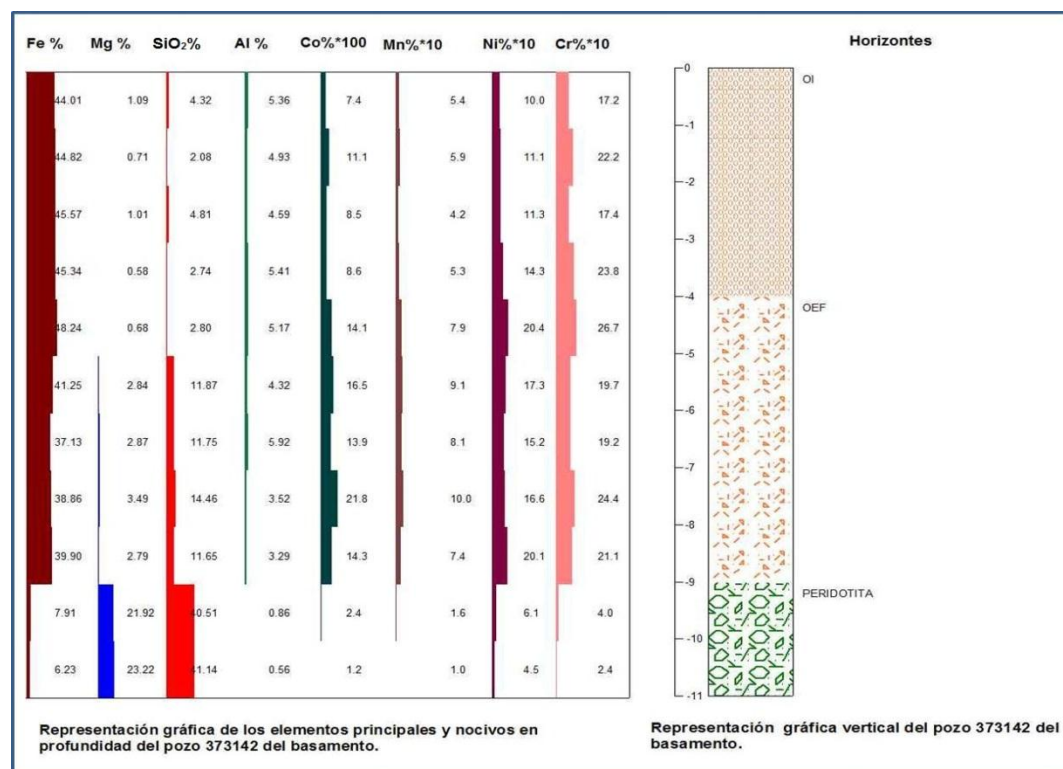
El pozo 373142, ubicado al N del dominio, y 11 m de potencia, muestra un comportamiento normal para los componentes útiles. En el pozo desde la roca madre hasta la superficie se destaca la presencia de tres horizontes, como se muestra en la figura 29: las rocas del basamento representadas por peridotitas serpentinizadas con textura masiva, alterada, mineralizada, con cristales de piroxeno, manchas de óxido e hidróxido de Fe; posteriormente el horizonte de OEF con un material semiplástico y húmedo una estructura poco definida, presencia de óxido e hidróxido de Fe y manchas de Mn; y aflorando en la corteza OI, presenta un material semiplástico y húmedo con abundante óxido de Fe. Al parecer el pozo 373142 ha sido afectado por la influencia de la actividad hidrotermal de las estructuras tectónicas debido a que está ubicado en un sistema de fallas, lo que se hace evidente a través de la omisión del horizonte OEI,



evidencia que justifican la existencia de cortezas redepositadas en la corteza de intemperismo.

El Fe presenta altos valores de contenidos que oscilan entre 44.01 % y 48.24 %, que disminuye hacia la parte inferior del pozo, mientras que el Co y el Ni alcanzan su mayor valor en el horizonte de OEF presentando valores entre 0.13 % a 0.21 % para el Co y 1.45 a 2.04 % para el Ni, disminuyendo su concentración en profundidad. El Cr muestra intercalaciones de altos y bajos valores de los contenidos de estos elementos en algunos sectores del pozo, hasta alcanzar valores mínimos en profundidad, mientras que el Mn varía discretamente en profundidad.

Los elementos nocivos tienen un comportamiento normal, tanto el Mg como la sílice aumentan con la profundidad, lo que indica una tendencia normal para estos elementos en los yacimientos de intemperismo, el Al presenta bajos valores. (Ver anexo 3)

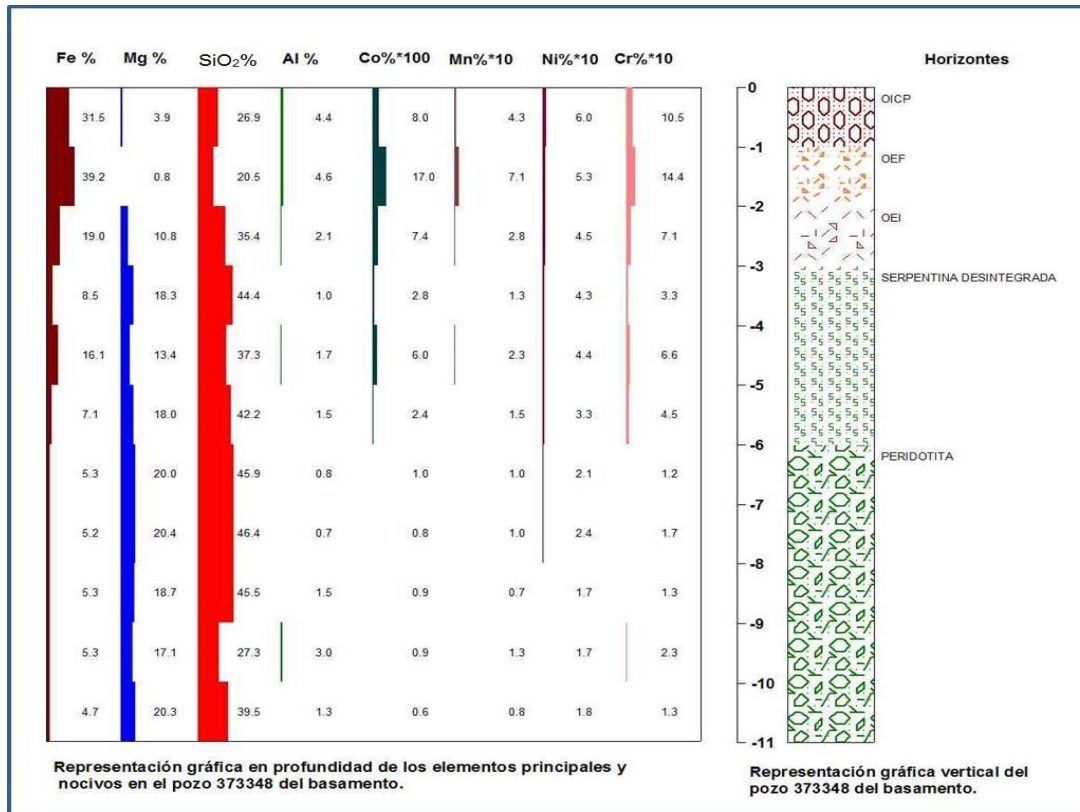


**Figura 29:** Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y representación gráfica vertical del pozo 373142 de basamento.

El pozo 373348 ubicado al E en el área de estudio, y 11 m de potencia, muestra un comportamiento normal para los elementos útiles. Este pozo evidencia cinco horizontes representado desde la roca madre hasta la superficie del terreno por: peridotitas serpentinizadas, dura, compacta, con presencia de alteraciones de óxido e hidróxido de Fe, Px alterados; serpentina desintegrada muy deleznable, alteraciones de óxido e hidróxido de Fe, Px alterados; OEI presenta un material semiplástico, estructura poco definida, manchas de óxido e hidróxido de Fe, Mn, concreciones de Fe; OEF alteración de óxido e hidróxido de Fe, relictos de serpentina desintegrada ; OICP con un material compacto, perdigones subredondeados, hasta 0.1 mm, ocupan un 5 % en la masa ocrosa, como se muestra en la figura 30. En este pozo se genera una corteza ferroniquelífera típica de las rocas del basamento, además muestra una secuencia ideal como la generalidad de las cortezas desarrolladas in situ.

El Fe presenta valores normales de concentración que disminuyen en profundidad, este alcanza su mayor valor (39.2 %), al igual que las concentraciones de Co (0.17 %), Mn (0.71 %) y Cr (1.44 %) en el horizonte de OEF, mientras que el Ni se mantiene estable y disminuye con la profundidad.

Los elementos nocivos tienen un comportamiento anormal, en el caso de la sílice presenta valores elevados en todo el pozo desde la superficie. El Mg presenta valores altos en la superficie, alcanza su valor normal en el horizonte de OEF con una concentración de 0.8 %, a partir del OEI aumenta nuevamente su valor, mientras que el Al presenta valores normales. Estos comportamientos de los elementos nocivos en este pozo pueden ser la influencia de la actividad hidrotermal de las estructuras tectónicas debido a que está ubicado entre dos fallas y se desarrolla sobre rocas ultramáficas serpentinizadas y posiblemente la serpentina desintegrada sea posible serpentinita antigoritizada. (Ver anexo 5).



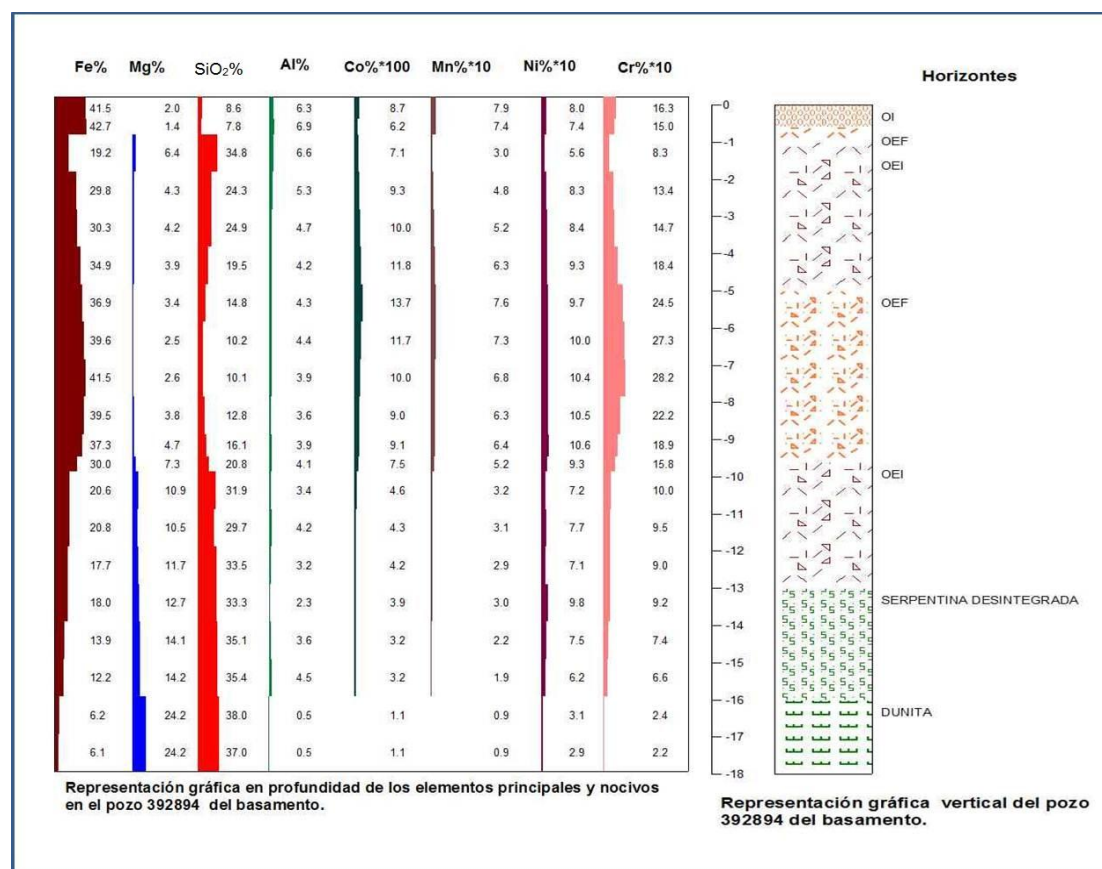
**Figura 30:** Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y representación gráfica vertical del pozo 373348 de basamento.

El pozo 392894 ubicado al W en el área de estudio, y 18m de potencia, muestra un comportamiento normal para los elementos útiles. En el pozo desde la roca madre hasta la superficie se evidencia: dunitas en el basamento, posteriormente serpentina desintegrada y OEI con pequeñas manchas de Fe y Mn, relictos de serpentina lixiviada; OEF constituido por un material semiplástico, estructura poco definida, manchas de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, a los 8.70 m relictos de serpentina lixiviada; a partir de los 5m hacia la superficie se observa una repetición de horizontes en el pozo posible resultado de una redeposición de la corteza, evidenciándose la presencia de OEI, OEF, OI por encima del horizonte de OEI, (ver figura 31).

El comportamiento de la concentración del Fe es normal para los diferentes horizontes en todo el pozo, su mayor valor es de 41.5 % y 42.7 % en el primer metro representado por OI y OEF y a los 7 m vuelve a alcanzar un valor de 41.5 % representado por OEF,

a partir de los 10 m disminuye su concentración en profundidad, mientras que el Co y el Ni se mantienen estables y sus valores descienden a mayor profundidad.

Los elementos nocivos tienen un comportamiento anormal, en el caso de la sílice presenta bajos valores en el primer horizonte, a los 2 m presenta valores elevados de 34.8 %, disminuyen en el horizonte de OEI y a la vez aumenta en profundidad. El magnesio en los primeros horizontes presenta valores mayores de 0.5 %, aumenta exponencialmente su contenido con la profundidad. El Al muestra un comportamiento normal y estable, disminuye con la profundidad. Estos comportamientos de los elementos nocivos del pozo 392894 pueden ser el resultado de la redeposición de la corteza laterítica. (Ver anexo 6).

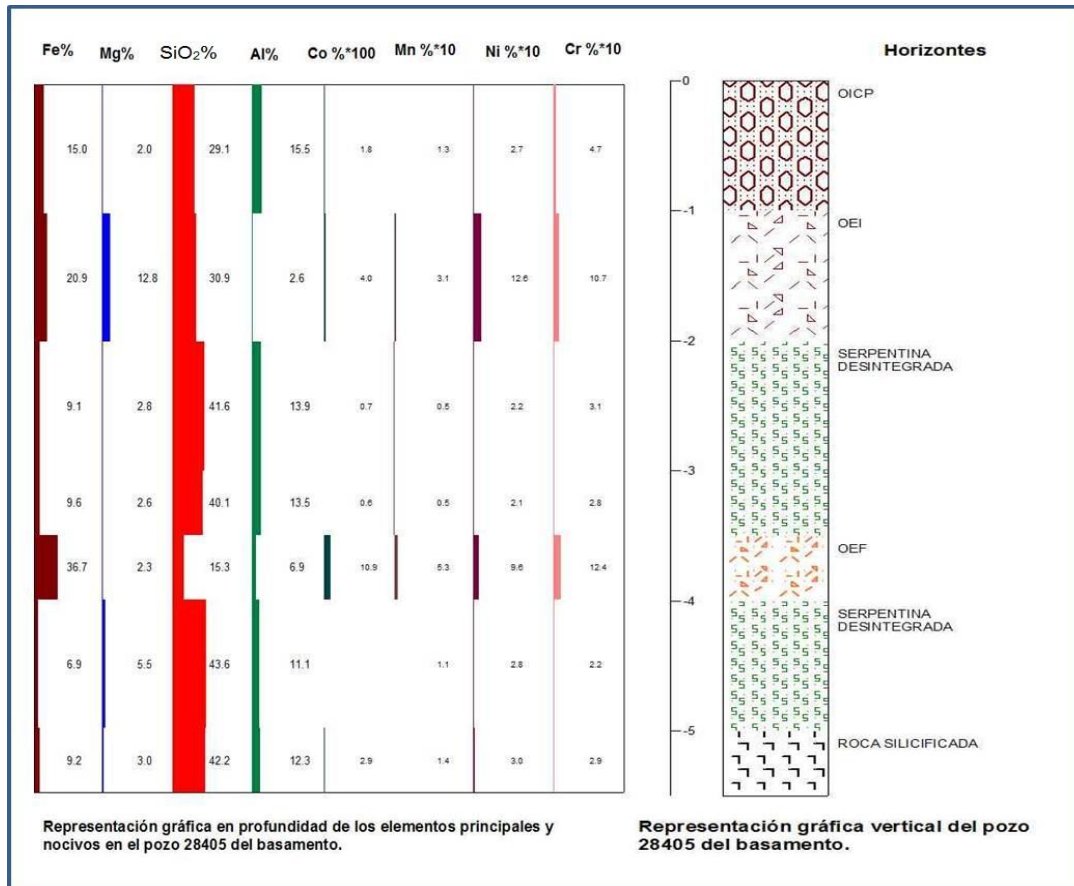


**Figura 31:** Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y representación gráfica vertical del pozo 392894 de basamento.

El pozo 28405, ubicado al SW en el área de estudio, con una potencia de 5m, muestra una anomalía para los elementos útiles. En el pozo desde la roca madre hacia la superficie se evidencia roca silicificada en el basamento como consecuencia de la influencia de la actividad hidrotermal de las estructuras tectónicas de la falla como se evidencia en el mapa geológico del dominio geológico No.2 posteriormente se observa serpentina desintegrada, OEF, evidenciándose la omisión del horizonte OEI; desde la superficie hasta los 3.5 m de profundidad se repite la secuencia de los horizontes de serpentina desintegrada OEI, y OICP presenciándose la omisión del horizonte de OEF. El pozo 28405 ha sido afectado por los procesos tectónicos, apareciendo redeposición de corteza lo que se hace evidente a través de omisión y repetición de horizontes, ver figura 32.

Los contenidos de Fe son bajos en todo el pozo, el horizonte de OICP presenta un valor de 15.0 %, alcanza el mayor valor de 36.7 % en el OEF, alcanza contenido de 20.9 % en el horizonte de OEI. El Ni presenta bajos contenidos alcanzando valores estables en los horizontes de OEI y OEF, de 1.2 % y 0.9 %. El cobalto presenta en el horizonte de OEF alcanza su mayor valor de 0.1 %, mientras que en el resto del pozo los contenidos son muy bajos.

La sílice muestra valores elevados hasta 43.6 %, en el horizonte de OEF presenta un bajo valor de 15.3 %, en el horizonte de serpentina desintegrada vuelve alcanzar elevados valores manteniéndose estable en profundidad. El Mg presenta valores estables con una variación en el horizonte de OEI, mantiene valores bajos en profundidad. El Al muestra su mayor valor de 15.5 % en el horizonte de OICP, y el mínimo valor de 2.6 % en el OEI, presentando altos valores hacia la profundidad. Estos comportamientos de valores elevados de los nocivos en el pozo 28405 pueden ser el resultado de la redeposición de la corteza laterítica o la influencia de la actividad hidrotermal de la estructura tectónica de la falla desarrollándose sobre rocas silicificada. (Ver anexo 2).



**Figura 32:** Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y representación gráfica vertical del pozo 28405 de basamento.

## **CONCLUSIONES**

1. Las mayores concentraciones de Fe, Ni y Co se encuentran hacia la zona N y central, mientras los contenidos elevados de los elementos nocivos ( $\text{SiO}_2$ , Mg, Al) hacia la parte NE y NW del dominio geológico No.2 del yacimiento Camarioca Sur.
2. Los pozos manifestaron la presencia de cortezas redepositadas, hacia la zona N, NW y SW del dominio avalado por la ausencia y repetición de horizontes meníferos.
3. Se logró determinar que la corteza de intemperismo que se genera en el dominio geológico No.2 del yacimiento Camarioca Sur es típica de la meteorización de las rocas del basamento (dunita, harzburgita, peridotita).

## **RECOMENDACIONES**

1. Utilizar los resultados alcanzados en este trabajo en la etapa de explotación del yacimiento y en futuras investigaciones.
2. Divulgar y mejorar el uso del LogPlot lo que facilita una mejor interpretación y visualización en profundidad de los pozos.
3. Extender las investigaciones realizadas en este trabajo al dominio geológico No.1 y No.3
4. Profundizar en el estudio de la corteza desarrollada sobre las rocas metamórficas presentes en el área de estudio.



## BIBLIOGRAFÍA

- Adamovich A. & Chejovich, V.D. 1963. Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. Informe, ONRM.
- Adamovich A.; Chejovich. 1962: Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. Revista Tecnológica. Universidad de Oriente.
- Aleojin, 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.
- Almaguer, A. 1995: Cortezas de intemperismo: algunas características de sus partículas finas. Minería y Geología XII (1): 9-19.
- Blanco-Quintero, et al. (2010). Metamorphic evolution of subducted hot oceanic crust (La Corea Mélange, Cuba). American Journal of Science, 310(9), 889-915.
- 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.
- Campos, M. 1983: Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. Minería y Geología, 2: 51-76.
- Campos, M. 1990: Tectónica y minerales útiles de la asociación ofiolítica y de los complejos vulcanógenos del arco insular Cretácico de Cuba oriental. Inédito.
- Cobiella, J. L. 1978: Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.
- Cobiella-Reguera, J.L. (2005): Emplacement of Cuba ophiolites. Geologica Acta, 3, 273-294.
- Diagrama QAPF de Streckeisen (1973).
- Díaz-Martínez, R. y Proenza-Fernández, J. 2005: Metalogenia asociada a las ofiolitas y al arco de islas del cretácico del nordeste de Cuba. Minería y Geología Vol. 21 No. 1.

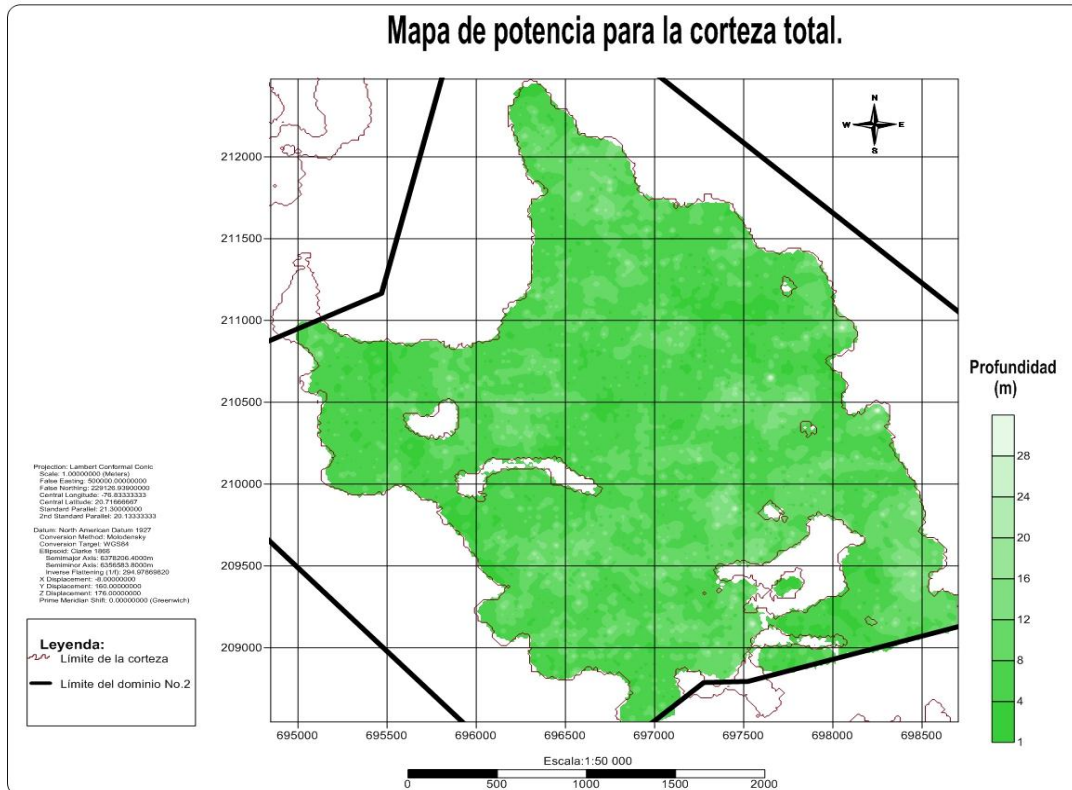
- Dublan, L., et al. 1985: Informe final del levantamiento geológico y evaluación de los minerales útiles a escala 1:50,000 del polígono CAME, Zona Centro. Archivo ONRM, C. Habana.
- Fernández L. 2011: Estudio petrográfico del basamento del yacimiento Camarioca Sur y su incidencia en la prospección y exploración de los yacimientos lateríticos de Ni y Co. Tesis de diploma.
- Formell F.; Oro A.: Sobre los procesos de redeposición del yacimiento Punta Gorda. *Ciencia de la Tierra y el Espacio*No.2. 1980.
- Heredia, M., y Terepin, A. 1984: Estudio comparativo de los complejos mafíticos-ultamafíticos de la provincia de Pinar del Río y los macizos Mayarí y Moa-Baracoa. *Serie Geológica*, 3, 55-100.
- Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, Fase 1, Abril 2011.
- Iturralde, M. A. 1976: Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. *La Minería en Cuba*, 5: 9-23.
- Iturralde M. A Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. *Ciencias de la tierra y el espacio*, No.17, 1990.
- Iturralde-Vinent, M. 2003: The relationship between the ophiolites, the metamorphic terrains, the Cretaceous volcanic arcs and the Paleocene-Eocene Volcanic arc. Field guide to a geological excursion to Eastern Cuba. V Cuban Geological and Mining Congress. IGCP Project 433 Caribbean Plate Tectonics Cuban Geological Society. 16 pp.
- Iturralde-Vinent, M. A. 1994: Geología de las ofiolitas. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.) *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. IUGS/UNESCO. International Geological Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. pp. 83-120.
- Iturralde-Vinent, M. A. 1996 e: Cuban ophiolites and volcanic arcs. Miami, *Int. Geol. Correlation Prog.* 364:83–120.

- Iturralde-Vinent, M. A. 1998: Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispana*, 33(1-4): 9-56.
- Iturralde-Vinent, M. A. et al. 2006: Tectonic implications of paleontologic dating of Cretaceous–Danian sections of Eastern Cuba. *Geol Acta* 4:89–102.
- Iturralde-Vinent, M. A. 1996 b: Evidencias de un arco Primitivo (Cretácico Inferior) en Cuba. In, ed. Cuban ophiolites and volcanic arcs. Miami, *Int. Geol. Correlation Prog.* 364:227–230.
- Konev, et al. 1979. Criterios litólogo-estratigráficos para la búsqueda de bauxita en la provincia de Pinar del Río. *La Minería en Cuba*, 5(4), 12-17.
- Lavaut Copa W: Clasificador para modelación litológica de lateritas Key – Guide for lithological mapping of laterites.
- Muñoz, et al. 2009: Modelo Genético teórico de los yacimientos lateríticos asociados al macizo ofiolítico de Moa-Baracoa: Implicaciones en la exploración de explotación.
- Muñoz, et al. 2014: Actualización del modelo teórico de perfiles de intemperismo laterítico para el nordeste de Cuba.
- Muñoz, J.N. 2004: Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co. PDF-Files. ICT. ISMMM, 22p.
- Muñoz, J.N. et al. 2007: Caracterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca Norte y Camarioca Sur. Inédito. Empresa Moa Niquel S.A. PSA.
- 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,
- Pérez R. 1976: Levantamiento Geológico de Farallones escala 1: 50 000.
- Pérez Y. 2013: Comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos del Yacimiento Zona Septentrional. Tesis de diploma.

- Petrus R. 2012: Comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos en el yacimiento Camarioca sur y su incidencia en la explotación. Tesis de diploma
- Proenza, J.A. et al. 2006: Primitive island-arc Cretaceous volcanic rocks in eastern Cuba: the Téneme Formation. *Geol Acta*, 4, 103-121.
- 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.
- Rojas-Purón, A. L. 1994. Principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa (Doctoral disertación, Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Geológicas. ISMM, Moa: 94p).
- Sitnikov, V, 1976: Informe sobre la exploración orientativa del yacimiento Camarioca con el cálculo de reservas. ONRM. La Habana, Cuba.
- Smirnov V.I. Geología de los Yacimientos Minerales. Ed. Mir. Moscú. 654 p. 1982.
- Streckeisen, A. 1975: To each plutonic rock its proper name. *Earth Science. Reviews* 12. 1976. 1-33.
- Valdés, Y. 2015: Caracterización petrológica y geoquímica de las rocas metamórficas, sector Camarioca Sur. Tesis de Maestría.

## ANEXOS

### Anexo 1: Foto del mapa de potencia del dominio geológico No. 2 del yacimiento Camarioca Sur.



**Anexo 2:** Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 28405.

| Desde (m) | Hasta (m) | Ni%  | Fe%   | Co%   | SiO <sub>2</sub> % | Mg%   | Al%   | Mn%  | Cr%  |
|-----------|-----------|------|-------|-------|--------------------|-------|-------|------|------|
| 0         | 1         | 0,27 | 15    | 0,018 | 29,08              | 2,02  | 15,49 | 0,13 | 0,47 |
| 1         | 2         | 1,26 | 20,86 | 0,04  | 30,93              | 12,77 | 2,61  | 0,31 | 1,07 |
| 2         | 3         | 0,22 | 9,13  | 0,007 | 41,65              | 2,84  | 13,9  | 0,05 | 0,31 |
| 3         | 3,5       | 0,21 | 9,55  | 0,006 | 40,08              | 2,63  | 13,47 | 0,05 | 0,28 |
| 3,5       | 4         | 0,96 | 36,74 | 0,109 | 15,31              | 2,27  | 6,9   | 0,53 | 1,24 |
| 4         | 5         | 0,28 | 6,92  | 0,027 | 43,6               | 5,48  | 11,08 | 0,11 | 0,22 |
| 5         | 5,5       | 0,3  | 9,18  | 0,029 | 42,23              | 2,95  | 12,28 | 0,14 | 0,29 |

**Anexo 3:** Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 373142.

| Desde (m) | Hasta (m) | Ni%  | Fe%   | Co%   | SiO <sub>2</sub> % | Mg%   | Al%  | Mn%  | Cr%  |
|-----------|-----------|------|-------|-------|--------------------|-------|------|------|------|
| 0         | 1         | 1    | 44,01 | 0,074 | 4,32               | 1,09  | 5,36 | 0,54 | 1,71 |
| 1         | 2         | 1,11 | 44,82 | 0,111 | 2,79               | 0,71  | 4,92 | 0,58 | 2,22 |
| 2         | 3         | 1,13 | 45,57 | 0,085 | 4,81               | 1,01  | 4,58 | 0,41 | 1,74 |
| 3         | 4         | 1,43 | 45,34 | 0,086 | 2,74               | 0,58  | 5,40 | 0,52 | 2,38 |
| 4         | 5         | 2,04 | 48,24 | 0,141 | 2,8                | 0,68  | 5,16 | 0,78 | 2,66 |
| 5         | 6         | 1,73 | 41,25 | 0,165 | 11,87              | 2,84  | 4,32 | 0,9  | 1,97 |
| 6         | 7         | 1,52 | 37,13 | 0,139 | 11,75              | 2,87  | 5,91 | 0,81 | 1,91 |
| 7         | 8         | 1,66 | 38,86 | 0,218 | 14,46              | 3,491 | 3,52 | 0,99 | 2,43 |
| 8         | 9         | 2,01 | 39,9  | 0,143 | 11,65              | 2,79  | 3,28 | 0,73 | 2,11 |
| 9         | 10        | 0,61 | 7,91  | 0,024 | 40,51              | 21,92 | 0,86 | 0,16 | 0,39 |
| 10        | 11        | 0,45 | 6,23  | 0,012 | 41,14              | 23,21 | 0,55 | 0,10 | 0,23 |

**Anexo 4:** Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 56565.

| Desde (m) | Hasta (m) | Ni%  | Fe%   | Co%   | SiO <sub>2</sub> % | Mg%   | Al%  | Mn%  | Cr%  |
|-----------|-----------|------|-------|-------|--------------------|-------|------|------|------|
| 0         | 1         | 0,79 | 36,46 | 0,128 | 16,93              | 4,71  | 3,92 | 0,47 | 1,82 |
| 1         | 2         | 0,93 | 33,4  | 0,092 | 22,55              | 6,44  | 3,24 | 0,45 | 1,56 |
| 2         | 3         | 0,91 | 32,53 | 0,08  | 22,72              | 6,08  | 3,35 | 0,47 | 1,3  |
| 3         | 4         | 0,88 | 33,44 | 0,074 | 20,14              | 5,42  | 2,89 | 0,44 | 1,77 |
| 4         | 5         | 1,05 | 33,34 | 0,07  | 20,46              | 5,9   | 2,88 | 0,48 | 1,78 |
| 5         | 5,7       | 1,02 | 28,05 | 0,057 | 24,63              | 8,64  | 2,53 | 0,39 | 1,36 |
| 5,7       | 6,7       | 0,33 | 6,23  | 0,012 | 40,37              | 24    | 0,29 | 0,13 | 0,31 |
| 6,7       | 7,7       | 0,22 | 5,98  | 0,011 | 39,88              | 24,14 | 0,28 | 0,12 | 0,3  |

**Anexo 5:** Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 373348.

| Desde (m) | Hasta (m) | Ni%  | Fe%   | Co%   | SiO <sub>2</sub> % | Mg%   | Al%  | Mn%  | Cr%  |
|-----------|-----------|------|-------|-------|--------------------|-------|------|------|------|
| 0         | 1         | 0,6  | 31,48 | 0,08  | 26,89              | 3,90  | 4,39 | 0,42 | 1,05 |
| 1         | 2         | 0,53 | 39,17 | 0,17  | 20,53              | 0,81  | 4,56 | 0,71 | 1,44 |
| 2         | 3         | 0,45 | 19,01 | 0,074 | 35,4               | 10,77 | 2,11 | 0,27 | 0,71 |
| 3         | 4         | 0,43 | 8,5   | 0,028 | 44,41              | 18,30 | 0,97 | 0,13 | 0,32 |
| 4         | 5         | 0,44 | 16,13 | 0,06  | 37,32              | 13,36 | 1,65 | 0,23 | 0,66 |
| 5         | 6         | 0,33 | 7,11  | 0,024 | 42,18              | 17,98 | 1,54 | 0,14 | 0,45 |
| 6         | 7         | 0,21 | 5,35  | 0,01  | 45,87              | 20,03 | 0,83 | 0,10 | 0,12 |
| 7         | 8         | 0,24 | 5,22  | 0,008 | 46,35              | 20,37 | 0,66 | 0,10 | 0,17 |
| 8         | 9         | 0,17 | 5,32  | 0,009 | 45,45              | 18,67 | 1,52 | 0,06 | 0,12 |
| 9         | 10        | 0,17 | 5,27  | 0,009 | 27,33              | 17,13 | 2,98 | 0,13 | 0,22 |
| 10        | 11        | 0,18 | 4,67  | 0,006 | 39,54              | 20,30 | 1,28 | 0,08 | 0,12 |

**Anexo 6:** Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 392894.

| Desde (m) | Hasta (m) | Ni%  | Fe%   | Co%   | SiO <sub>2</sub> % | Mg%   | Al%  | Mn%  | Cr%  |
|-----------|-----------|------|-------|-------|--------------------|-------|------|------|------|
| 0         | 0,6       | 0,8  | 41,51 | 0,087 | 8,59               | 2,03  | 6,29 | 0,79 | 1,63 |
| 0,6       | 1         | 0,74 | 42,66 | 0,062 | 7,85               | 1,43  | 6,86 | 0,74 | 1,5  |
| 1         | 2         | 0,56 | 19,16 | 0,071 | 34,82              | 6,37  | 6,6  | 0,3  | 0,83 |
| 2         | 3         | 0,83 | 29,76 | 0,093 | 24,28              | 4,3   | 5,28 | 0,48 | 1,34 |
| 3         | 4         | 0,84 | 30,29 | 0,1   | 24,93              | 4,21  | 4,65 | 0,52 | 1,47 |
| 4         | 5         | 0,93 | 34,9  | 0,118 | 19,49              | 3,91  | 4,23 | 0,63 | 1,84 |
| 5         | 6         | 0,97 | 36,89 | 0,137 | 14,76              | 3,39  | 4,35 | 0,76 | 2,45 |
| 6         | 7         | 1    | 39,6  | 0,117 | 10,2               | 2,55  | 4,41 | 0,73 | 2,73 |
| 7         | 8         | 1,04 | 41,5  | 0,1   | 10,08              | 2,61  | 3,9  | 0,68 | 2,82 |
| 8         | 9         | 1,05 | 39,52 | 0,09  | 12,76              | 3,84  | 3,64 | 0,63 | 2,22 |
| 9         | 9,6       | 1,06 | 37,29 | 0,091 | 16,1               | 4,65  | 3,91 | 0,64 | 1,89 |
| 9,6       | 10        | 0,93 | 30    | 0,075 | 20,76              | 7,3   | 4,14 | 0,52 | 1,58 |
| 10        | 11        | 0,72 | 20,58 | 0,046 | 31,9               | 10,94 | 3,37 | 0,32 | 1    |
| 11        | 12        | 0,77 | 20,76 | 0,043 | 29,68              | 10,53 | 4,19 | 0,31 | 0,95 |
| 12        | 13        | 0,71 | 17,7  | 0,042 | 33,52              | 11,72 | 3,21 | 0,29 | 0,9  |
| 13        | 14        | 0,98 | 18,04 | 0,039 | 33,26              | 12,73 | 2,34 | 0,3  | 0,92 |
| 14        | 15        | 0,75 | 13,92 | 0,032 | 35,08              | 14,06 | 3,57 | 0,22 | 0,74 |
| 15        | 16        | 0,62 | 12,22 | 0,032 | 35,41              | 14,16 | 4,47 | 0,19 | 0,66 |
| 16        | 17        | 0,31 | 6,22  | 0,011 | 38                 | 24,18 | 0,52 | 0,09 | 0,24 |
| 17        | 18        | 0,29 | 6,12  | 0,011 | 36,96              | 24,19 | 0,45 | 0,09 | 0,22 |