



ISMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALÚRGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑES JIMENEZ



Facultad: Geología y Minería
Ingeniería Geológica

Trabajo de Diploma

Para Optar por el Título de

Ingeniero Geólogo

*Título: Consideraciones genéticas del
dominio geológico No.3 del Yacimiento
Camarioca Sur.*

Autor: Mario Antonio Alonso Verano

Tutor(es): Ms C. Yurislely Valdés Mariño

Dr C. José Nicolás Muñoz Gómez.

Moa, 2015
“Año 57 de la Revolución”

Mario Alonzo Veranes

Pensamiento

La educación es la clave del futuro. La clave del destino del hombre y de su posibilidad de actuar en un mundo mejor.

John F. Kennedy

Agradecimiento

Primero que todo agradezco haber nacido en un país donde un niño sea de la raza que sea o pertenezca a la clase social más baja, tiene el derecho y la posibilidad de una educación al alcance de sus manos.

En segundo lugar, pero el más importante de todos, agradezco a las dos personas más importantes del universo que han sido los cimientos, los que me han apoyado, dado su amor, inculcado valores, los que hicieron posible que llegara hasta este momento y no menos importante; son los que me dieron el tamaño que tengo: a mis padres Marlene Verano Huerta y a Mario Alonso López muchas gracias. A todos los miembros de mi familia, a los más cercanos y a los más lejanos a los que están y especialmente a los que no están que estoy completamente seguro que estén donde estén están muy felices por mí. A todos ellos por haber hecho que mi niñez haya sido la mejor de todas, muchas gracias, los voy a extrañar mucho.

A mis amigos del alma Yudelquis, Yudisley y Omán que se han convertido a lo largo de nuestra amistad en mis hermanos, a ellos por haber estado siempre para mí, por ser mi baúl de secretos, mis confidentes y consejeros muchas gracias. A Félix y Mabel padres de Yudelquis, que me tienen adoptado como un hijo más, muchas gracias. A todas las personas del barrio, que me conocen, me han ayudado y se preocupan por mí, a todas las personas y profesores que han contribuido a mi formación desde que puse un pie en la escuela, especialmente a mis profesores de primaria, muchas gracias.

(.....) Muchas gracias.

A mis tutores: DrC. José Nicolás Muñoz Gómez ejemplo a seguir y al MSc. Yurisley Valdés Mariño al que agradezco más por haberse convertido en un gran amigo y consejero que siempre me empujó hacia adelante y me alentó a ser mejor, muchas gracias.

A todos los profesores del departamento de geología que me han guiado por los caminos de la ciencia de la tierra, que me han transmitido sus conocimientos y vivencias, en especial a todos los que han intervenido y mostrado su apoyo para la realización de este trabajo como Iván, Roberto, Beatriz, Lizandra, Dioelís y Jorge Félix, muchas gracias.

A todas mis amistades cercanas: mi primo Camilo, Josue, Yoennis, Lixander, Niorge, Nelson, Iosnel, Paquito y Ricardo que hasta que se marchó fue un buen y desastroso amigo, muchas gracias.

A todos mis compañeros de aula: Alanny, Yoe, Yosma, Jadier, Dari, Margelis, Danay, Mirita, Leyanis, Irayaselis, Iliana, Isabel, José, Marlen Torres, Susell, Dariana, Marlen Tito, Yuli y de forma muy especial a mi compañera de batalla que me ha acompañado en todo momento en estos últimos meses y que ha influido de forma directa en la realización de este trabajo, a la que voy a recordar cada vez que salga el tema de mi tesis, a Dayana. A todos ellos por haber compartido conmigo vivencias y aventuras, momentos felices y tristes y por darme su apoyo en ciertas circunstancias, muchas gracias.

A todas las personas que conocí en estos cinco años de universidad en Moa, que contribuyeron a que mi estancia en el municipio fuera lo más placentera posible, a los que me tendieron su mano cuando ni siquiera me conocían, muchas gracias.

Agradezco también a todos lo que me envidiaron, odiaron, los que se empeñaron en hacerme la vida difícil porque me obligaron a superarme y ser más fuerte y astuto cada día.

A todos aquellos que influyeron en que me convirtiera en quien soy: Muchas Gracia.

Dedicatoria

El fruto de todos estos años de estudio y esfuerzo que culminan con este trabajo se lo dedico a los que hicieron posible que se cumpliera, que se esforzaron junto conmigo, que se quitaron muchas cosas para dármelas a mí y que me dieron todo su apoyo y cariño en todo momento, mi mamá: Marlene Verano Huerta y mi papá: Mario Alonso López, y a todas aquellas personas que me quieran lo suficiente como para sentirse verdaderamente felices de mis logros y de la persona en quien me he convertido.

Resumen

El presente trabajo investigativo titulado: Consideraciones genéticas del dominio geológico No.3 del yacimiento Camarioca Sur; presenta la necesidad de determinar la relación geoquímica entre las rocas del basamento del yacimiento Camarioca Sur en el dominio geológico No. 3 y la corteza de intemperismo que sobre ellas se desarrolla, para definir las áreas de cortezas redepositada. Para esto realiza un estudio geoquímico para correlacionar geoquímicamente las rocas que constituyen el basamento y la corteza de intemperismo en el dominio. Basándose en anomalías y variaciones de estos elementos en profundidad y en las concentraciones en los distintos horizontes de la corteza y la roca madre, establece una correspondencia entre las rocas del basamento y la corteza que sobre ellas se encuentra, con el fin de hallar las áreas de redeposición de corteza. Para lograr los resultados esperados se confeccionaron para la corteza total, mapas de iso-contenido, de potencia, perfiles geológicos y gráficos de variación de concentración en profundidad. También se delimitó el mapa de basamento del yacimiento para el dominio y se realizó una búsqueda bibliográfica de la composición de las rocas que ahí se detectaron. Los estudios realizados revelaron que la corteza total que se desarrolla en el dominio No.3 es una típica corteza ferroniquelífera con concentraciones de $Fe \geq 35\%$, $SiO_2 < 22\%$, $Mg < 8\%$, $Al < 8\%$ para la mayor parte del dominio, estando en correspondencia con las rocas presentes en el basamento. En la mayor parte del dominio las variaciones de las concentraciones de los elementos químicos en profundidad se corresponden con el perfil de intemperismo residual, no siendo así en la parte sureste y centro del dominio donde existe un comportamiento anómalo en la distribución de los elementos químicos en el perfil, denotando una zona de redeposición. Las rocas presentes en el basamento son harzburgitas y dunitas en su mayoría, las cuales cuando se meteorizan generan cortezas con $Fe \geq 35\%$, $Al < 10\%$, $SiO_2 < 10\%$ y $Mg < 10\%$ como lo demuestran los mapas de iso-contenidos, los gráficos de concentración en profundidad y los perfiles de los pozos para el dominio No.3.

Abstract

This research work entitled Genetic considerations of geological domain of the site No.3 South Camarioca; It presents the need to determine the geochemical relationship between basement rocks Camarioca reservoir in the geological domain Sur No. 3 and weathering crust that develops on them to define areas of redeposited crusts. For this makes a geochemical study to correlate geochemically constitute the basement rocks and weathering crust in the domain. Based on anomalies and variations of these elements in depth and in the concentrations in the various horizons of the crust and the bedrock, it establishes a correspondence between the basement rocks and the crust is on them, in order to find the areas bark redeposition. To achieve the expected results were prepared for total cortical maps iso-contained power, geological profiles and graphs of concentration variation in depth. The map of the deposit base for the domain is also delimited and a literature search of the composition of the rocks that were detected were conducted there. Studies revealed that the total crust develops domain ferroniquelífera No.3 is a typical bark concentrations $Fe \geq 35\%$, $SiO_2 < 22\%$, $Mg < 8\%$, $Al < 8\%$ for most of domain being in correspondence with the rocks in the basement. In most of the domain variations of concentrations of the chemical elements in depth they correspond to the residual weathering profile, not the case in the southeast and center of the domain where there is abnormal behavior in the distribution of chemical elements in profile, an area denoting redeposition. The rocks in the basement are harzburgites and mostly dunites, which when generated weathering crusts $Fe \geq 35\%$, $AL < 10\%$, $SiO_2 < 10\%$ and $Mg < 10\%$ as shown by the iso-content maps, graphics and depth concentration profiles for the domain No.3 wells.

Índice

INTRODUCCION	- 1 -
Estado del arte	- 4 -
Trabajos precedentes	- 4 -
Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos lateríticos.....	- 10 -
Características geomorfológicas del yacimiento	- 12 -
Marco teórico conceptual	- 17 -
Simbologías	- 17 -
Principios teóricos.....	- 17 -
CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	- 24 -
1.1 Introducción	- 24 -
1.2 Características físico-geográficas del área de estudio.....	- 24 -
1.2.1 Ubicación geográfica	- 24 -
1.2.2 Relieve.....	- 25 -
1.2.3 Hidrografía	- 26 -
1.2.4 Clima	- 27 -
1.2.5 Vegetación.....	- 27 -
1.2.6 Economía.....	- 28 -
1.2.7 Geología del área de estudio.....	- 29 -
1.2.8 Tectónica del área de estudio.....	- 32 -
1.3 Características geológicas regionales	- 33 -
1.3.1 Estratigrafía	- 33 -
1.3.2 Tectónica regional	- 43 -
1.3.3 Composición química y mineralógica de las litologías ultramáficas.....	- 45 -
1.3.4 Composición de la MTZ en el macizo Moa-Baracoa	- 50 -
1.3.5 Mineralogía de las menas lateríticas	- 52 -
1.3.6 Tipos de perfiles lateríticos	- 53 -
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS. ...	55 -
2.1 Introducción	- 55 -

2.2 Búsqueda bibliográfica.....	- 56 -
2.3 Procesamiento de la información.....	- 57 -
2.4 Interpretación de los resultados.....	- 61 -
CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES GENÉTICAS DEL DOMINIO GEOLÓGICO NO.2 DEL YACIMIENTO CAMARIOCA SUR.....	- 63 -
3.1 Introducción	- 63 -
3.2 Características que diferencian los dominios.....	- 63 -
3.3 Características del Dominio No.3.....	- 64 -
3.4 Análisis geoquímico de los mapas de iso-contenido de la corteza total	- 65 -
3.4.1 Comportamiento de los componentes útiles del dominio (Ni, Fe y Co) para la corteza total	- 65 -
3.4.2 Comportamiento de los elementos nocivos (SiO ₂ , Mg y Al) en la corteza total - 68 -	
3.4.3 Comportamiento del Cr y el Mn en la corteza total	- 71 -
3.5 Comportamiento de la potencia de la corteza total del dominio No. 3 yacimiento Camarioca Sur.....	- 73 -
3.6 Gráficos del comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad para las zonas con valores anómalos	- 74 -
CONCLUSIONES.....	- 86 -
BIBLIOGRAFIA	- 88 -
ANEXOS	- 96 -

INTRODUCCION

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. (Rodríguez Infante, A., 2002) Como resultado de esos movimientos oscilatorios, las cortezas ferroniquelíferas, que forman parte del neoa autóctono, (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.

Problema: Necesidad de determinar la relación geoquímica entre las rocas del basamento del yacimiento Camarioca Sur en el dominio geológico No. 3 y la corteza de intemperismo que sobre ellas se desarrolla, para definir las áreas de cortezas redepositadas.

Objeto de Estudio

Las rocas del basamento y la corteza de intemperismo en el dominio geológico No.3 del yacimiento Camarioca Sur.

Objetivo principal

Correlacionar geoquímicamente las rocas que constituyen el basamento, con la corteza de intemperismo en el dominio geológico No. 3 del yacimiento Camarioca Sur.

Objetivos específicos

1. Elaborar los mapas de iso-contenidos de Cr, Co, Mn, SiO₂, Al, Mg, Fe y Ni.
2. Confeccionar perfiles de los horizontes de la corteza en pozos individuales y gráficos de variación de concentración de elementos en profundidad para el dominio geológico No 3.
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).

M. Goldschmidt (1922) en su estudio clásico sobre la región de Olso, examinó un grupo de rocas del Paleozoico de la secuencia pelítica, cuarzo feldespática, calcárea y básica que fueron sometidas a metasomatismo por intrusión de stocks. P. Eskola (1939) estudió las rocas metamórficas del norte de Europa, principalmente las de Finlandia y comparándolas con las estudiadas por Goldschmidt, en Olso, lo condujo a introducir el concepto de roca metamórfica.

En Cuba, en los tiempos previos al triunfo de la Revolución, son muy pocos los trabajos que salen a la luz, destacando los de Lewis (1955) y Kozary (1968). Los primeros hicieron una pormenorizada descripción de la geología de la porción central de la antigua provincia de Oriente, cuyos puntos de vista acerca de la secuencia ofiolítica no se diferencian sustancialmente de los conceptos anteriores.

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), (Muñoz 1977).

Por su parte Kozary (1968) hace un meritorio trabajo acerca de la estratigrafía de la zona y además, trató de explicar la presencia de las rocas magmáticas como una posible intrusión (en estado frío) hacia la superficie de la corteza terrestre, producto de la tectónica.

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. y Rodríguez, J. 1978) el carácter predominantemente autóctono de estas secuencias formadas en las secuencias superpuestas del arco volcánico del cretácico. Con estos nuevos elementos se reinterpreta la geología del territorio y se esclarecen aspectos de vital importancia para la acertada valoración de las reservas minerales. Cobiella en 1978 propone un esquema tectónico que resume una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba Oriental delimitando cinco zonas estructuro faciales.

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 dirigidos por V. Sitnikov, 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.

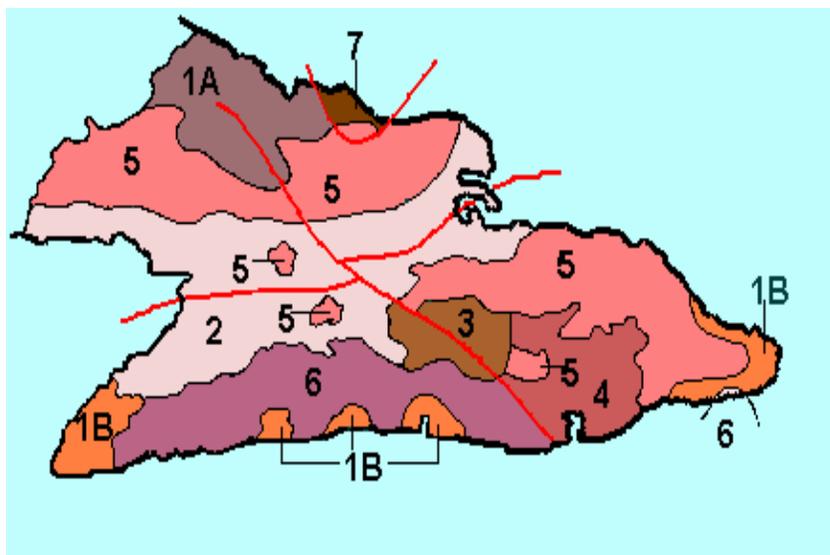


Figura 1. Esquema tectónico según E. Nagy, 1976 1A- Margen Norte; 1B- Margen Sur; 2- Cuenca Guacanayabo - Guantánamo; 3- Sinclinorium Central; 4- Cuenca de Guantánamo; 5-Zonas precubanas; 6- Zona Caimán y 7- Zona Remedios.

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 desarrollados por Teleguin V. , quien realiza una clasificación de las fracturas que afectan al substrato serpentinitico y el levantamiento fotogeológico de Farallones a escala 1: 50 000 desarrollado por Pérez R. (1976), donde se realizó un estudio detallado de las distintas formaciones geológicas del área.

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 serpentización de las ultramafitas se debía a los procesos de autometamorfismo.

En la década de los 60 autores como Furrázola-Bermúdez (1964), Smironov et al.

(1968), mantuvieron la opinión de que las ultrabasitas son intrusiones magmáticas clásicas, aunque con ciertas diferencias en las edades, Dudoz y Vagnat (1963) se suman a la idea propuesta por Kozary (1968) considerando a las ultramafitas como fragmentos del manto, asignando una edad pre-Cretácica para su emplazamiento y otra posterior para la serpentización.

Knipper y Cabrera (1974), hacen una caracterización más completa de la asociación ofiolítica, relacionan a los gabros y las diabasas con las rocas del complejo ultramáfico, los autores consideran que el conjunto de los complejos ofiolíticos estudiados son parte de la corteza oceánica. Sin embargo Somin y Millán (1981) dudan de las relaciones que puedan existir entre estos complejos y un perfil oceánico típico.

En 1976 establecieron que la tectónica de sobreempuje afecta también a las secuencias sedimentarias, dislocadas fuertemente, detectando en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del Cretácico Superior, yaciendo sobre secuencias terrígenas, del Maestrichtiano– Paleoceno Superior, planteando además el carácter alóctono de los conglomerados brechas de la formación La Picota, demostrándose en investigaciones posteriores el carácter predominantemente autóctono de estas secuencias formadas en las cuencas superpuestas al arco volcánico del Cretácico.

Los últimos trabajos relacionados con el estudio de las secuencias ofiolíticas y que ofrecen una caracterización más completa de las mismas, son los presentados por Fonseca y Zelepugin (1985), en los mismos se completa el estudio del perfil de la corteza oceánica, ya que aparecen, bien definidos desde el punto de vista de su composición química, todos los complejos de la asociación.

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.

Según Ríos y Cobiella (1984) estas rocas componen cerca de un 10 % del área del macizo; están estructuradas en grandes bloques en contacto tectónico con las ultramafitas sin embargo, aparecen zonas de alternancia entre ambas litologías lo que hace pensar en contactos primarios transicionales. Las rocas de afinidad ofiolítica de la zona de cumulos máficos fueron descritas por estos autores, al este de Punta Gorda, en el municipio de Moa, en un cuerpo de gabroide denominado por ellos como Gabroides Quesigua, donde se reportó y describió una variedad de gabros: entre ellos gabros normales, gabros olivínicos y gabronorita con yacencia estratificada.

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 (Gyarmati 1990).

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) (Brand, N. W.1998); (Muñoz J. N. 2004); (Galí, S. et al. 2006); (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; Lewis et al. 2006).

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 serpentización, asociado principalmente a zonas de fracturas y cizalla. En menor porcentaje de representación aparecen serpentinitas, dunita 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 antigorititas y talcitas, con predominio de talcización 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 gnéissicas 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. (Blanco Quintero, I. F. et al. 2011).

Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos lateríticos.

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

Al estudiar las menas lateríticas residuales es necesario analizar las condiciones geológicas de formación de estos yacimientos, además los factores climáticos, estructurales, hidrogeológicos, geomorfológicos; que originaron las potentes cortezas de intemperismo, de perfil laterítico, en las que se pueden establecer cuatro horizontes. Estos se diferencian en la composición mineralógica y química entre otros parámetros

que se presentan en las condiciones exógenas del planeta como lo son: Muñoz J.N (2004).

- Clima
- Geotectónica
- Geomorfología
- Hidrografía

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

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

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

En el área de las concesiones mineras aparece en el basamento un tipo litológico, que en el trabajo de Sitnikov, V, 1976, fueron declaradas como rocas recristalizadas de composición considerablemente antigorítica, con mayor representatividad en Camarioca Sur y aisladamente en Camarioca Norte. Estas rocas adquieren gran importancia en el estudio del comportamiento de los yacimientos, ya que se pudo observar que en el área donde ellas se encuentran las cortezas se caracterizan por su pobre desarrollo y los bajos contenidos de níquel. Figura 2

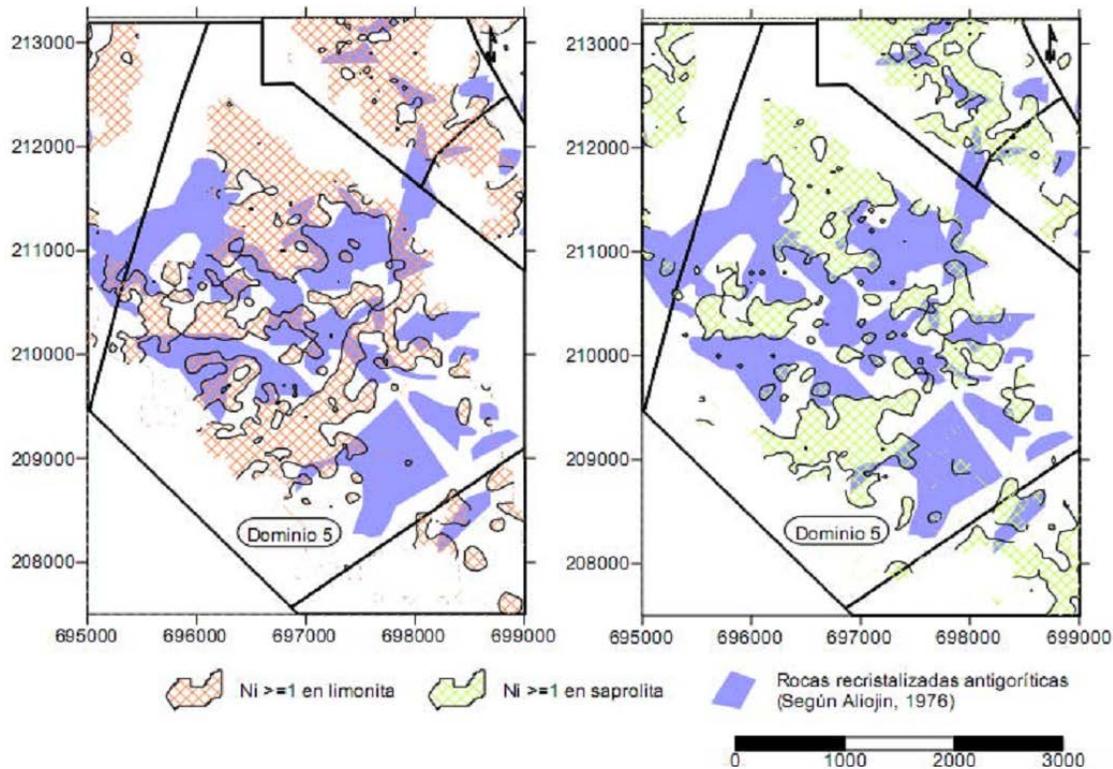


Figura 2. Relación entre las rocas cristalizadas antigoríticas con los contenidos de níquel en limonita y saprolita. (Muñoz et al, 2007)

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, desmiembran el área en tres sectores.

Esta corteza es principalmente del tipo de Manto y su espesor oscila desde los primeros metros hasta 30 y más (en los lugares con marcado desarrollo de la tectónica se manifiesta una corteza de tipo lineal. El espesor de las menas depende de muchos factores, entre los cuales actúan con mayor preponderancia los elementos favorables del relieve y la composición de las rocas del sustrato.

Se ha observado que los sectores más productivos están vinculados con los relictos de la superficie de nivelación con un sustrato peridotítico serpentizado, a su vez los sectores menos productivos están asociados a los sectores constituidos principalmente por rocas antigoritizadas de diferente composición mineral y por piroxenitas. La corteza de intemperismo productiva se conserva solamente en las elevaciones aplanadas y las pendientes se observan cubiertas por formaciones friables deluvio- proluviales de poca potencia y escasos contenidos de componentes útiles.

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

Las fallas más antiguas que aparecen en el área corresponden al período de compresión hacia el norte que culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas, que según Lewis J. F et al, Morris A. E. et al. y Pindell J. L., y

Barret, (1990) ocurrió en el Eoceno Medio, mientras que investigaciones más recientes, Iturralde, 1996 y Proenza, 1998 consideran que el mismo sólo alcanzó hasta el Paleoceno Inferior.

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

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

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

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

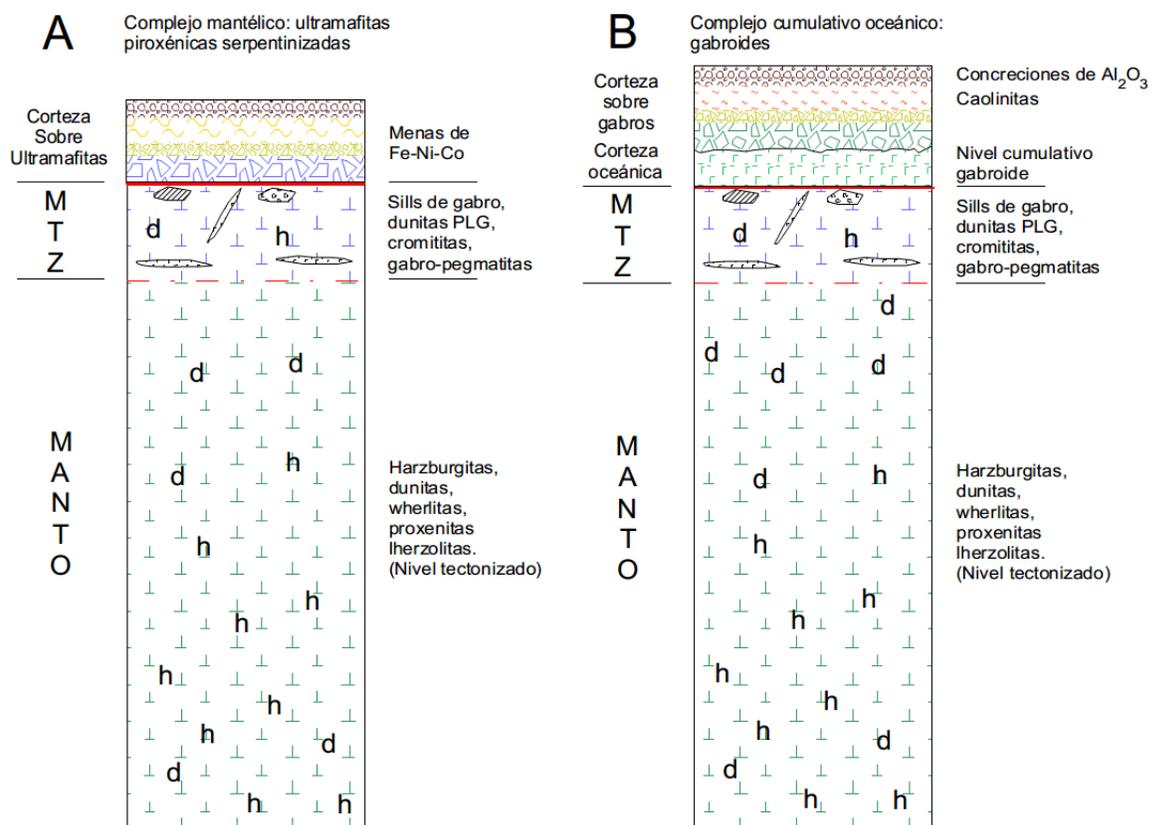


Figura 3. Modelo geológico teórico de formación de las menas lateríticas en las concesiones mineras de Camarioca Norte y Camarioca Sur, en el macizo ofiolítico Moa – Baracoa. Muñoz J.N (2007)

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Simbologías

N: norte **m:** metro

E: este **Km:** kilómetro

S: sur **seg:** segundo

W: oeste

Principios 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 km² (Proenza J, et. al., 1998). 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.). (V. I. Smirnov, 1976)

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. Fue estudiado inicialmente por

Buchanan (1907) con rocas basálticas alteradas de la india. Es el producto residual de la descomposición de las rocas silicatadas ferromagnesianas principalmente.

Proceso de laterización: 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 (Pedro, 1968). El intemperismo implica una fuerte dependencia de los procesos asociados con la hidrosfera, atmósfera y biosfera (White and Brantley, 1995), 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. De acuerdo con Ollier (1975), el intemperismo es “la destrucción y alteración de minerales y rocas cerca de la superficie de la tierra dando lugar a productos más estables en las nuevas condiciones físico-químicas”.

La existencia de las lateritas fue reconocida por vez primera por Buchanan en 1907. Un siglo después Harrassowitz, en 1926, realizó una descripción general de las lateritas y muchas de sus observaciones y sugerencias aún poseen un considerable valor (Pedro, 1968; Lima Costa, 1997).

Las condiciones relevantes para que ocurra la lateritización son, según Harder (1952) y De Swardt (1964), 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.

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.

TABLA 1. FACTORES DETERMINANTES DE LA PROFUNDIDAD DEL INTEMPERISMO (THOMAS, 1974)	
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 relictico 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 (Birkeland, 1974).

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 O₂ del suelo e incrementan su contenido en CO₂.

Los principales procesos biológicos (Barker et al., 1997) 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 CO₂, 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 níquelíferas 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.

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 sur 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: 696000 – 701000 y Y: 205000 – 211000

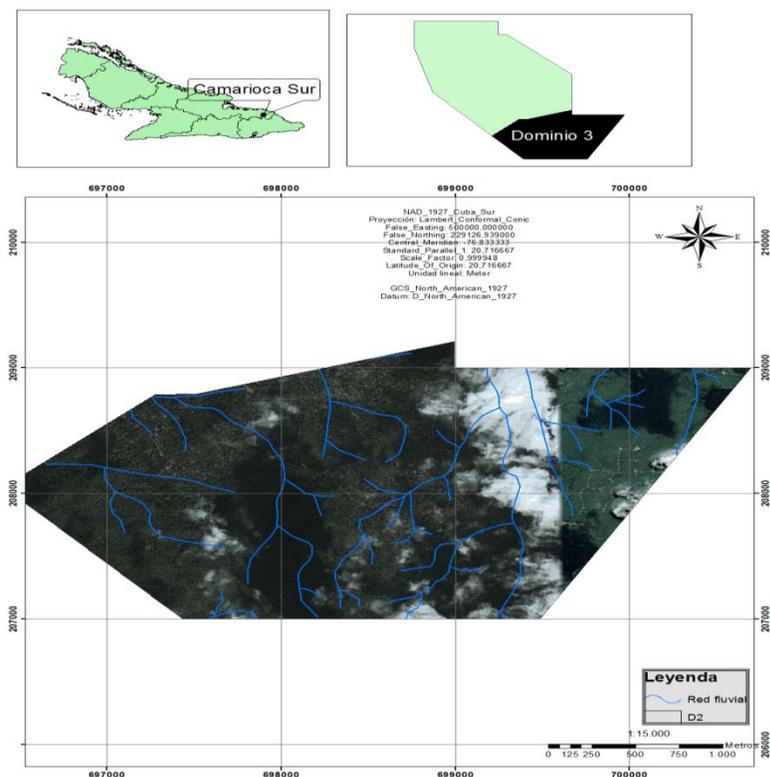


Figura 4. Fotografía del mapa de ubicación geográfica, sector Camarioca sur, dominio geológico No.3.

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 metros 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 (Oliva 1989). Para la región se han determinado dos zonas geomorfológicas: de llanuras y montañas (Rodríguez 1998).

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 metros. 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.

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 - 3560mm. 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.

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 20-30m 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.

Pluvivilvas: es la formación vegetal más vigorosa y puede alcanzar hasta 40m 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 25m 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.

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, Las Camariocas (en construcción), 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.

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 ferro-niquelífera.

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

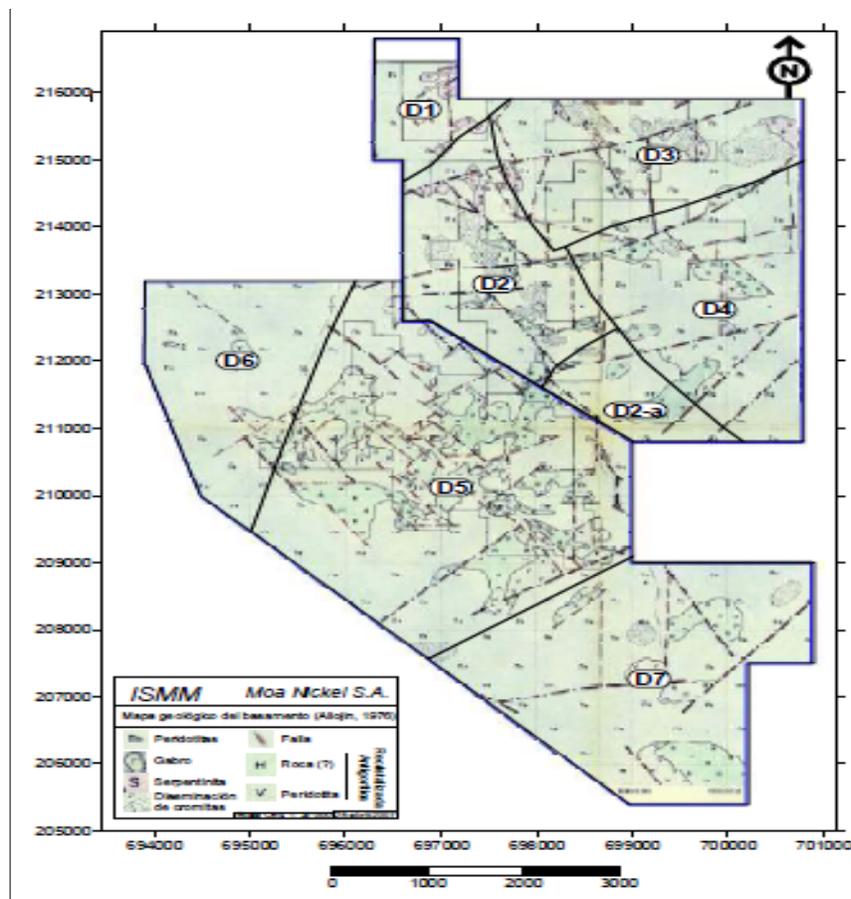


Figura 5. Fotografía del mapa geológico del basamento tomado de Alejo, 1977.

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 metamorfizadas, 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, lherzholitas, peridotitas ricas en plagioclasa, serpentinitas, esquistos antigoríticos, 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.

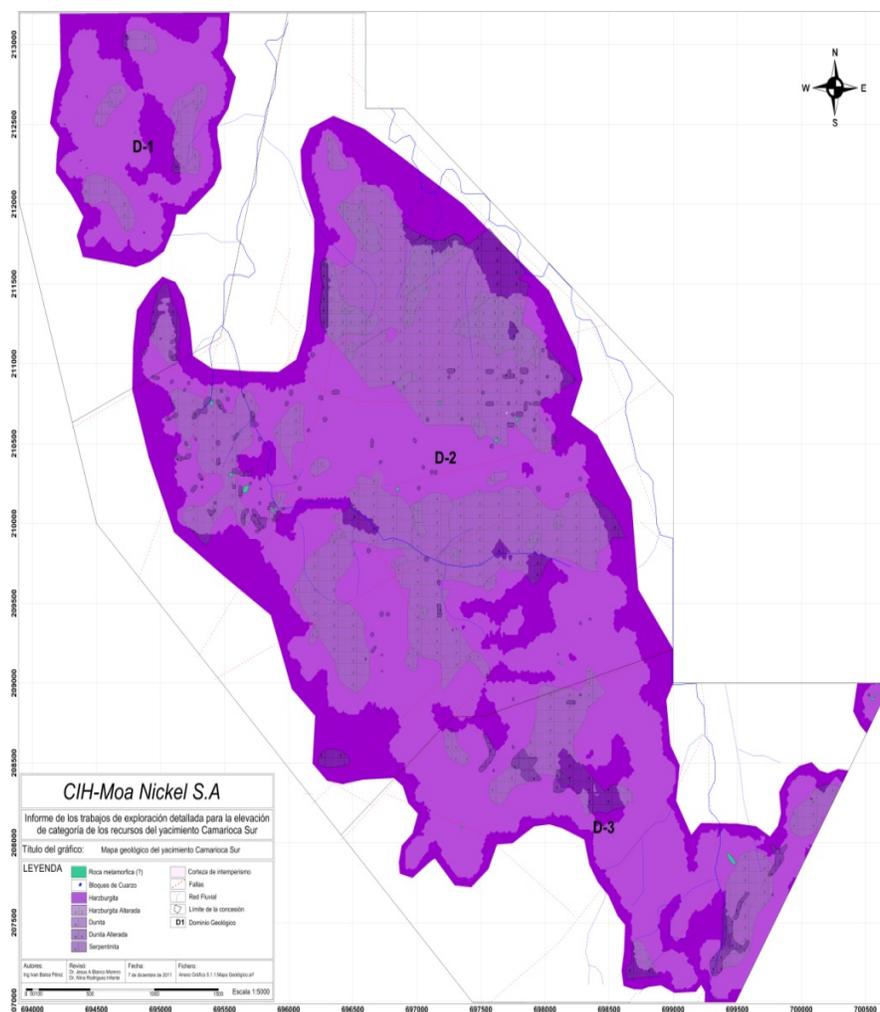


Figura 6. Fotografía del mapa geológico del área de estudio, escala original 1:3500.

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 (Lewis et al. 1989; Morris et al. 1990; Pindell y Barret 1990). Otros investigadores consideran que este proceso sólo se alcanzó hasta el Paleoceno Inferior (Iturralde 1996; Proenza, 1998).

Desde el punto de vista estructural, las mediciones realizadas en los sistemas de grietas son escasos y la dirección predominante es: NW–SE (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.

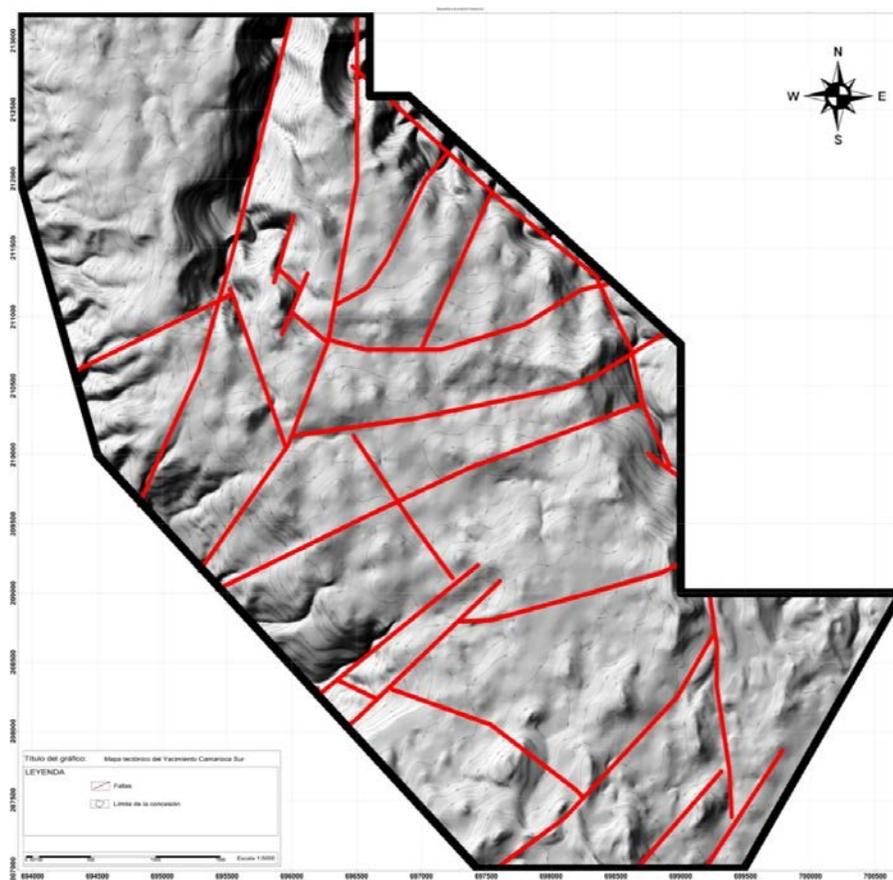


Figura 7. Fotografía del mapa tectónico del sector Camarioca Sur.

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 Neoautóctono (Pushcharovsky 1988).(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 (Cobiella, 1988, 1997, 2000; Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999c).

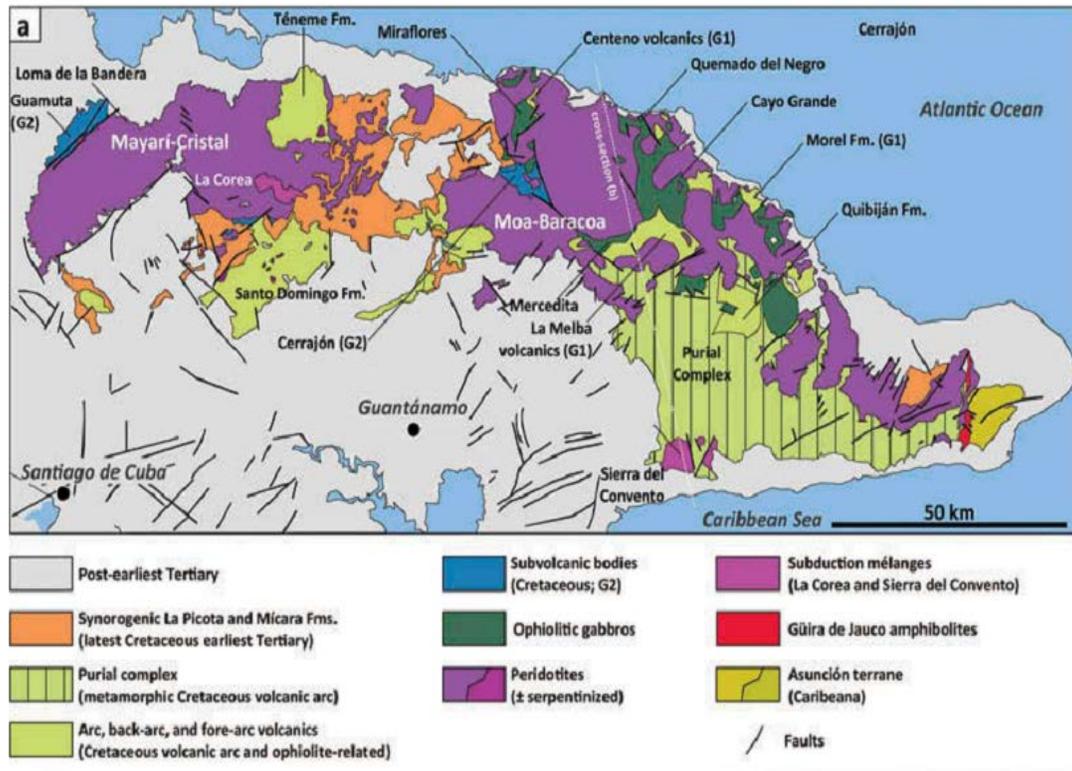


Figura 8. Fotografía del Mapa geológico de Pushcharovsky 1988.

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 este, ocupando una extensión areal superior a los 6500km² (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 gabroicos, 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 volcano-sedimentario. La zona correspondiente al complejo de diques paralelos de diabasas aún no ha sido identificada en este macizo.

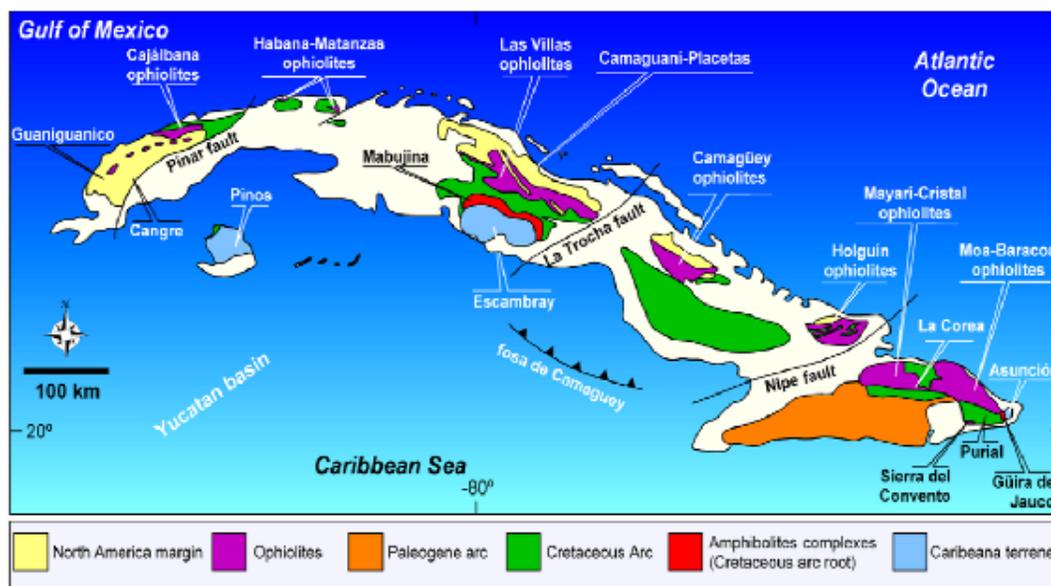


Figura 9. Fotografía del mapa esquemático que muestra la extensión superficial del Cinturón ofiolítico cubano. Blanco-Quintero, 2010.

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

La parte inferior del complejo de gabros se caracteriza por presentar un marcado bandeamiento, mientras que la parte superior es isótropa. En este macizo también existen numerosos cuerpos de cromititas y sills de gabros, así como diques de gabros y

de pegmatoides gabroicos (Fonseca et al. 1985; Proenza, et al. 1998). Los sills de gabros y las cromititas se localizan en la parte más alta de la secuencia mantélica, en la zona de transición entre las peridotitas con texturas de tectonitas y los gabros bandeados.

El Complejo Transicional (MTZ) se constituye principalmente de harzburgitas, lherzolitas y websteritas con bolsones y bandas duníticas, todas serpentinizadas, a veces con cromititas podiformes, diques de gabroides y diques aislados de plagiogranitos. En ocasiones se observan complejos de haces entrecruzados de diques zonados de plagioclasitas, gabroides y pegmatitas, impregnando una masa de serpentinitas brechosas, probables representantes de antiguas cámaras magmáticas colapsadas. (Iturralde 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, 1996a), 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 litocristalocásticas con estratificación gradacional y laminar. La secuencia superior no está bien aflorada y las rocas se presentan con agrietamientos intensos y metamorfizadas, 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, Cabonico 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 -Turoniense) está compuesta por tobas y lavabrechas andesíticas, dacitas, tufitas, argilitas, lutitas vulcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños

cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza y Carralero, 1994; Gyarmati y otros, 1997), 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 norte y sur 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 (Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990; Gyarmati y otros, 1997). 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 (Millán 1996; 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 (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella 2000).

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 (Cobiella et al. 1977; Quintas, 1989, 1996; Gyarmati y Leyé O'Conor 1990).

La Formación Picota de edad Maestrichtiense es una secuencia típicamente olistostrómica. Posee una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado. 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 (Cobiella, 1978; Quintas, 1989). 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) (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella 2000). 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 60m de espesor (Formación Sabaneta) (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella 1997; Proenza y Carralero 1994) la cual yace sobre una secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) (Iturralde-Vinent 1976) o descansa discordantemente sobre las formaciones Mícara y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas Cretácicas (Nagy y otros 1983). 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 (Albear y otros 1988; Quintas 1989, 1996).

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 (Cobiella 1978; Quintas 1989, 1996; Gyarmati y Leyé O'Conor 1990).

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 (Cobiella 1988; Quintas 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990). 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 (Quintas 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor 1990; Crespo 1996).

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; Gyarmati y Leyé O'Conor 1990).

La Fm. Maquey de edad Oligoceno-Mioceno Inferior está compuesta fundamentalmente por alternancia de lutitas, areniscas, arcillas calcáreas y espesor variable de calizas biodetríticas (Cobiella 1988; Quintas 1989; Crespo 1996).

NEOAUTÓCTONO

El "Neoautóctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Las rocas del Neoautóctono constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada poco deformada que aflora en las cercanías de la costa formando una franja que cubre discordantemente los complejos más antiguos y que estructuralmente se caracterizan por su yacencia monoclinal suave u horizontal (Quintas 1989; Iturralde-Vinent, 1994, 1996; Rodríguez 1998). Son representativas de esta secuencia las formaciones Cabacú, Yateras, Jagüeyes, Majimiana, Júcaro, Río Maya y Jaimanitas.

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-calcareo y a veces algunos lentes de margas arcillosas en la parte inferior (Nagy y otros 1976; Quintas 1989; Gyarmati y Leyé O'Connor 1990).

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 (Iturralde-Vinent, 1976; Nagy y otros 1976; Cobiella 1978; Gyarmati y Leyé O'Connor 1990; Manso 1995; Crespo 1996).

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 (Nagy y otros 1976; Albear y otros, 1988; Manso 1995).

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; Gyarmati y Leyé O'Connor 1990). 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; Gyarmati y Leyé O'Connor 1990).

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 (Gyarmati y Leyé O'Connor 1990).

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 (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.

En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad Mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste-suroeste;

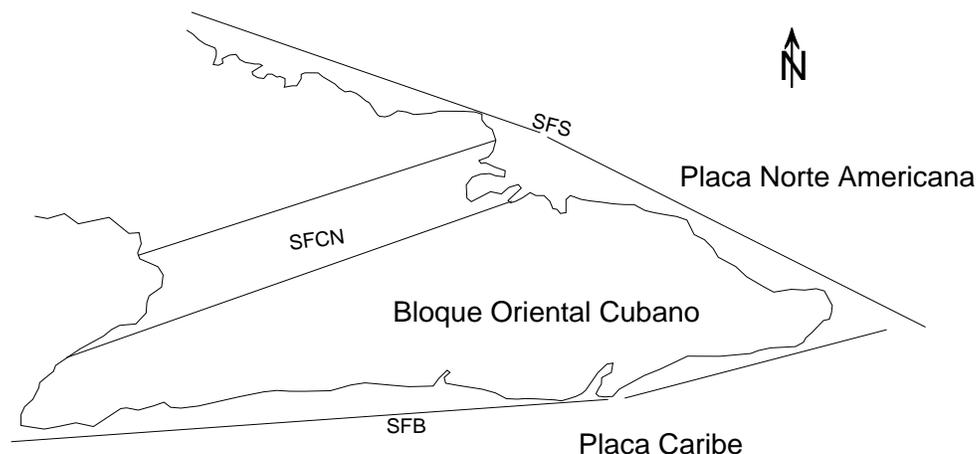


Figura 10. Mapa Esquemático del Bloque Oriental Cubano. Nombre de los Sistemas de Fallas: SFS, Sistema de Falla Sabana; SFB, Sistema de falla Bartlett; SFCN, Sistema de Fallas Cauto-Nipe. Tomado de Blanco-Quintero, 2003.

noroeste-sureste y norte-sur, esta última, característica para las vulcanitas de la parte central del área. Las deformaciones más complejas, se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos 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 este-oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinal u horizontal (Campos 1983 y 1990).

Los movimientos verticales son los responsables de la formación del sistema de horts y grabens que caracterizan los movimientos tectónicos recientes, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior, que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste, que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.(Figura 11).

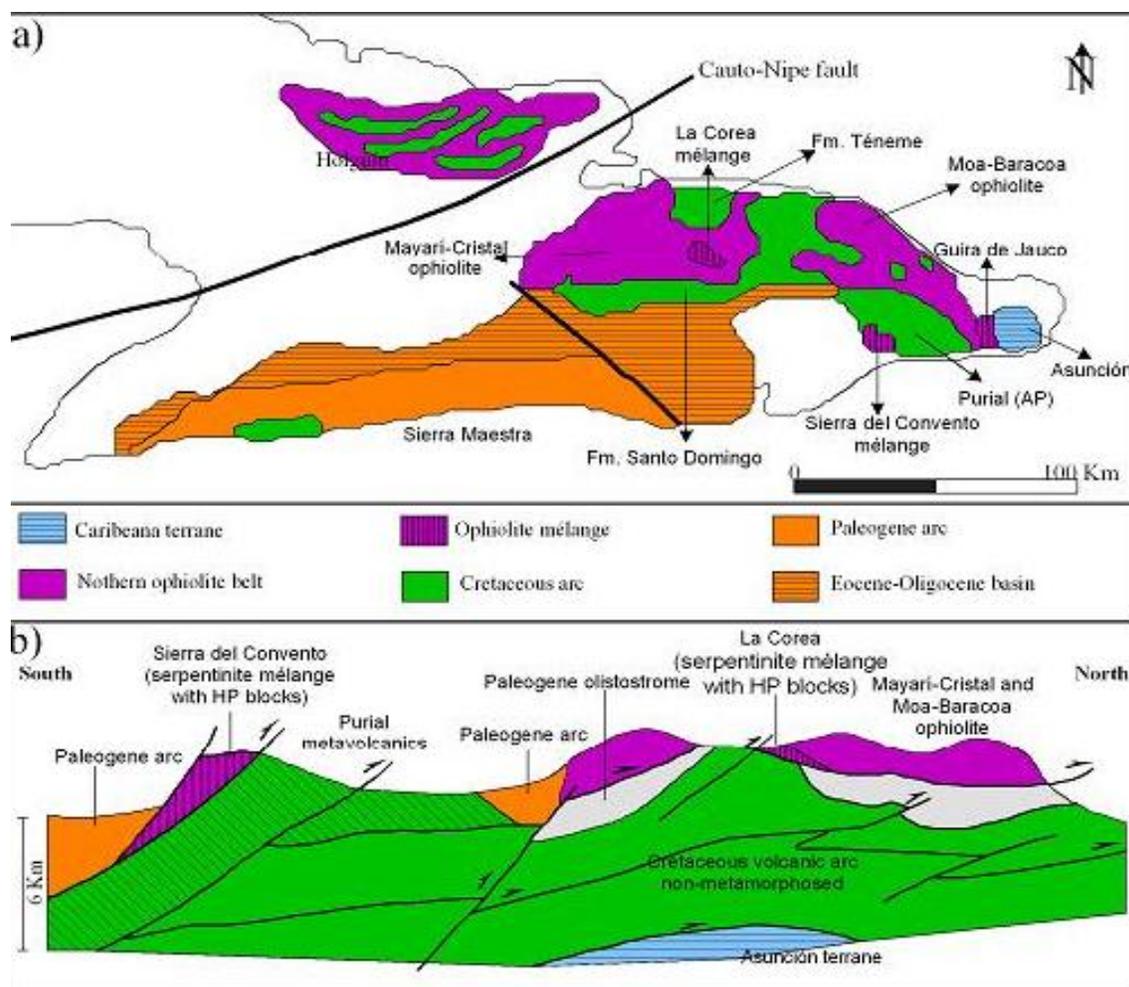


Figura 11. a) Foto de mapa geológico esquemático que muestra las principales unidades geológicas, de Cuba Oriental, mostrando su relación con las ofiolitas. b) Corte generalizado de Cuba Oriental. Tomado de (Blanco-Quintero 2010).

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 nordeste de Cuba oriental forman parte del cinturón ofiolítico que se encuentra emplazado en la porción norte del territorio cubano. (Muñoz, J.N. 2004). En el complejo, existe un predominio de las litologías

ultramáficas, entre ellas se encuentran, en primer lugar harzburgitas, dunitas y en menor grado lherzolitas y piroxenitas, las que están afectadas por los procesos de serpentización, es por ello que en menor o mayor grado, las ultramafitas y mafitas están serpentizadas, 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 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, ortopiróxeno, clinopiróxeno, 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, 1976) para rocas compuestas esencialmente por olivino, ortopiróxeno y clinopiróxeno.

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

Las peridotitas, que aunque están serpentizadas, son posibles diferenciarlas entre los principales tipos según Streckeisen (1989), serán subdivididas en: dunita, dunita enstatítica (si el piroxeno presente, hasta un 10% es enstatita), harzburgita, harzburgita clinopiroxénica (si el clinopiróxeno está presente en rango de 1 a 10%), lherzolita,

wehrlita y wehrlita 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 Cajalbana al oeste, hasta Baracoa al este, 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 (Millán, 1996). 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 (Fonseca et al., 1984; Iturralde-Vinent, 1996). Sin embargo, la presencia de efusivos con particularidades geoquímicas de toleitas intraplacas ha sido además reportada en ofiolitas septentrionales de la región de Matanzas (Llanes et al, 1997; Kerr et al., 1999).

Haciendo una generalización de la información petrologo-geoquímica de las ofiolitas en Cuba (las del melange septentrional, las emplazadas en los terrenos sudoccidentales y las anfibolitizadas), 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 petroológico y geoquímico, se ha revelado la presencia de los niveles oceánicos que constituyen una asociación ofiolítica, de muro a techo: tectonitas o ultramafitas metamorfizadas 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 (Pentenyi y Garcés, 1988; Gyarmati, et al., 1990; Rodríguez et al., 1997, Llanes et al., 1997, 1999; Proenza, 1997; Ando et al.1998). 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 (Nicolas y Prinzhofer, 1983; Lippard et al., 1986; Nicolás, et al. 1988; Boudier y Nicolás, 1995).

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 (gabroicas) descritas en Cuba se destacan los gabros normales, gabros olivínicos, gabros anfibólicos, gabros anfibolitizados 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 SiO₂ 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 – $(\text{Mg}, \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Fe})_2 \text{SiO}_4$ (Blanco, I. 2003).

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.

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.

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, los que cuestiona la incidencia de la fusión parcial como mecanismo responsable de la deformación de las rocas refractarias.

7. El número de Mg del 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.

8. El número del Cr de la cromita accesoria varia, 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 mantélicas.

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 mantélicas percoladas. Los sills de gabros contribuyen al transporte de magmas en la MTZ, y serían el resultado de la solidificación de volúmenes discretos de magma

intergranular, acumulados a determinados niveles en la zona de transición, de forma que las peridotitas impregnadas representarían trazas en la zona percolada. (Proenza et al 1999)

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 ferro-niquelífera está compuesta predominantemente por los óxidos e hidróxidos de Fe, Al, Cr, Mg, Co y Ni; aunque en profundidad (zona de saprolita) no se comporta de igual forma; en este horizonte predominan los silicatos niquelíferos. (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

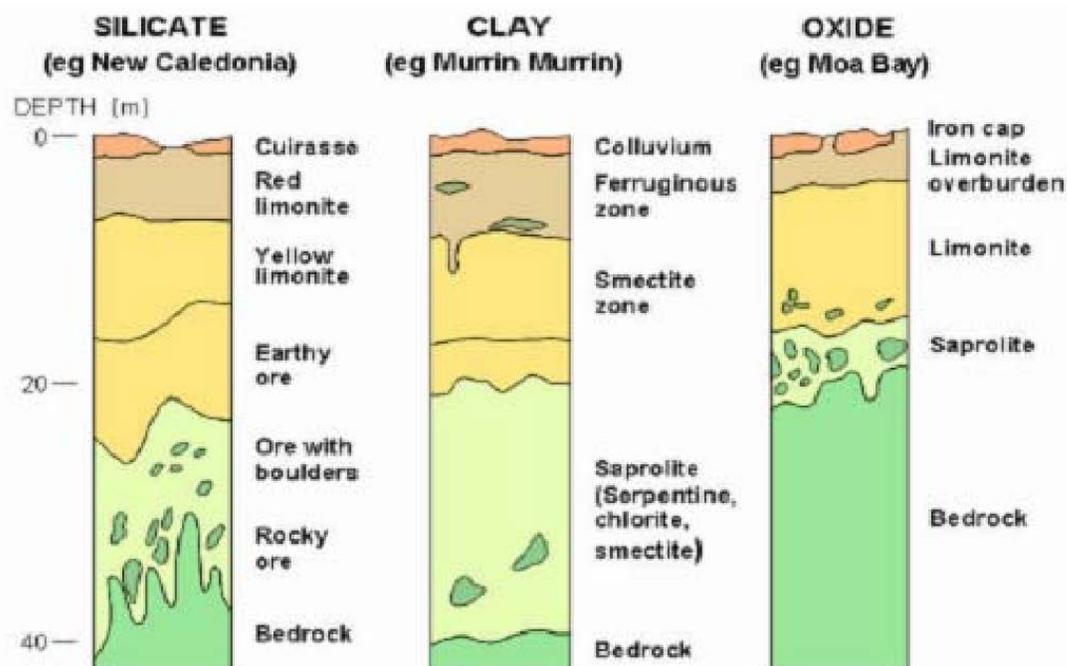


Figura 12. Esquema comparativo de los principales tipos de perfiles lateríticos

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

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

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, trabajos de campo e interpretación de los resultados). Además recoge todos los métodos de análisis que contribuyen 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

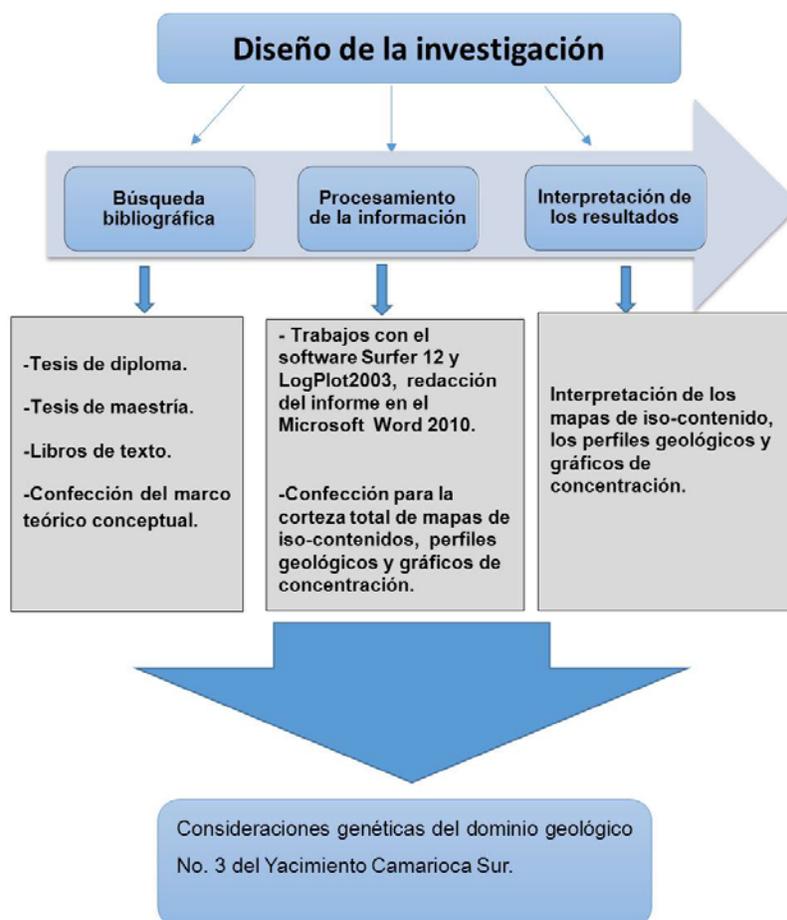


Figura 13. Flujograma de la investigación.

2.2 Búsqueda bibliográfica

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 la 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 SiO₂, 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 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. Para la confección de los mapas de concentración se toma la base de datos del yacimiento y se escogen los valores de las coordenadas y las concentraciones del elemento que se desea mapear. Para los mapas de puntos se escogen las coordenadas y los pozos. Después que se terminan se les asigna la leyenda, escala de colores y de distancia y el nombre del mapa que le corresponde.

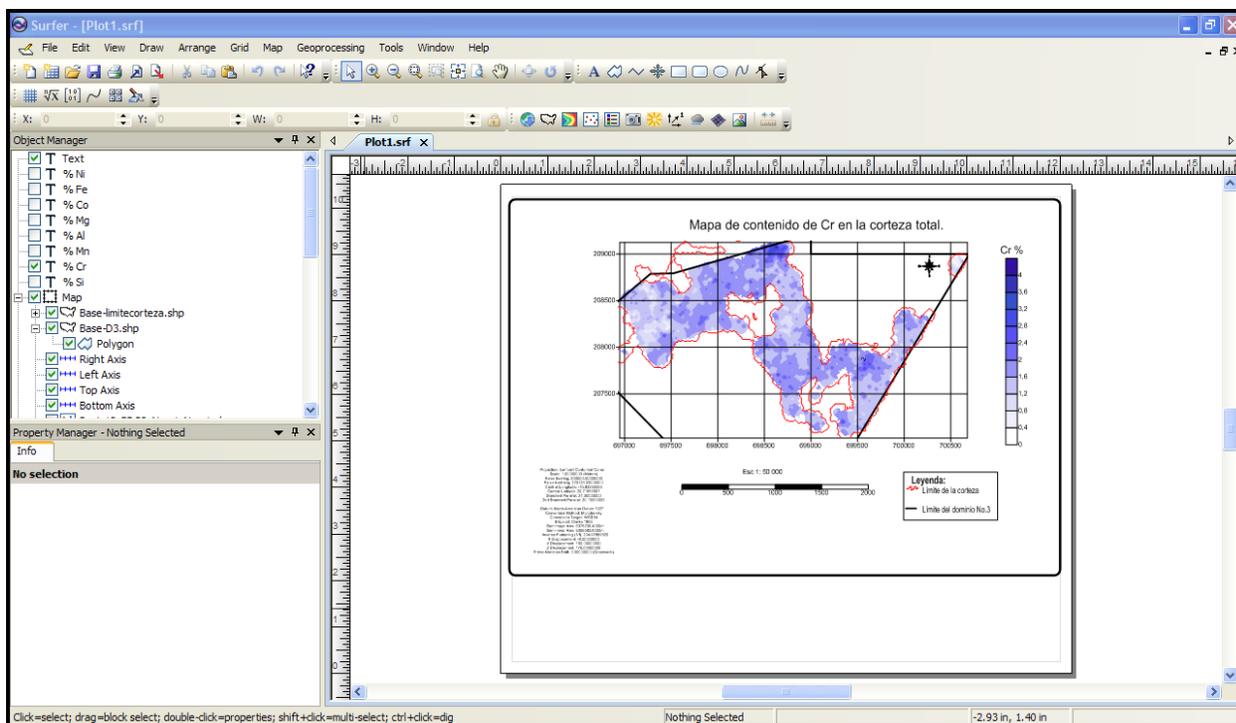


Figura 14. Software (Surfer 12) utilizado en la confección de los mapas de contenidos de los mapas para la corteza total.

Para la elaboración de los gráficos de los horizontes del pozo que muestran el comportamiento geoquímico en profundidad de los componentes útiles y nocivos en dominio geológico No.3 del yacimiento Camarioca Sur, se utilizó el LogPlot 2003 el cual permite hacer una representación gráfica en profundidad de la variación 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 columnas de los horizontes del pozo, 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 seleccionan los comandos que se quieren ejecutar que pueden ser: gráficos, columnas de horizontes de pozos, escalas y columnas de descripción por horizontes y el programa lo va representando en una ventana que se crea con el nombre de LogDesing, donde la misma se divide en tres secciones: la parte superior donde se puede establecer un encabezado, donde se le agrega el nombre a lo que se representa gráficamente; el área en la cual se realizan todos los gráficos es la sección central y la más importante de las tres porque es la que da una vista previa de lo que

se va a obtener una vez que se haya terminado de procesar la información, la última y no menos importantes es la parte inferior donde se puede trabajar de igual forma que en la parte superior , como se muestra en la figura 15 .

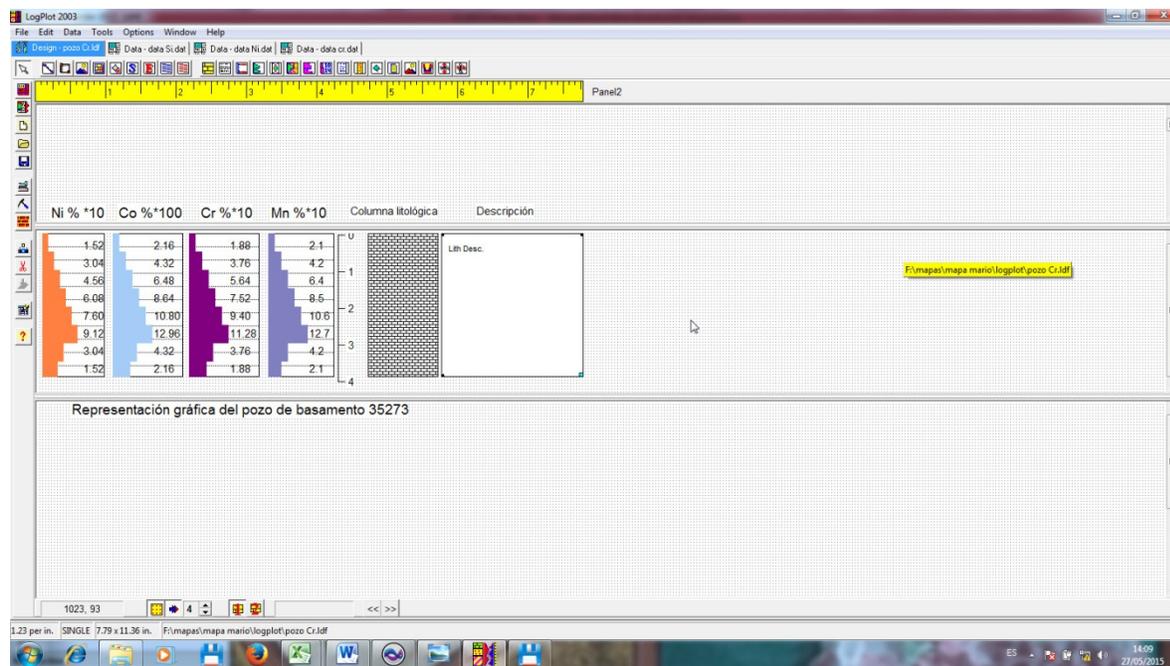


Figura 15. Software (LogPlot 2003) especializado en la realización de perfiles y comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad.

Además del LogDesing en este software se crea una Data Editor. Esta es una ventana al igual que el LogDesing, en la cual se introduce toda la información necesaria para la confección de los histogramas y las columnas de representación de los horizontes del pozo. Para la confección de las columnas se necesita la potencia de cada horizonte cortado por el pozo, el nombre del material encontrado en cada horizonte para asignarle una trama que lo represente en el perfil del pozo y las descripciones de cada material. 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.

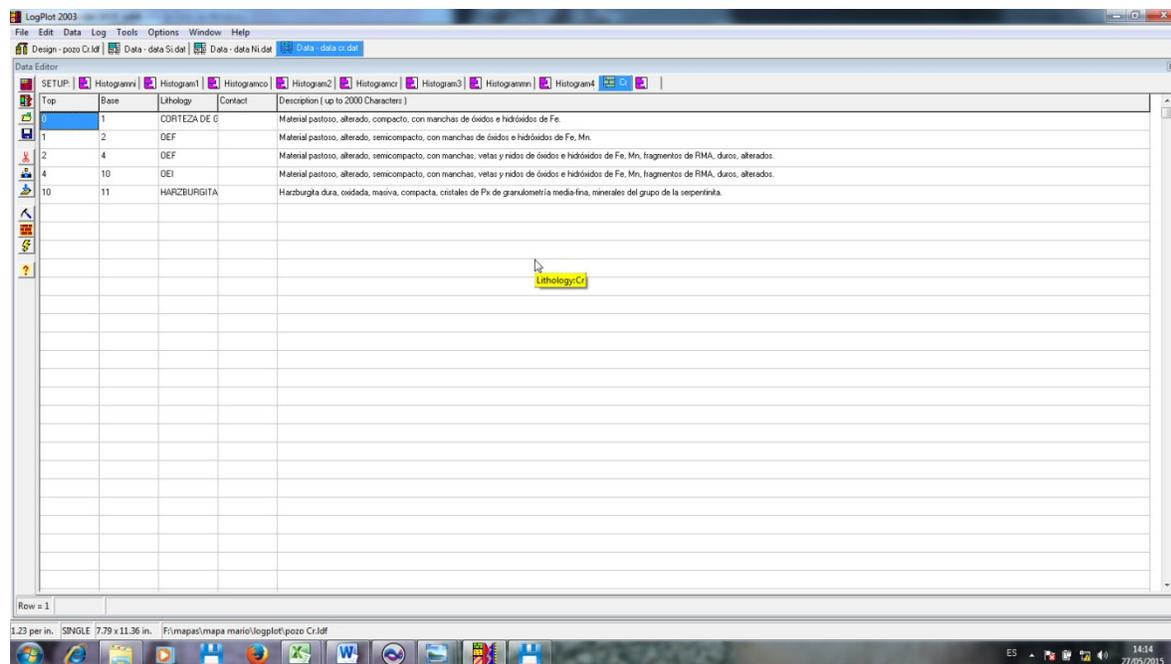


Figura 16. Software (LogPlot 2003). Representación de la Data Editor para la creación de perfiles de horizontes de la corteza cortada por los pozos.

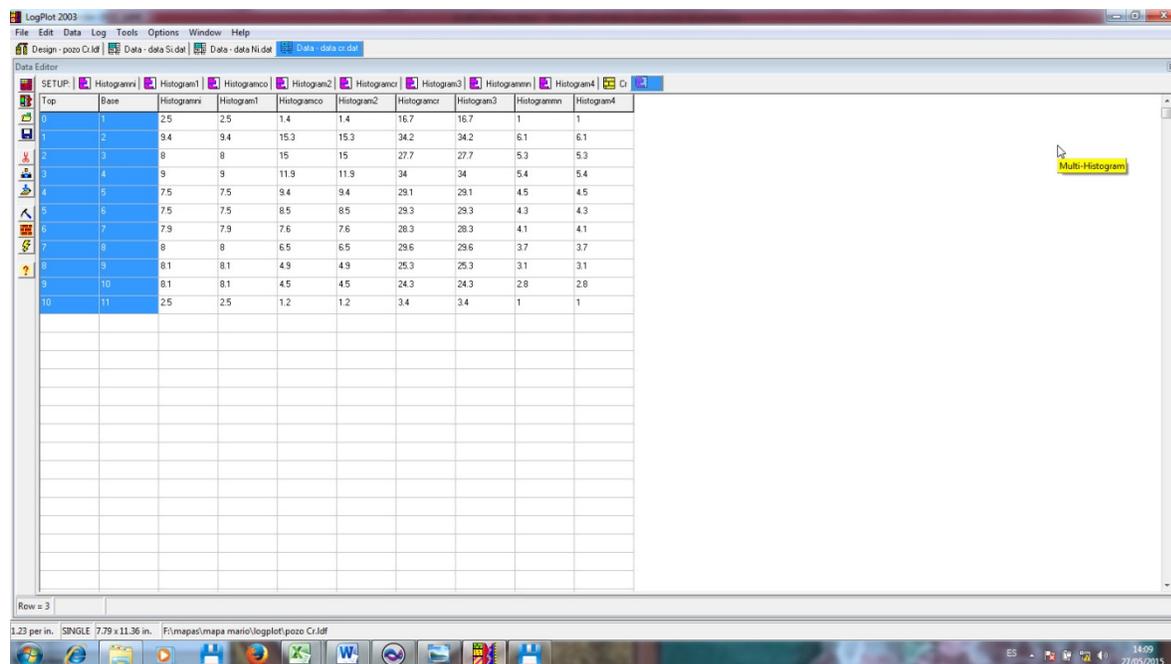


Figura 17. Software (LogPlot 2003). Data para la confección de los histogramas.

Después de rellenar la data y el LogDesing se ejecuta el programa para que grafique los datos introducidos. El programa crea 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, así si no están bien, se puede arreglar sin ningún contratiempo. En el programa se le pueden asignar colores, tramas y texto a los gráficos para un acabado de mejor comprensión para el que lo interpreta. En el gráfico ya terminado, se pueden describir las variaciones de las concentraciones de los elementos en profundidad y obtener una idea visual de la corteza cortada por el pozo como se muestra en figura 18.

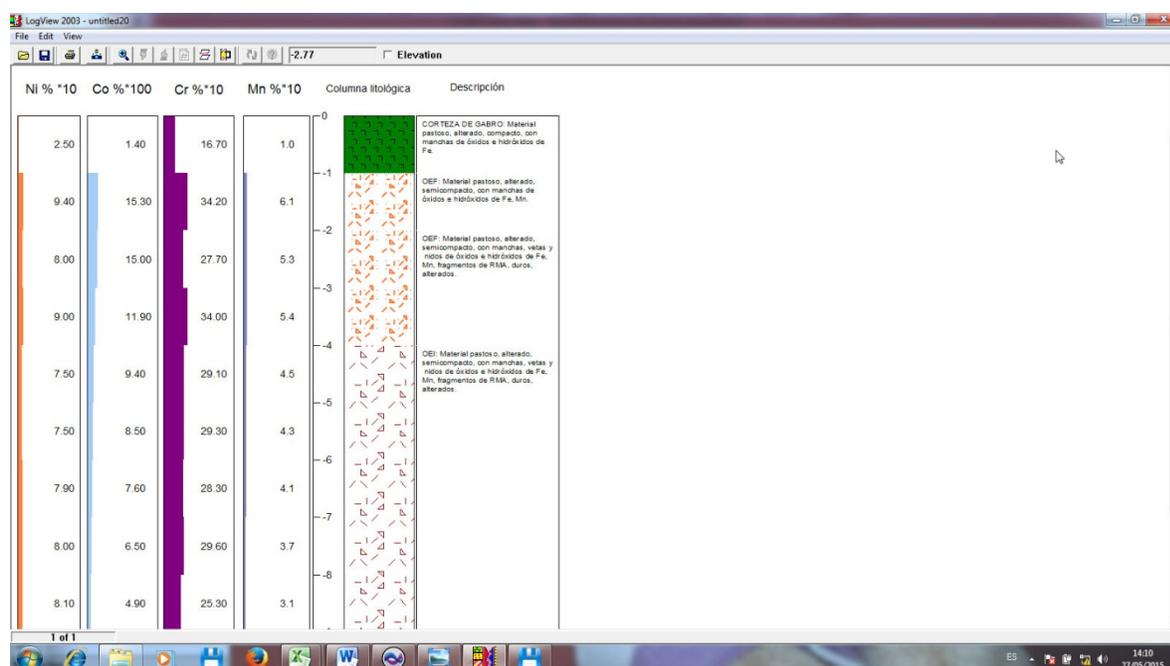


Figura 18. Software (LogPlot 2003). Vista previa de histogramas y perfil vertical de los horizontes de la corteza en el pozo.

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, SiO₂, Mn, Mg y Al y del 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 del perfil de los pozos seleccionados 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 Características que diferencian los dominios

3.3 Características del Dominio No.3

3.4 Análisis geoquímico de los mapas de iso-contenido de la corteza total

3.5 Comportamiento de la potencia de la corteza total del dominio No. 3 yacimiento Camarioca Sur

3.6 Gráficos del comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad para las zonas con valores anómalos

3.1 Introducción

En este capítulo se exponen los resultados de la investigación, se realiza la caracterización geoquímica de los componentes útiles y nocivos de los diferentes horizontes de la corteza laterítica en el Dominio No.3 del yacimiento Camarioca Sur, a través de los mapas de iso-contenido elaborados a partir de los valores promedios de cada elemento a evaluar, permitiendo así el análisis de su comportamiento en la corteza.

3.2 Características que diferencian los dominios

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.

En el yacimiento las litologías principales que guardan relación con la mineralización son: harzburgitas, harzburgitas serpentinizadas, dunitas, serpentinitas y lherzolitas,

apareciendo con frecuencia rocas alteradas a partir de ultramafitas antigoríticas, talcitas. Las alteraciones que diferencian a los dominios y que están presentes con mayor fuerza son predominantemente de talcización en la parte norte, mientras que al sur se incrementa la carbonatización.

3.3 Características del Dominio No.3

En la siguiente figura se muestra el mapa geológico del dominio No.3. En este hay un predominio de corteza laterítica y las rocas presentes están representadas por dunitas y harzburgitas en su mayoría. Existen diseminadas áreas donde se muestra la presencia de peridotitas ligeramente alteradas y de serpentinitas. En él están señalados 6 pozos que se tomaron como referencia para confeccionar los gráficos de los horizontes de la corteza que ofrecen, descripción de este y los histogramas que muestran el comportamiento en profundidad de los elementos que se tomaron como referencia.

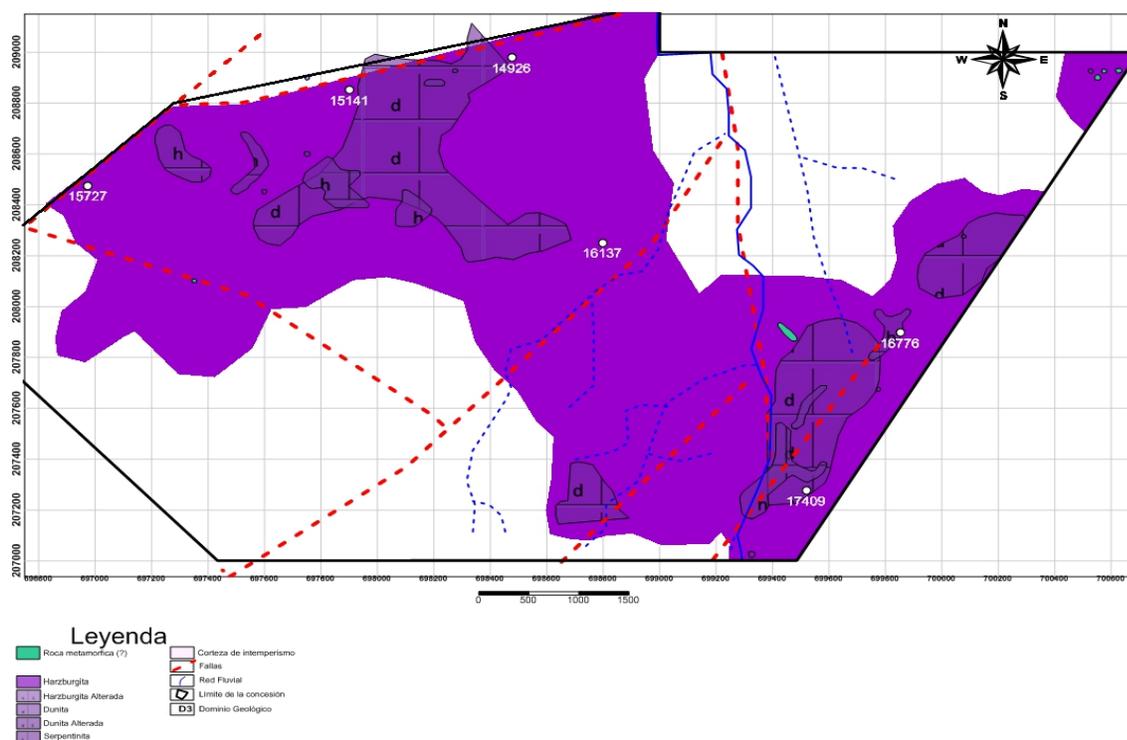


Figura 19. Mapa geológico con la ubicación de los pozos graficados

Ubicado al sur del yacimiento, le corresponden las mayores alturas y morfológicamente sobre él se desarrolla un sistema de elevaciones y depresiones paralelas de orientación noreste como consecuencia de la fracturación en esa dirección, que a la vez controla el desarrollo de formas del relieve cárstico. Precisamente sobre las zonas deprimidas se acumulan los máximos espesores de corteza, la que se caracteriza por tener una relación inversamente proporcional de la potencia del friable y potencia mena, presentando la mayor potencia de escombros del yacimiento, mientras que los contenidos de Fe y Ni son los más bajos del yacimiento, con una concentración homogénea cercana al 1 % en toda el área. Los mayores contenidos así como los mayores espesores del friable se localizan en un pequeño sector en el borde SE del dominio.

El dominio No.3 presenta como rasgos distintivos un 13.72 % de los perfiles de intemperismo del tipo saprolítico y un 82.40 % del tipo laterítico - saprolítico. En este dominio se concentran los mayores valores magnéticos del yacimiento, en su parte N-NE limitando con el dominio II. Presenta las mayores intercalaciones de horizontes de SB (53 %) en la Limonita de Balance.

3.4 Análisis geoquímico de los mapas de iso-contenido de la corteza total

3.4.1 Comportamiento de los componentes útiles del dominio (Ni, Fe y Co) para la corteza total

Níquel

En el área de estudio para la corteza total, el contenido de Ni oscila entre 0.1% como valor mínimo y 1.8% como valor máximo. Los valores predominantes van de 0.6% hasta 1.5% que se concentran en la parte central del dominio y alguna que otra intercalación hacia el noroeste

El contenido de Ni aumenta desde los sectores periféricos del dominio hacia el centro, alcanzando picos máximos de hasta 1.8% de concentración. Estos valores se deben, a que la corteza que ahí se desarrolla, esta sobre rocas ultramáficas serpentinizadas

como las dunitas y harzburgitas que tienen gran cantidad de olivino siendo beneficioso para la concentración del Ni. El valor más diseminado es de 0.6% que se encuentra en todos los sectores del dominio. Figura 20.

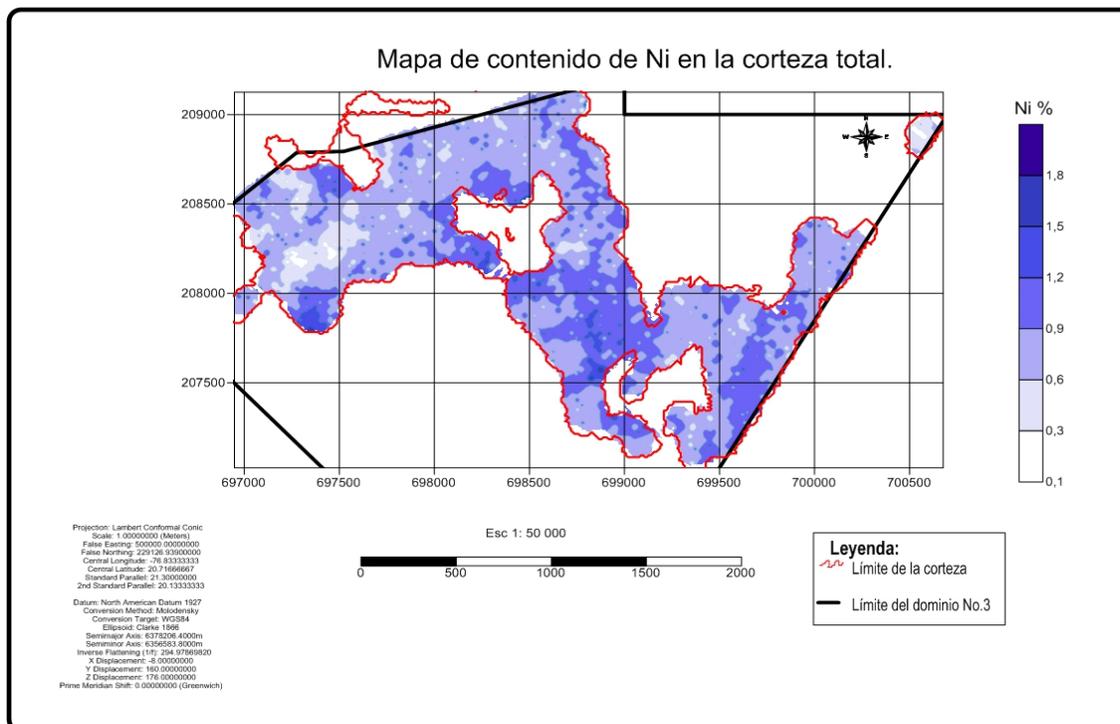


Figura 20. Mapa de iso-contenido de (Ni) en la corteza total

Hierro

El contenido de Fe para la corteza total en el área de estudio tiene un valor mínimo de concentración de 2% hasta un 46% como valor máximo. Los valores predominantes van desde un 26% hasta un 38% y se encuentran distribuidos por todo el dominio con predominio en la parte sur de este.

Las concentraciones de Fe más abundantes son de 34% que tienen fuerte predominio en toda la extensión del dominio geológico. Los valores más altos de contenido de Fe son de 46% y se encuentran en el sector nor-oeste del dominio, también se encuentran los más bajos que descienden hasta 2% de concentración. Esto se debe a que, en este

sector la corteza que ahí se desarrolla esta sobre peridotitas alteradas y asociado a una mineralogía representada por minerales oxidados. Figura 21.

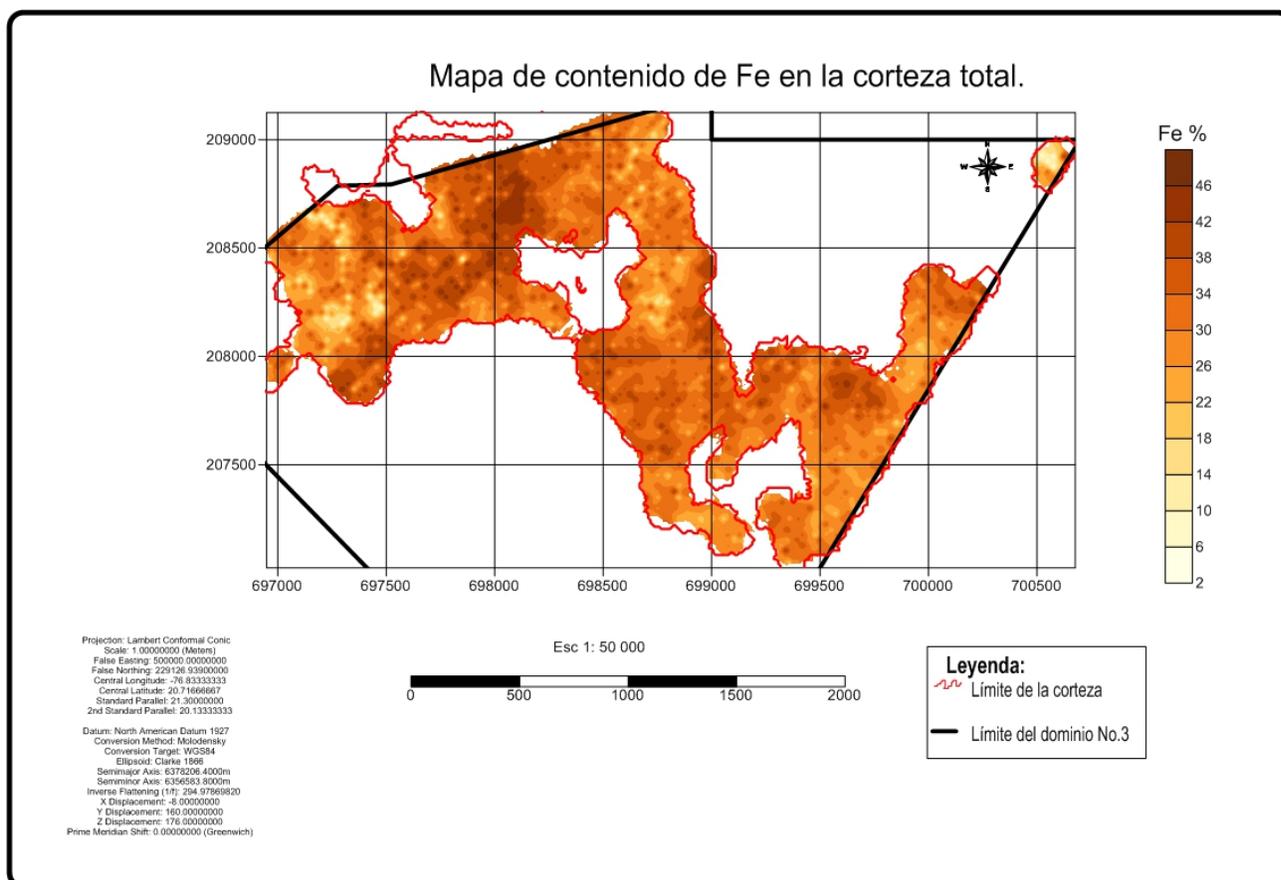


Figura 21. Mapa de iso-contenido de Fe en la corteza total

Cobalto

Las concentraciones de Co para la corteza total en el dominio van desde valores mínimos de 0.01% hasta valores máximos de 0.44%. Los valores predominantes están desde un 0.08% hasta un 0.2% y están esparcidos por todo el dominio.

El valor predominante es de 0.08% y ocupa la mayor parte del dominio. Estos son valores realmente bajos y en la región nor-oeste alcanza los mínimos de concentración que descienden hasta 0.01%. En el sector nor-oeste también se encuentran las mayores concentraciones en zonas casi imperceptibles que alcanzan hasta 0.44%. Son característicos de este dominio los valores muy bajos de Co. Figura 22.

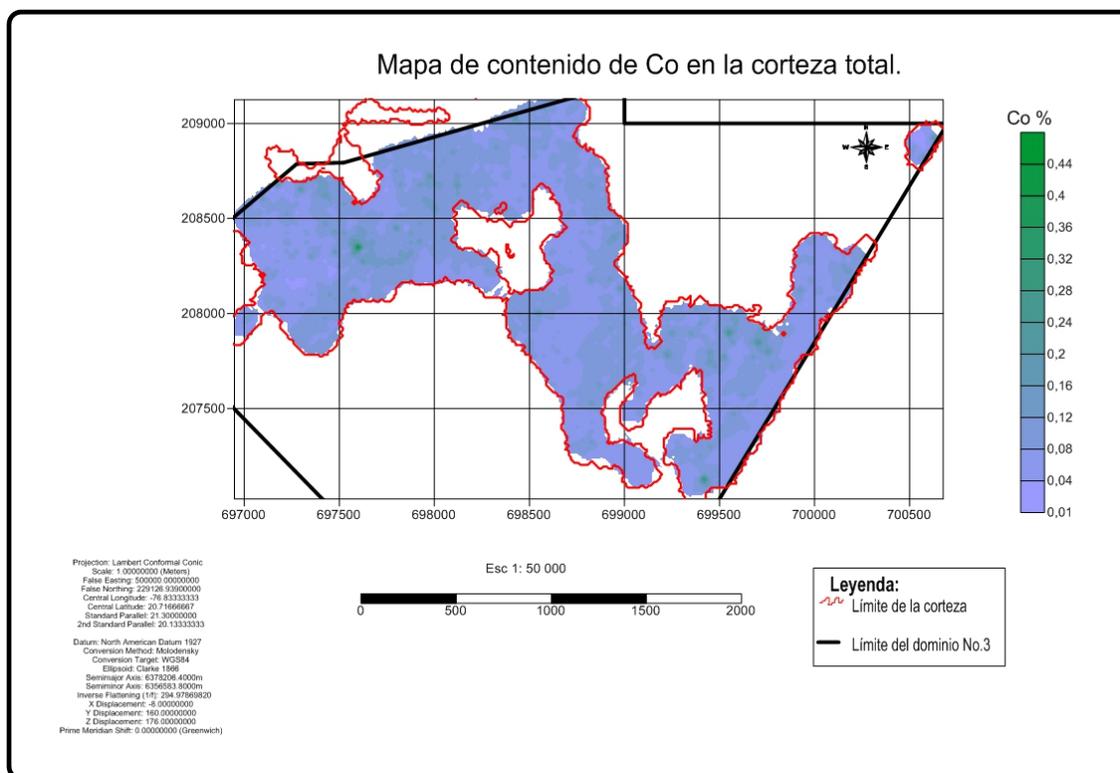


Figura 22. Mapa de iso-contenido de Co en la corteza total

3.4.2 Comportamiento de los elementos nocivos (SiO_2 , Mg y Al) en la corteza total

Sílice

Los contenidos de SiO_2 en el dominio para la corteza total oscilan entre 2% como valor mínimo hasta 50% como máximo valor de concentración. Los valores predominantes abarcan desde un 22% hasta 34%, estos se encuentran dispersos por todo el dominio teniendo mayor abundancia en el centro del dominio.

El valor de concentración predominante es de 22%, este se encuentra disperso por todo el dominio. Los valores más altos de SiO_2 se encuentran en las periferias de los extremos del dominio en la parte norte y sur, donde alcanzan valores de 50% de concentración en pequeños sectores separados unos de otros. En el sector nor-este del dominio también hay concentraciones considerables de SiO_2 . Estos valores disminuyen desde el norte y el sur hacia la parte central del dominio hasta llegar a los valores mínimos que descienden a un 2% de concentración. Figura 23.

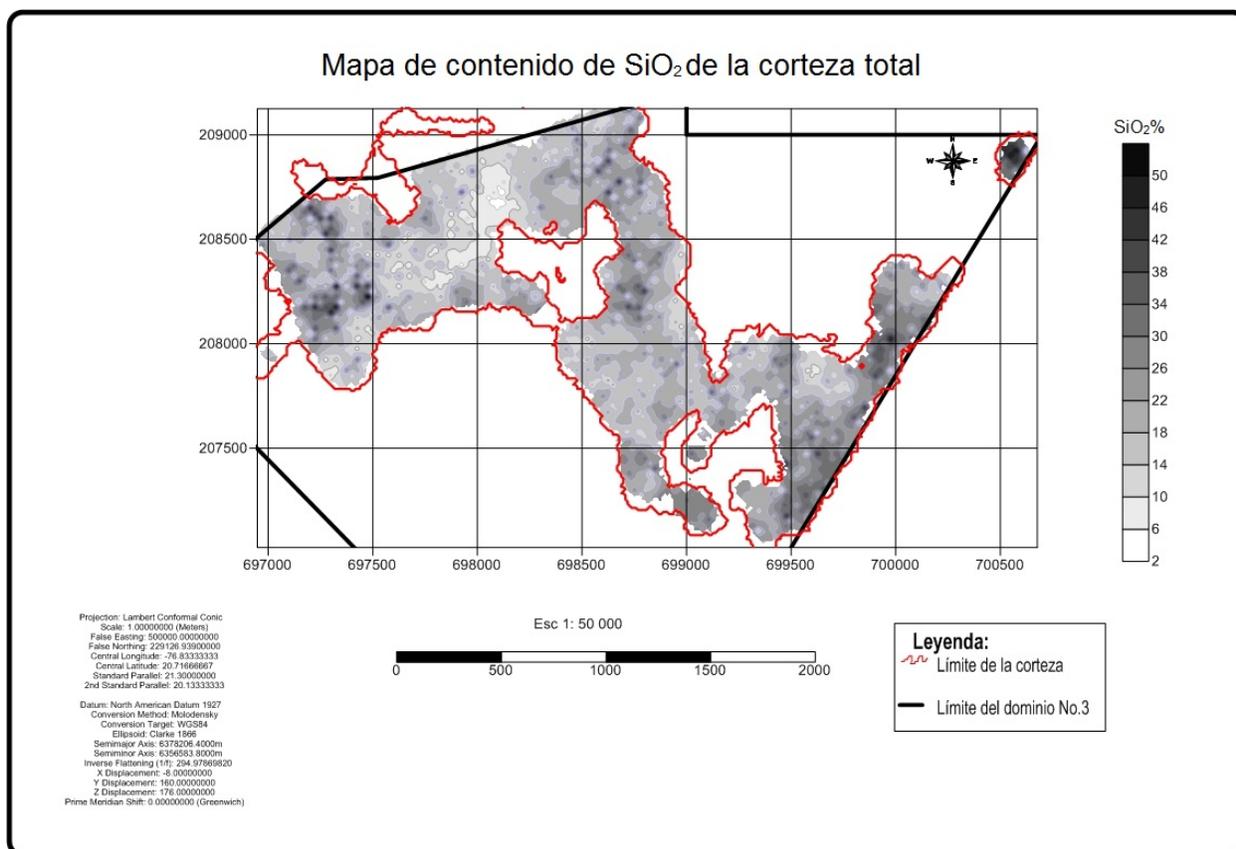


Figura 23. Mapa de iso-contenido de SiO₂ en la corteza total

Magnesio

El contenido de Mg en la corteza total del dominio tiene una variación que va de 1% como valor mínimo hasta 20% como valor máximo de concentración de este elemento. Los valores de concentración predominantes en el dominio abarcan desde un 1% hasta un 8% y se encuentran esparcidos por todo el dominio principalmente en la zona central y sur-este.

El valor de concentración más abundante es de 4%, este ocupa casi la totalidad del dominio estando más presente en la zona central. Las mayores concentraciones de Mg se encuentran en la parte norte del dominio alcanzando valores de un 20%, en la zona nor-este del dominio en una pequeña área también se alcanzan concentraciones elevadas de Mg. Estas concentraciones disminuyen desde el norte del dominio hasta el centro y sur de este hasta llegar a los valores de concentración de 1%. Figura 24.

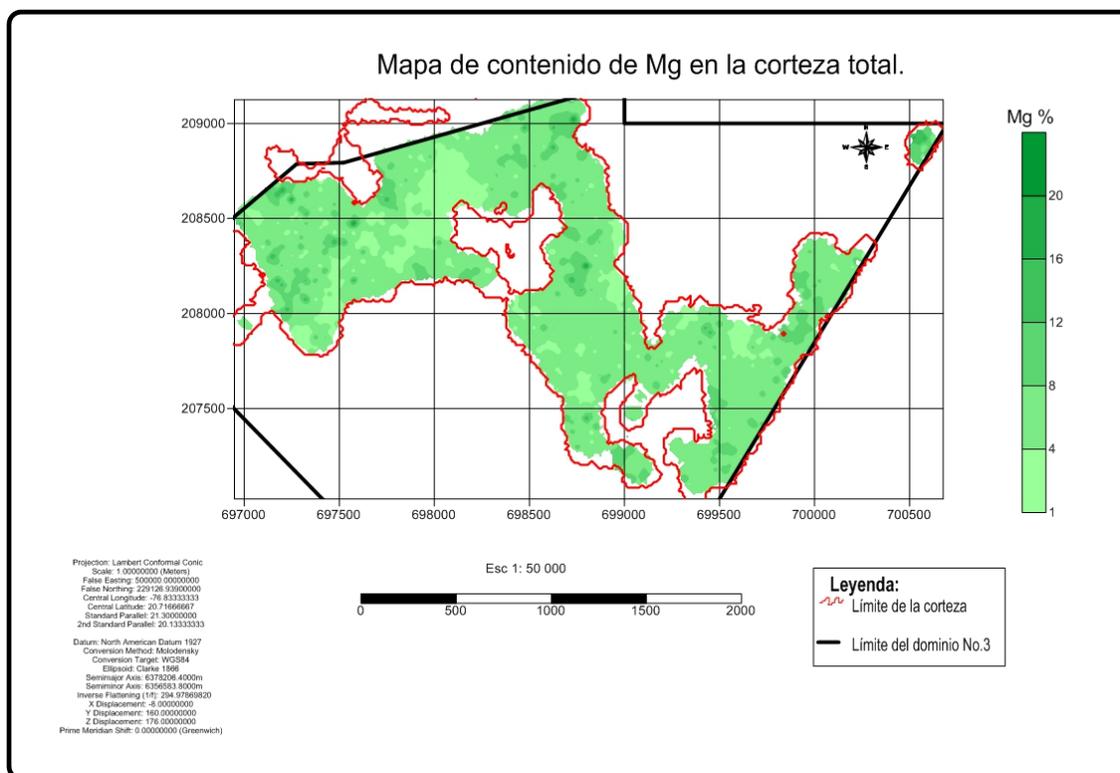


Figura 24. Mapa de iso-contenido de Mg en la corteza total

Aluminio

Las concentraciones de Al_2O_3 para la corteza total en el dominio oscilan alrededor de valores que van desde el 1% como valor mínimo hasta un 16% como máximo valor de concentración de este elemento. Los valores predominantes están entre 1% y 8%, estos se encuentran dispersos por todo el dominio ocupando casi la totalidad de este.

El valor de concentración predominante es de 4%, este adquiere gran representatividad en la parte norte y central del dominio. Los mayores valores de concentración de Al se encuentran en el sector nor-oeste y en una pequeña parte al nor-este del dominio, alcanzando valores de 16%. Están distribuidas en esporádicas concentraciones de pequeña extensión. Las mayores concentraciones disminuyen de norte a sur siendo cada vez menores hasta alcanzar los valores mínimos en el extremo sur y sur-este del dominio. La presencia de Al en este dominio es realmente pobre lo que es beneficioso.

Figura 25.

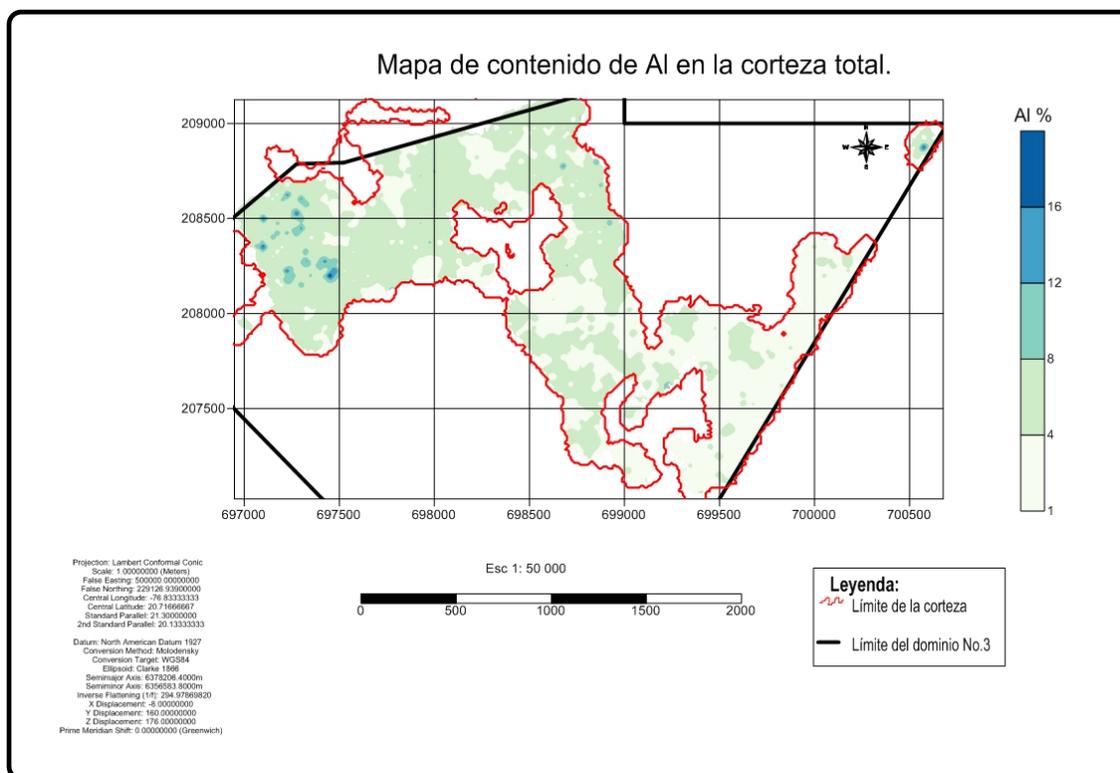


Figura 25. Mapa de iso-contenido de Al en la corteza total

3.4.3 Comportamiento del Cr y el Mn en la corteza total

Cromo

El Cr en el dominio tiene una concentración para la corteza total con valores que oscilan entre 0.1% como concentración mínima y 4% como máxima concentración en el dominio. Las concentraciones predominantes tienen valores que van desde 1.2% hasta un 2%. Estas se encuentran distribuidas en toda la parte nor-oeste, centro y sur sur-este del dominio.

El valor de concentración más representativo es de 1.2%, este se encuentra en toda la parte sur sur-este, en la parte más central y en el extremo nor-oeste del dominio. Los mayores valores de concentración de Cr de 4% se alcanzan en una pequeña zona en la parte nor-este del dominio, siendo esta la única zona en todo el dominio donde se alcanzan estos valores. Las concentraciones más significativas de Cr disminuyen desde zonas a los lados de la parte más central, hacia el mismo centro y hacia el norte

y sur del dominio hasta alcanzar los mínimos de concentración de 0.1%. La concentración de Cr en este dominio es bastante pobre. Figura 26

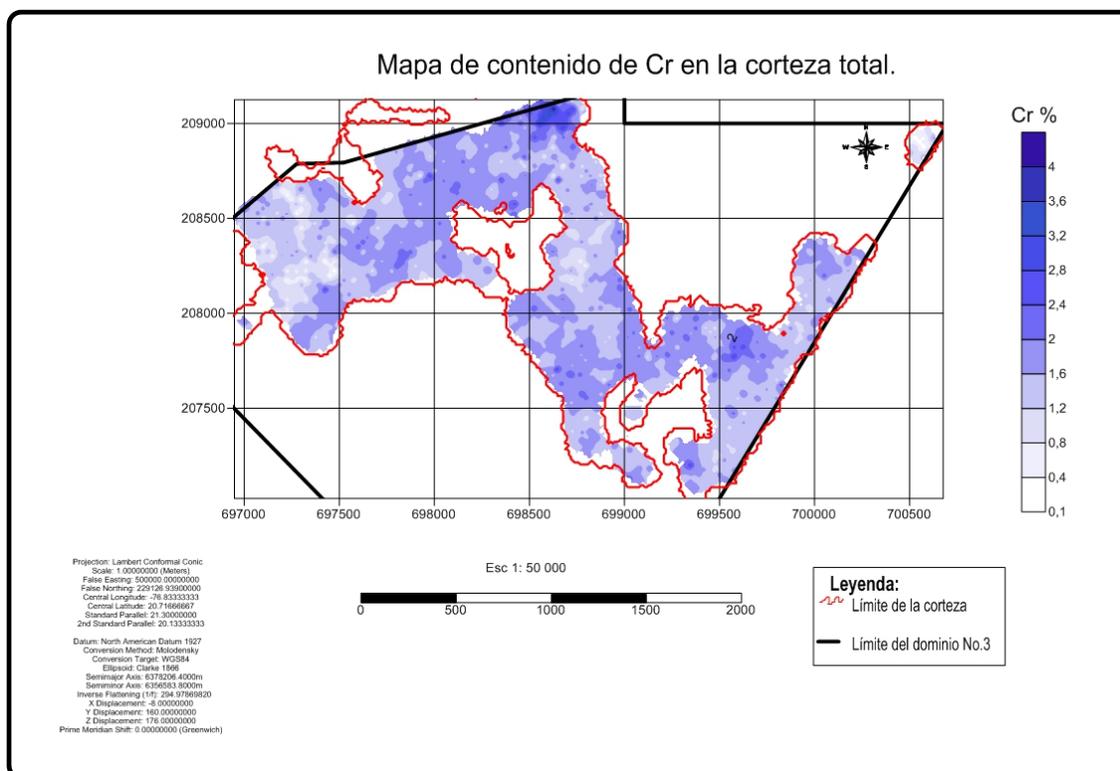


Figura 26. Mapa de iso-contenido de Cr en la corteza total

Manganeso

La concentración de Mn para la corteza total en el dominio tiene valores que oscilan entre 0.1% como concentración mínima y 2% como máximo valor de concentración de este elemento. Los valores de concentración que más abundan están entre 0.4% y 0.8% y están esparcidos a lo largo de todo el dominio ocupando la mayor parte de este.

El valor de concentración más representativo es de 0.4% y ocupa la mayor parte del dominio tanto en la parte sur como en el centro y norte de este. El mayor valor de concentración de Mn de 2% se alcanza en la parte sur en una pequeña zona casi imperceptible. La concentración de Mn en el dominio es muy pobre encontrándose los menores contenidos en la parte nor-oeste en zonas bien definidas, así como en la parte

nor-este y en el sur. En el centro abundan las concentraciones de valor medio. Figura 27.

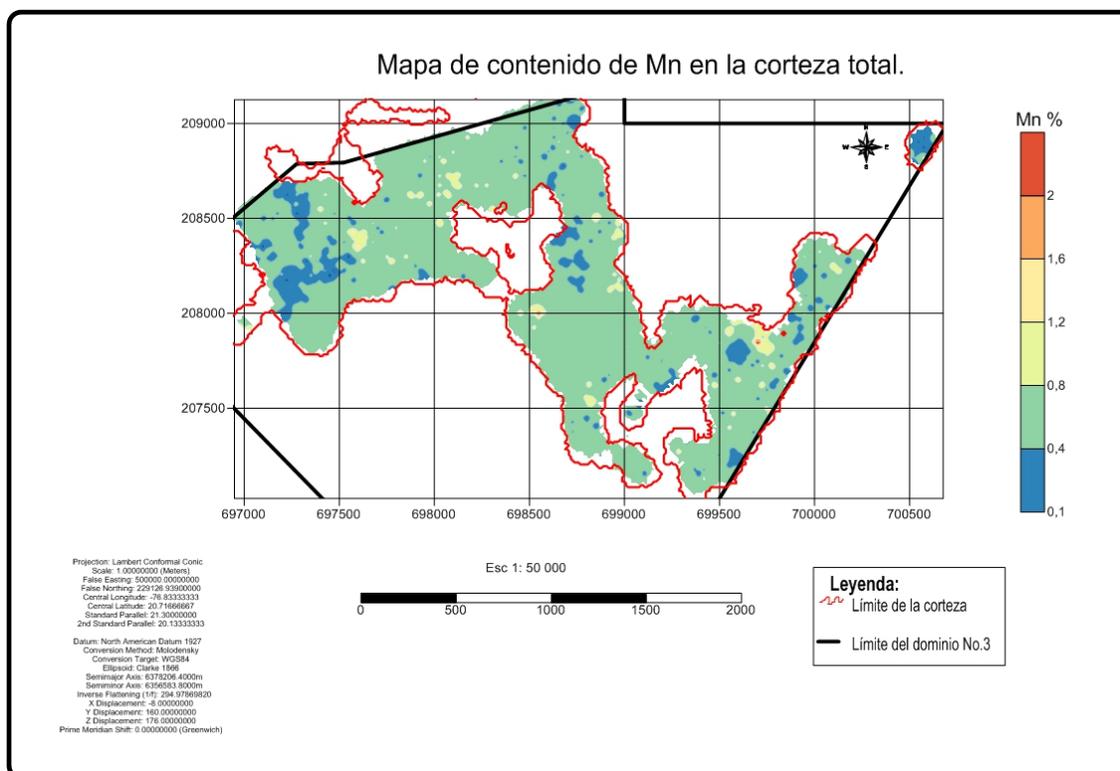


Figura 27. Mapa de iso-contenido de Mn en la corteza total

3.5 Comportamiento de la potencia de la corteza total del dominio No. 3 yacimiento Camarioca Sur.

La potencia de la corteza en el Dominio No.3 del yacimiento Camarioca Sur varía desde 1 hasta 28m. Los espesores más frecuentes están entre 12 y 16m y se encuentran distribuidas por todo el dominio. Las mayores potencias que están entre 24 y 28m, se encuentran en pequeños sectores al noroeste del dominio. Las menores potencias de 1 a 4m de espesor se encuentran en la parte noroeste y noreste del dominio con pequeñas ares de extensión. Es de gran importancia conocer la potencia de la corteza ya que influye directamente en la interpretación de los mapas de contenido para la corteza total. Ver Anexo 7.

3.6 Gráficos del comportamiento geoquímico de los elementos útiles y nocivos en profundidad para las zonas con valores anómalos

Para el análisis del comportamiento geoquímico de los componentes útiles y nocivos en la corteza de intemperismo del dominio No.3 del Yacimiento Camarioca Sur se confeccionaron 6 gráficos de comportamiento de concentración en profundidad de elementos y de horizontes de la corteza, donde se observa la variación de los contenidos de los elementos químicos en profundidad, teniendo en cuenta los pozos perforados en sectores con valores anómalos de hierro (Fe), níquel (Ni) y cobalto (Co).

El pozo de basamento 16137 se encuentra en una zona rica en SiO_2 , en él se podrá observar el comportamiento de este en profundidad y comprobar el comportamiento de los demás elementos en una región donde el SiO_2 es predominante. El pozo tiene una profundidad de 5m y se encuentra ubicado en la parte central del yacimiento, los primeros 3m están representados por serpentina desintegrada en forma de un material pastoso oxidado, alterado y semicompacto con vetas y nidos rellenos de óxido e hidróxido de Fe. De los 3-5m se encuentra harzburgita alterada y oxidada con vetillas rellenas de minerales del grupo de la serpentina y cristales de piroxenos. Elementos como el Co fue multiplicado por 100 y el Cr, Ni, Al y Mn por 10 por tener baja representatividad. Los contenidos de Fe son bastante bajos comparados con los de otros sectores, este disminuye con la profundidad. El mayor valor es de 14.18% que se encuentra en el horizonte de serpentina desintegrada debido a los óxidos e hidróxidos de Fe presentes. Hacia el horizonte de harzburgitas disminuye considerablemente hasta valores de 6.06%. El Ni y Co tienen una concentración muy pobre de 0.56% y 0.035% hacia la superficie del pozo, el cual disminuye con la profundidad hasta valores de 0.34% y 0.007%. Los componentes nocivos como el Mg aumentan su concentración a medida que el pozo va profundizando desde valores de 16.5% en el horizonte de serpentina desintegrada hasta un 23.92% en la harzburgita, mientras que el aluminio disminuye con la profundidad desde valores de 1.33% hasta 0.44%. El SiO_2 se mantiene estable durante toda la profundidad del pozo con una gran concentración que varía entre 41 y 43%, esto debido a la presencia en el pozo, tanto de serpentina

desintegrada como de harzburgita que el SiO₂ es componente fundamental en su composición. Las bajas concentraciones de Fe están relacionadas con el tipo de roca que dio origen a la corteza en este sector. Figura 28.

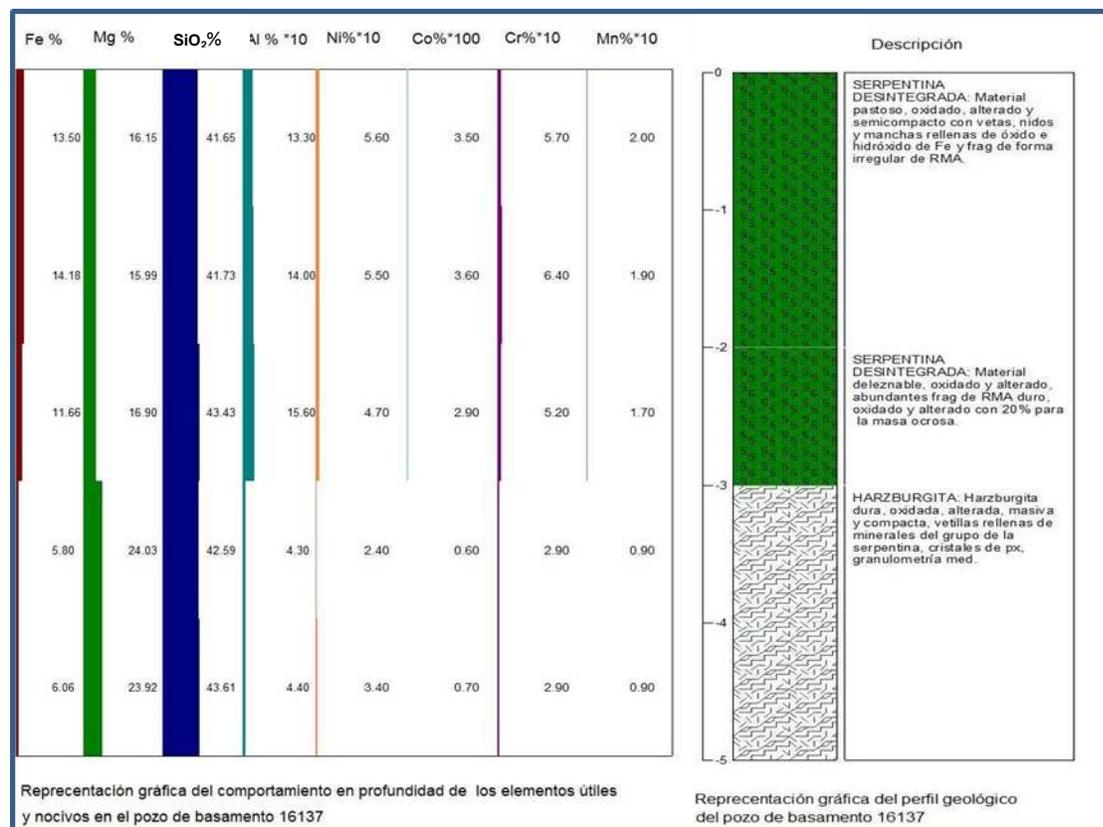


Figura 28. Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y horizontes, pozo 16137.

El pozo de basamento 14926 hace un análisis en profundidad de los elementos útiles y nocivos basándose en su respectivo grafico de los horizontes del pozo e histograma. El pozo tiene una profundidad de 8m y se encuentra ubicado en la parte norte del yacimiento. Los primeros 3m están representados por serpentina desintegrada en forma de un material pastoso oxidado con vetas y manchas de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn y con fragmentos de RMA. De los 3-5m se desarrolla OEF con presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. De 5-6m se encuentra el OEI en el cual se muestran vetas y nidos de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. De los 6-8m hay harzburgitas oxidada masiva con cristales de piroxenos y minerales del grupo de la serpentina. El contenido

de Fe en la serpentina desintegrada es bastante discreto con valores máximos de 6.34%. Hacia el horizonte de OEF experimenta un ascenso brusco hasta 37.70%. Después disminuye lentamente hasta alcanzar valores de 7.29% en el horizonte de harzburgita dura. El Al se comporta de igual manera. En el horizonte de serpentina desintegrada es pobre con concentraciones de 0.50%. Experimenta un ligero ascenso en los horizontes de OEF y OEI donde alcanza valores de concentración de 4.01%, luego vuelve a disminuir en el horizonte de harzburgita hasta llegar a valores de 1.05% de concentración. El Mg y el SiO₂ se comportan de forma diferente que los otros dos elementos, el Mg tiene altas concentraciones en la serpentina desintegrada y disminuyen lentamente hacia la zona de OEF y OEI de ahí comienza a subir la concentración hasta alcanzar su mayor valor de 23.60% en el horizonte de harzburgita dura. El SiO₂ se comporta de forma tal que aumenta desde la boca del pozo hasta el fin del horizonte de serpentina desintegrada con un valor de 51.46%, luego desciende bruscamente hasta 14.29% en la zona de OEF. De ahí comienza a ascender lentamente hasta alcanzar nuevamente un valor de concentración de 37.75% hacia el fondo del pozo en el horizonte de harzburgita dura. Los elementos útiles como el Ni y el Co tienen valores bajos de concentración como 0.24% y 0.012% respectivamente en el horizonte de serpentina desintegrada, estos experimentan un brusco ascenso hacia la zona de OEF donde alcanzan sus valores más altos de 1% el Ni y 0.16% el Co. En este pozo se evidencia una redeposición del horizonte de serpentina desintegrada sobre los horizontes de OEF, OEI y harzburgita. Después descienden lentamente sus concentraciones hasta el fondo del pozo en la harzburgita. Figura 29.

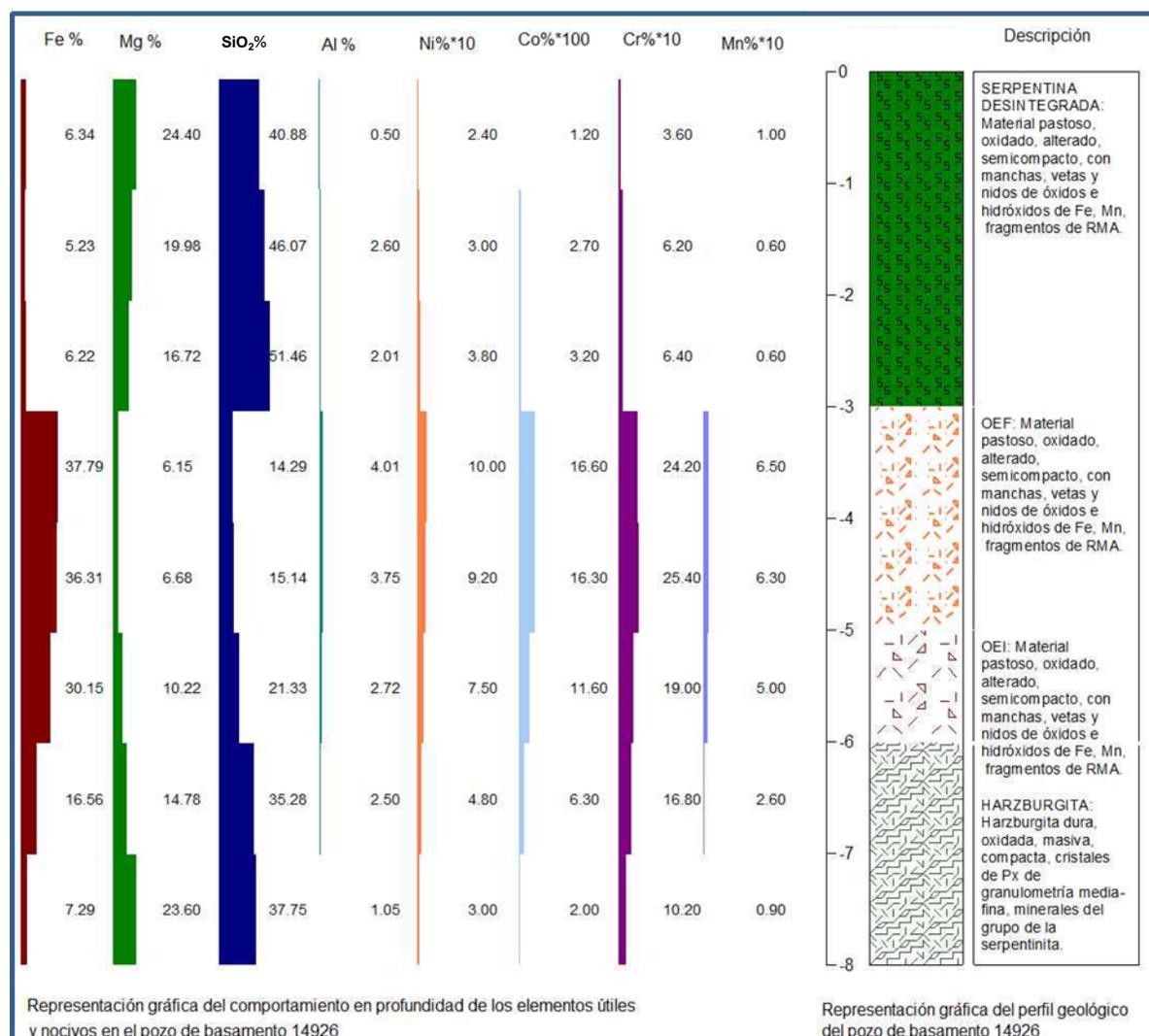


Figura 29. Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y horizontes, pozo 14926.

Para la confección de este gráfico se seleccionó el pozo de basamento 15141 que se encuentra en una zona donde el Fe es representativo con el fin de estudiar su concentración en profundidad y el comportamiento de los demás elementos en un lugar donde el Fe predomina. El pozo tiene una profundidad de 8.5m y se encuentra en la parte noroeste del yacimiento. Los primeros 2m están representados por OI en forma de un material pastoso alterado compacto con manchas de óxidos e hidróxidos de Fe. Desde los 2-6m se encuentra OEF el cual se encuentra como material pastoso alterado semicompactado con manchas y vetillas de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. De 6-6.5m

de profundidad se encuentra el OEI con características similares al del OEF solo que en esta hay fragmentos de RMA. A partir de los 6.5m y hasta los 8.5m se encuentra harzburgita, esta presenta cristales de piroxenos y minerales del grupo de la serpentina. El Fe se presenta en altas concentraciones. En la zona de OI y hasta el OEF alcanza valores de concentración de 48.50%. De ahí comienza a descender su concentración con la profundidad hasta llegar a un 23.78% al final de la zona de OEI. En el horizonte de harzburgita experimenta un descenso brusco para llegar a valores de concentración de 6.06% de Fe. La concentración de Al es bastante baja, disminuye gradualmente desde el horizonte de OI donde posee un valor de 4.93% de concentración máxima hasta alcanzar un valor mínimo de 0.45% en el horizonte de harzburgita. En las zonas de OEF y OEI tiene sus valores medios de 3.79% y 2.05% respectivamente. El Mg y el SiO₂ aumentan sus concentraciones con la profundidad, en el horizonte de OI son muy pobres sus contenidos con valores máximos de 0.89% y 3.13% respectivamente hacia el final de esta zona. En la parte final del OEF alcanza una concentración de 3.93% el Mg y 11.66% el SiO₂. En la zona de OEI tiene un ascenso significativo donde alcanza un valor de concentración de 12.11% el Mg y 26.32% el SiO₂. En el Horizonte de harzburgita alcanza su máximo valor de concentración de 24.23% y 39.22% respectivamente. Los elementos útiles como el Ni y el Co presentan una concentración de 0.92% y 0.055% respectivamente en el horizonte de OI. Los mayores valores de concentración de ambos elementos los alcanzan el horizonte de OEF donde el Ni llega a 1.17% y el Co a 0.092%, después descienden lentamente sus concentraciones hasta la parte final del pozo. Figura 30.

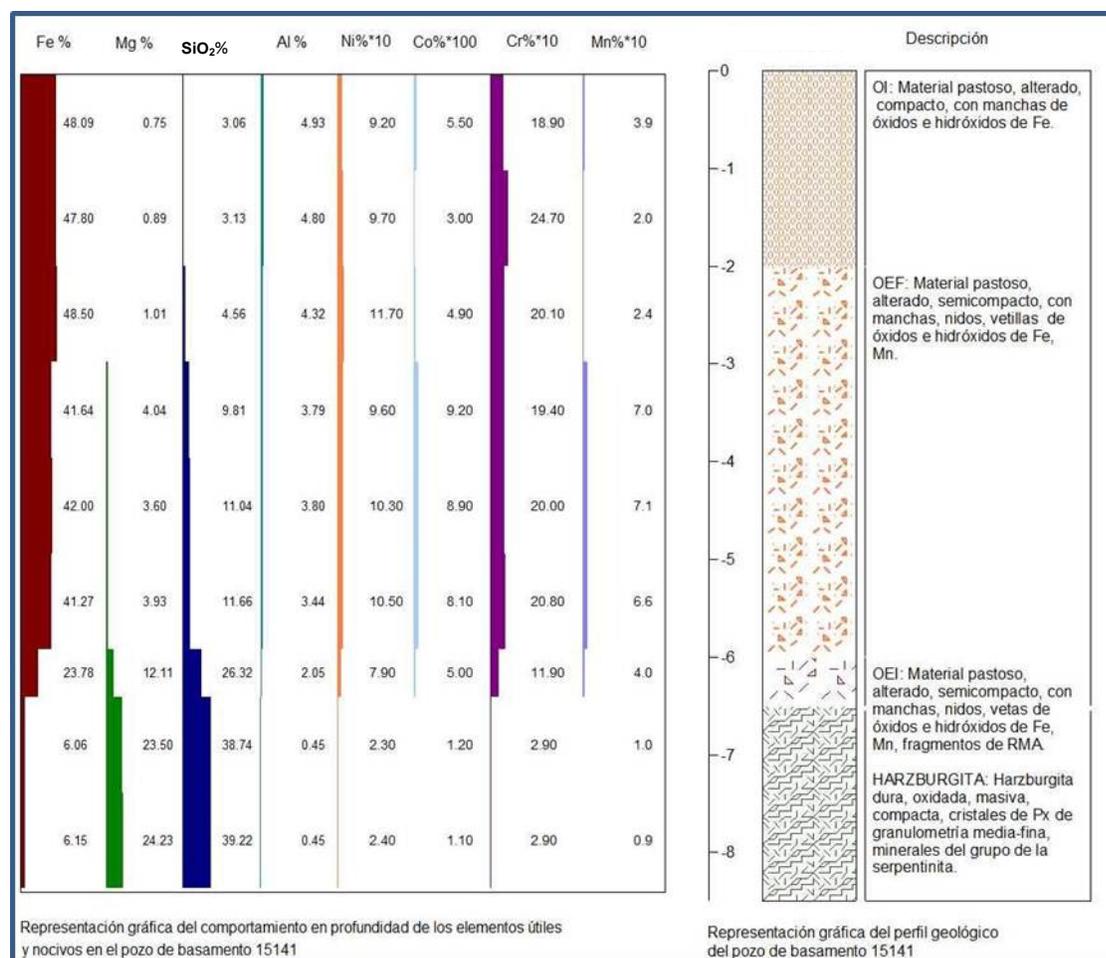


Figura 30. Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y horizontes, pozo 15141.

En el grafico se analiza el pozo de basamento 15727 el cual tiene una profundidad de 13m y se encuentra ubicado en la parte oeste del yacimiento. En el pozo se muestrearon 5 horizontes. En el primer metro se encontró OI con perdigones con formas subredondeadas de 0.1 a 0.3cm de grosor. Desde el primer metro hasta los 4m de profundidad se encontró OEF con una textura semiplástica, estructura poco definida y manchas de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. De 4-5m se documentó OEI con textura plástica manchas de óxidos e hidróxidos de Fe, vetas de Mn y fragmentos de serpentina desintegrada. Entre 5 y 11m se muestreo serpentina desintegrada con características similares a el OEI. A partir de los 13 metros de profundidad se encontró

harzburgita dura, masiva, con abundantes cristales de piroxenos de grano fino, se encuentra Fe y Mn en forma de óxidos.

El Fe presenta un comportamiento normal para esta corteza. Su concentración disminuye con la profundidad a medida que el pozo se acerca al horizonte de harzburgita. El mayor valor que alcanza es de 42.78% en la zona de OEF de ahí en adelante desciende lentamente hasta llegar a 6.07% de concentración en el horizonte de harzburgita. El Al se comporta de forma similar, a medida que el perfil del pozo va profundizando este disminuye su valor de concentración. Este elemento tiene una representación muy pobre alcanzando su mayor valor en el horizonte de OI con perdigones de 9.29%. En las próximas zonas disminuye su concentración hasta descender al valor de 0.62% en el horizonte de harzburgita. El Mg y el SiO₂ se comportan de igual forma lo que con concentraciones diferentes, ambos aumentan su concentración a medida que el pozo se hace más profundo. Las concentraciones de SiO₂ son mucho mayores que las de Mg, en la zona de OI con perdigones alcanzan concentraciones de 4.16% el Mg y 18.73% el SiO₂. En el OEF llegan a su mínimo valor y luego comienzan a ascender sus concentraciones (típico para las rocas como las serpentinas) hasta alcanzar sus máximos valores de concentración en el horizonte de harzburgita los cuales oscilan en 23.95% el Mg y 41.19% el SiO₂. Los componentes útiles como son el Ni y Co presentan comportamientos similares. Estos tienen concentraciones bajas en el OI con perdigones con valores de 0.39% el Ni y 0.023% el Co. Ambos experimentan un ascenso en el OEF alcanzando sus mayores valores de concentración de 1.10% y 0.10% respectivamente. De este horizonte en adelante comienzan a descender hasta el fondo del pozo llegando a los menores valores de concentración en todo el perfil los cuales rondan alrededor de 0.25% el Ni y 0.012% el Co. Figura 31.

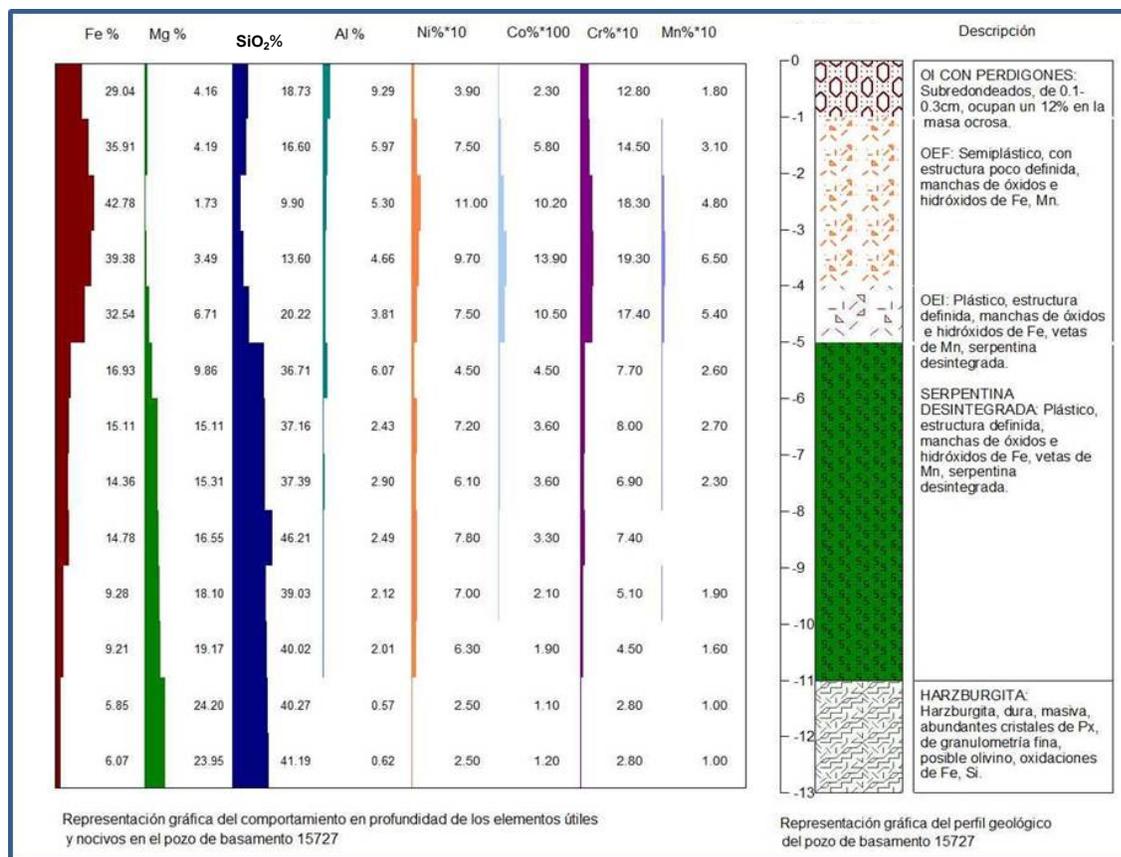


Figura 31. Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y horizontes, pozo 15727.

En el pozo de basamento 17409 se hace un análisis en profundidad del comportamiento de elementos presentes en la corteza haciendo énfasis en los elementos útiles y nocivos presentes en el perfil. El pozo tiene una profundidad de 8m y se encuentra localizado en el sector sur del dominio. En los dos primeros metros se documentó OI como material compacto, pastoso con manchas de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. Desde los 2 hasta los 6m se encontró OEI como un material semicompacto, pastoso, alterado con manchas de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn y se encuentran fragmentos de RMA. En los últimos dos metros se encontró harzburgita alterada, dura compacta con cristales de piroxenos.

El Fe presenta concentraciones altas que descienden a medida que profundiza el pozo. En los dos primeros horizontes disminuye lentamente desde 36.24% en la zona de OI

hasta 30.08% al final del horizonte de OEI. En el fondo del pozo en la harzburgita pierde valor bruscamente llegando a su mínimo de concentración que ronda los 6.14%. El Al disminuye su concentración de forma gradual desde el horizonte de OI con un valor máximo de 5.11% hasta un mínimo de concentración de 0.45% en la zona de harzburgita. El SiO₂ y el Mg mantienen un comportamiento similar desde la boca del pozo donde tienen los menores valores de concentración de 16.44% y 3.63% respectivamente. Luego comienzan a aumentar sus concentraciones gradualmente llegando a sus máximas concentraciones en el horizonte de harzburgita con valores de 40.62% para el SiO₂ y 24.01% el Mg. Los elementos útiles como el Ni y el Co descienden sus concentraciones con la profundidad. En el horizonte de OI alcanzan sus mayores valores de concentración de 0.69% para el Ni y 0.15% para el Co siendo este un valor significativo. De ahí en adelante descienden sus valores de concentración hasta llegar al horizonte de harzburgita donde llegan a los valores más insignificantes en todo el perfil los cuales están en 0.23% para el Ni y 0.012% para el Co. Figura 32.

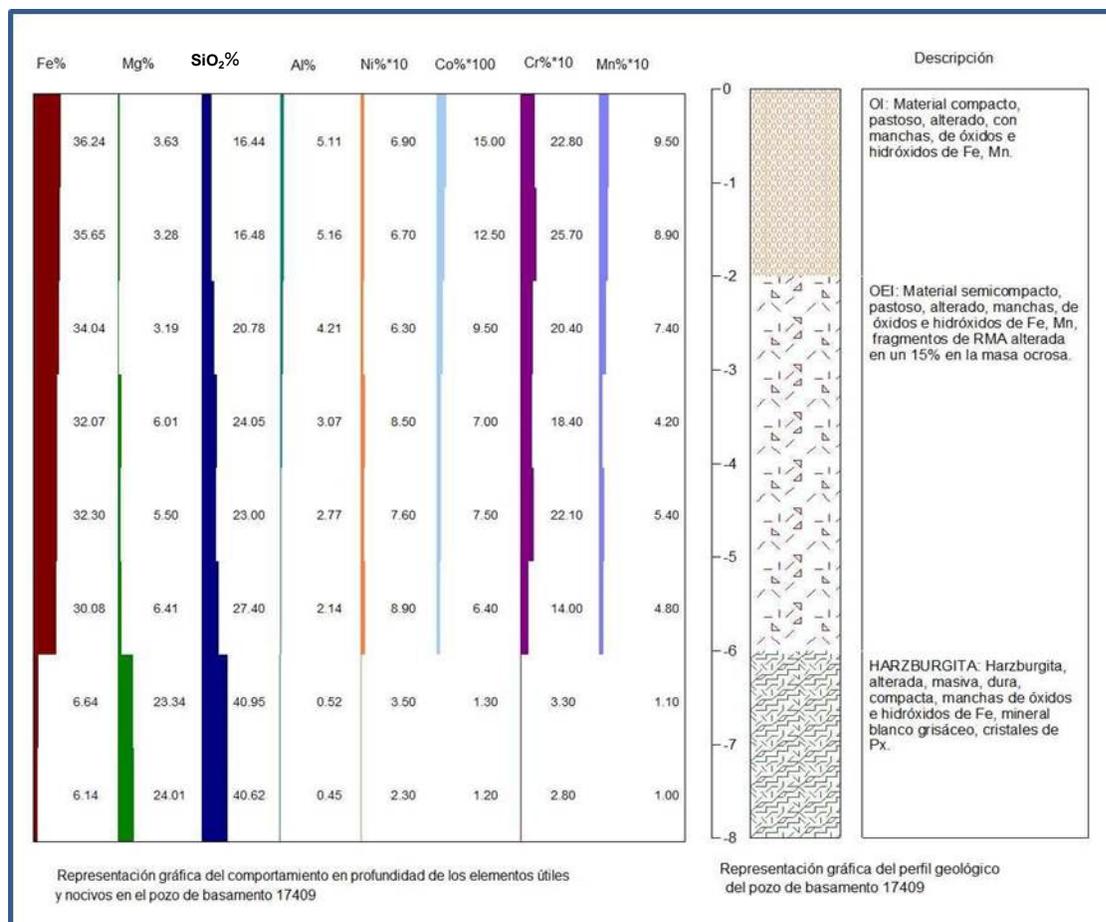


Figura 32. Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y horizontes, pozo 17409.

En el gráfico se hace un análisis en profundidad del pozo de basamento 16776 para comprender el comportamiento de los elementos útiles y nocivos que en él se detectaron. El pozo tiene una profundidad de 7m y se encuentra situado al oeste del dominio. Hasta los dos metros se encontró OEF en forma de un material pastoso semicompacto alterado con manchas y vetillas de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. El segundo horizonte está compuesto por serpentina desintegrada y tiene 1m de espesor. En él se encuentra un material pastoso semicompacto alterado con manchas, vetas y nidos de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn. De los 3-5m se encontró OEI con materiales semincompactos pastosos y alterados, presentan nidos y vetas de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, también se encontraron fragmentos de RMA. Desde los 5m de profundidad hasta el fondo del pozo se documentó harzburgita dura, masiva, compacta. De

granulometría de media a fina y cristales de piroxenos. En este pozo se detecta corteza redepositada ya que se encuentra el horizonte de serpentina desintegrada entre el de OEF y OEI, sustentado además en el comportamiento de los elementos químicos en este horizonte menífero.

El Fe muestra un comportamiento normal. En todo el horizonte de OEF mantiene un alto valor de concentración alcanzando en el su mayor representación de 41.23%. Hacia la zona de serpentina desintegrada desciende bruscamente llegando a valores de 13.73%. En el OEI vuelve a recuperar los altos valores de concentración hasta sufrir otro descenso en el horizonte harzburgita. El Al se mantiene de forma estable en todo el perfil a excepción del horizonte de serpentina desintegrada donde alcanza su máximo valor de concentración de 7.41% en los demás horizontes no sobrepasa el 4% de concentración. Los valores disminuyen lentamente hacia el fondo del pozo. El SiO₂ y el Mg presentan comportamientos similares. Ambos aumentan su concentración hacia el fondo del pozo alcanzando sus máximos valores en el horizonte de harzburgita de 40.85% el SiO₂ y 24.51% el Mg. En los demás horizontes del perfil se caracterizan por intervalos de descensos y ascensos determinados por la presencia de serpentina desintegrada entre el OEF y el OEI. En la boca del pozo presentan baja concentración de 11.30% el SiO₂ y 3.15% el Mg que aumentan hacia la serpentina desintegrada. Luego descienden sus concentraciones en el horizonte de OEI y vuelven a ascender en la harzburgita. El Ni y Co alcanzan en este perfil concentraciones importantes. El Ni en el OEF alcanza valores de 1.13% pero sus concentraciones más altas las alcanza en la serpentina desintegrada con un valor de 1.53%. De ahí su concentración desciende lentamente hasta llegar a su mínimo de concentración en el horizonte de harzburgita de 0.26%. Sin embargo el Co alcanza su mayor concentración en el horizonte de OEF con un valor de 0.23 % y se mantiene así hasta el contacto con la serpentina desintegrada donde decae a 0.056 %. Luego experimenta un ascenso a 0.087 % en el horizonte de OEI hasta hacer contacto con las harzburgitas donde llega a su mínimo valor de concentración de 0.011 %. Figura 33.

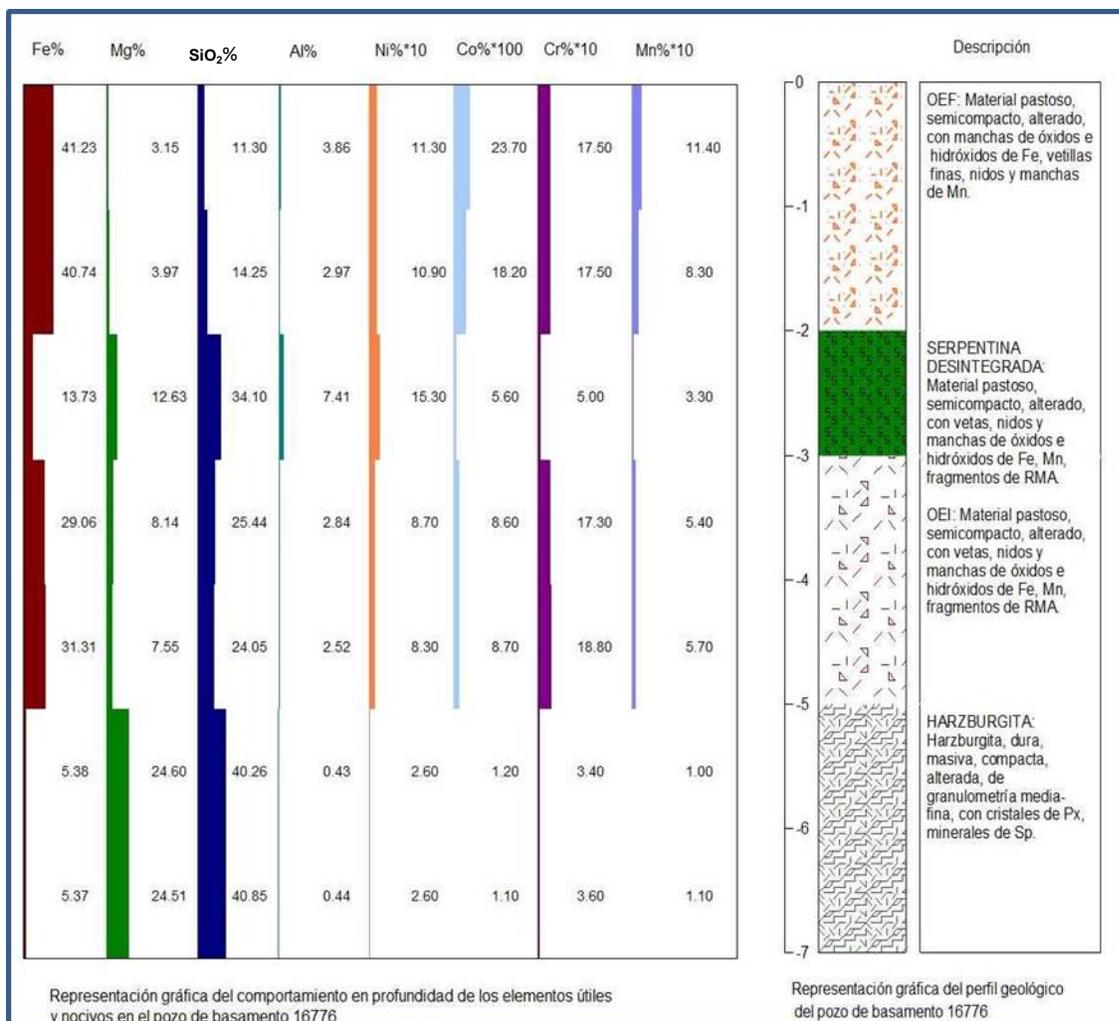


Figura 33. Gráfico de variación en profundidad de la concentración de elementos y horizontes, pozo 16776.

CONCLUSIONES

1. Las concentraciones más importantes de elementos útiles se localizan hacia el centro y sur del dominio mientras que las mayores concentraciones de nocivos se encuentra en sectores puntuales al noreste y noroeste.
2. Se detectó corteza redepositada en la parte sureste y centro del dominio en los pozos de basamento 14926 y 16776.
3. La corteza de intemperismo que se genera en el dominio geológico No.3 es típica de la meteorización de las rocas existentes en el basamento.

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 de los pozos
3. Extender las investigaciones realizadas a los dominios 2 y 3 al dominio geológico No.1
4. Establecer la relación genética en realizadas en este trabajo para extender el estudio a las rocas metamórficas.

BIBLIOGRAFIA

1. Adamovich A. & Chejovich, V.D. 1963. Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. Informe, ONRM.
2. 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.
3. Albear, J. et al. 1988: Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000.
4. Aliojin, V; Fesenko, C, et al. 1977: Informe sobre los trabajos de exploración geológica detallada y orientativa realizada en el yacimiento Punta Gorda en los años 1973 -.1976. Fondo geológico Nacional. ONRM. La Habana.
5. Almaguer F. A. 1995: Composición de las pulpas limoníticas de la planta Pedro Soto Alba, parte II, Periodo de crisis de sedimentación. Revista Minería y Geología (No 2).
6. Almaguer, A. 1995: Cortezas de intemperismo: algunas características de sus partículas finas. Minería y Geología XII (1): 9-19.
7. Arcia Rodríguez, et al. 1997. Características geólogo-geográficas de Cuba. En: Furrázola-Bermúdez, G., y Nuñez-Cambra, K., (Editores) Estudios sobre Geología de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología, Centro Nacional de la Información Geológica, La Habana (publicado en marzo 1998).
8. Birkeland, P. W. (1974). Pedology, weathering, and geomorphological research.
9. Blanco, I 2003: Nuevos Datos Petroquímicos y Petrográficos de las Magmatitas y Metamorfitas de algunos sectores del Bloque Oriental Cubano Sectores Moa-Baracoa y Sierra del Convento. Trabajo de diploma. ISMM.
10. Blanco-Quintero, I. F. et al. 2011: Timing of subduction and exhumation in a subduction channel: evidence from slab melts from La Corea Mélange (eastern Cuba). Lithos, vol. 127, no 1, p. 86-100
11. Blanco-Quintero, et al. (2010). Metamorphic evolution of subducted hot oceanic crust (La Corea Mélange, Cuba). American Journal of Science, 310(9), 889-915.
12. Brand N, W. et al. 1998: Nickel laterites: Classification and features. AGSO Journal of Australian. Geology and Geophysics 17, 81-88

13. 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.
14. Campos, M. 1983: Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología*, 2: 51-76.
15. Campos, M. 1990: Tectónica y minerales útiles de la asociación ofiolítica y de los complejos vulcanógenos del arco insular Cretácico de Cuba oriental. Inédito.
16. Cobiella, J. L. 1978: Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.
17. Cobiella, J. L. 1988: El vulcanismo paleogénico cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. *Revista tecnológica*. Universidad de Oriente.
18. Cobiella, J. L. 1997: Zonación estructuro facial del corte Paleoceno Eoceno Medio de Cuba. *Minería y Geología*, 14(1): 3-12.
19. Cobiella, J. L. 2000: Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. *International Geology Review*, 42: 594-616.
20. Cobiella, J. L. Rodríguez J. 1978: Algunos rasgos de la geología de Cuba oriental. *Ciencias Técnicas, Serie Geodesia y Geofísica No.3*
21. Cobiella-Reguera, J.L. (2005): Emplacement of Cuba ophiolites. *Geologica Acta*, 3, 273-294.
22. Costa, M. L. 1997. Lateritization as a major process of ore deposit formation in the Amazon region. *Exploration and Mining Geology*, 1(6), 79-104.
23. Crespo, E. 1996: Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMM, 79 p.
24. De Swardt, A. M. J. (1964). Lateritisation and landscape development in parts of equatorial Africa. *Z. Geomorph*, 8(3), 313-333.
25. Diagrama QAPF de Streckeisen (1973).
26. 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.
27. 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.

28. Dudoz and Vuagnat, 1963, Al, F. T. Z. Circum-Caribbean Tectonic and Igneous Activity and the Evolution of the Caribbean Plate: Discussion.
29. Eskola, P. 1939: Die metamorphen Gesteine (pp. 263-407). Springer Berlin Heidelberg.
30. Fettes D, Desmons. J. 2007: Metamorphic rocks – a classification and glossary of terms; recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the systematics of metamorphic rocks. Cambridge University Press, New York, pp 244
31. Fonseca, E. et al. 1985: Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19: 321-329.
32. Formell F.; Oro A.: Sobre los procesos de redeposición del yacimiento Punta Gorda. *Ciencia de la Tierra y el Espacio*No.2. 1980
33. Furrázola-Bermúdez, G. others. 1964. *Geología de Cuba*: Havana, Instituto Cubana de recursos minerales, Editora del Consejo Nacional de Universidades, 239.
34. Garces, et al. 1988. Hypothetical structures of magadiite and sodium octosilicate and structural relationships between the layered alkali metal silicates and the mordenite-and pentasil-group zeolites. *Clays and Clay Minerals*, 36(5), 409-418.
35. Goldschmidt, V. M. 1922. On the metasomatic processes in silicate rocks. *Economic Geology*, 17(2), 105-123.
36. Gyarmati, P. Y J. Leyé O`Conor. 1990: Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. O. N. R. M.
37. Gyarmati, P. y J. Leyé O`Conor. 1990: Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. O. N. R. M.
38. Gyarmati, P.; I. Méndez; M. Lay. 1997: Caracterización de las rocas del arco de islas Cretácico en la Zona Estructuro – Facial Nipe – Cristal – Baracoa.
39. Harder, E. C. 1952. Examples of bauxite deposits illustrating variations in origin. In *Problems of clays and laterite origin (Symp) Amer. Inst. Mins. Metall* (pp. 35-64).
40. Harrassowitz, H. L. F. 1926. *Laterit*. Verlag von Gebrüder Borntraeger.

41. Hayes, C. W. 1911. The state geological surveys of the United States (Vol. 465). Govt. Print. Off..
42. 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.
43. Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, Fase 1, Abril 2011.
44. Iturralde, M. A. 1976: Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. La Minería en Cuba, 5: 9-23.
45. Iturralde M. A Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. Ciencias de la tierra y el espacio, No.17, 1990.
46. 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.
47. 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.
48. Iturralde-Vinent, M. A. 1996 e: Cuban ophiolites and volcanic arcs. Miami, Int. Geol. Correlation Prog. 364:83–120.
49. Iturralde-Vinent, M. A. 1996: Geología de las ofiolitas de Cuba. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, p. 83-120.
50. Iturralde-Vinent, M. A. 1998: Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana, 33(1-4): 9-56.
51. Iturralde-Vinent, M. A. et al. 1996: Geological interpretation of the Cuban K-Ar data base". En: Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. Contrib.1, Proj. 364, Miami, IUGS-UNESCO, p. 48-69.
52. Iturralde-Vinent, M. A. et al. 2006: Tectonic implications of paleontologic dating of Cretaceous–Danian sections of Eastern Cuba. Geol Acta 4:89–102

53. 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.
54. Kerr, A.C., et al. 1999: A new plate tectonic model of the Caribbean: implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. Geol. Soc. Amer. Bull. 111, p. 1581-1599.
55. Knipper, A. C. R. 1974: Tectonics y geología histories de 1a zona de articulation entre el mlo y eugcosinclinal y del cinturón de hiperbasites. Head. Cien. Cuba, Cbntrib. a la geol. dz Cuba, Phbl. Esp, 2, 15-77.
56. 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.
57. Kozary, M. T. 1968: Ultramafic rocks in thrust zones of Northwestern Oriente Province Cuba. AAPG Bull., 52(12): 2298-2317
58. Lavaut Copa W: Clasificador para modelación litológica de lateritas Key – Guide forlitholgicalmapping of laterites.
59. Leppard, G. G., Buffle, J., & Baudat, R. 1986. A description of the aggregation properties of aquatic pedogenic fulvic acids: combining physico-chemical data and microscopical observations. Water Research, 20(2), 185-196.
60. Lewis J. F. and Daper G. 1990: Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. The Caribbean region. The geology of North America, Vol. H,
61. Lewis, G.E., Straczek, J.A. 1955: Geology of south-central Oriente Province, Cuba. U.S. Geol. Surv. Bull., 975D, 171- 3 3 6
62. Lewis, J. F., et al. 2006: Geologica Acta, Ophiolite-related ultramafic rocks (serpentinites) in the Caribbean region: A review of their occurrence, composition, origin, emplacement and Ni-laterite soil formation vol. 4, no 1. p. 237.
63. Manso, A. 1995: Estudio generalizado del Oligo-Mioceno en el sector Frank País. Trabajo de Diploma. Centro de Información. ISMMM, 73p.
64. Millán, G. 1996 a: “Geología del complejo Mabujina”. En: Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. Contrib.1, Proj.364, Miami, IUGS-UNESCO., P.147-153.

65. Morris, et al.1990: Tectonic of the Caribbean region; alternative hypothesis. En: Dengo, G. y Case, J. E. (eds.), *The Caribbean Region: Geology of North America*, vol. H, Boulder, Colorado, Geol. Soc. América, 433-457.
66. Muños, et al. 2009: Modelo Genético teórico de los yacimientos lateríticos asociados al macizo ofiolítico de Moa-Baracoa: Implicaciones en la exploración de explotación.
67. Muñoz, J. P. 1977. Estudio estratigráfico y paleontológico de los yacimientos de rudístidos del Cretácico superior del Prepirineo de la prov. de Lérida. Universidad Autònoma de Barcelona.
68. Muñoz, J.N. 2004: Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co.PDF-Files.ICT.ISMMM, 22p.
69. Muñoz, J.N. et al. 2007: Carterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca Norte y Camarioca Sur. Inédito. Empresa Moa Niquel S.A. PSA.
70. Muñoz, J.N; Orozco, G. 2009: Mineralogía y orden cronológico de formación de los minerales de las menas lateríticas: implicaciones en la exploración de explotación. Inédito
71. 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,
72. Nagy N. 1983: Ensayo de las zonas estructuro faciales de Cuba oriental, contribución geológica de Cuba oriental. Editorial Ciencia y Técnica, ACC.
73. Nagy, E. et al. 1976: Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba
74. Nagy, E. et al. 1983: Contribución a la geología de Cuba oriental. La Habana, Editorial Científico Técnica, 273 p.
75. Nicolas, A., & Boudier, F. 1995. Mapping oceanic ridge segments in Oman ophiolite. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 100(B4), 6179-6197.
76. Nicolas, et al. 1988. A new magma chamber model based on structural studies in the Oman ophiolite. *Tectonophysics*, 151(1), 87-105.

77. Nicolas, A., & Prinzhofer, A. 1983. Cumulative or residual origin for the transition zone in ophiolites: structural evidence. *Journal of Petrology*, 24(2), 188-206.
78. Oliva. 1989: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. G. Instituto de Geografía.
79. Ollier, C. D. 1975. Coral island geomorphology—the Trobriand Islands. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 19, 164-190.
80. Pérez R. 1976: Levantamiento Geológico de Farallones escala 1: 50 000.
81. Pindell, J. L., and Barrett, S. F. 1990: Geological evolution of the Caribbean region: a plate tectonic perspective. In Dengo, G., and Case, J. E, eds. *The Caribbean region (Geology of North America, Vol. H)*. Boulder, Colo., Geol. Soc. Am., p. 405–432.
82. Proenza, J et al. 1999: Al-and Cr-rich chromitites from the Mayarí–Baracoa ophiolitic belt (eastern Cuba): consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle: *Economic Geology*, 94, 547-566.
83. Proenza, J. and J. C. Melgarejo. 1998: Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. *Acta Geol. Hispán.*, 33, 1–4, 89–131.
84. Proenza, J. y N.M. Carralero. 1994: Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. *Minería y Geología*, 11: 3-10
85. Proenza, J.A. et al. 2006: Primitive island-arc Cretaceous volcanic rocks in eastern Cuba: the Téneme Formation. *Geol Acta*, 4, 103-121.
86. Pushcharovsky, Y. 1988: Mapa geológico de la República de Cuba escala 1:250 000: Academias de Ciencias de Cuba y la URSS.
87. 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.
88. Quintas, F. 1996: Bioestratigrafía del corte Meso-Cenozoico del extremo oriental de Cuba. *Minería y Geología*, 13(1): 3-8.
89. *Revista Tecnológica*, 17, (3): 19-26 Rojas-Purón, AL 1994
90. Ríos-Martínez, Y., & Cobiella-Reguera, J. L. 1984. Estudio preliminar del Macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia Holguín. *Minería & Geología*, 2(2), 109-132.

91. Rodríguez, I. A. 1998: Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación del riesgo de génesis tectónicas. Tesis doctoral, Academia de Ciencias de Cuba. Departamento de Geología, ISMMM, Moa.
92. Rojas, A. L. y Orozco, G. 1994: Iniciación al estudio de las fases minerales portadoras de Ni en el horizonte limonítico del yacimiento Moa. *Minería y Geología* XI (2): 11-15.
93. Rojas-Purón, A. L. 1994. Principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa (Doctoral dissertation, Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Geológicas. ISMM, Moa: 94p).
94. Rojas-Purón, A. L. (2001). Evidencias a favor de que la goethita es la principal portadora de níquel en los horizontes lateríticos de las cortezas ferroniquelíferas. *Minería & Geología*, 18(3-4), 11.
95. Rojas-Purón, A.: Principales fases minerales portadores de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa ,1994. Tesis doctoral. 73p.
96. Sitnikov, V, 1976: Informe sobre la exploración orientativa del yacimiento Camarioca con el cálculo de reservas. ONRM. La Habana, Cuba.
97. Smirnov V.I.: *Geología de los Yacimientos Minerales*. Ed. Mir. Moscú. 654 p. 1982
98. Somin, M. y Millán, G. 1981: *Geología de los complejos metamórficos de Cuba (en ruso)*. 219
99. Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-science reviews*, 12(1), 1-33.
100. Streckeisen, A. 1975: To each plutonic rock its proper name. *Earth Science. Reviews* 12. 1976. 1-33
101. V. I. Sminorv. 1976. *Geología de yacimientos minerales* p 34
102. Valdés, Y. 2015: Caracterización petrológica y geoquímica de las rocas metamórficas, sector Camarioca Sur. Tesis de Maestría.
103. White, A. F., & Brantley, S. L. 1995. Chemical weathering rates of silicate minerals: an overview. *Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals*, 31, 1-22.

ANEXOS**Anexo 1: Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 14926.**

Desde m	Hasta m	Ni%	Fe%	Co%	SiO ₂ %	Mg%	Al%	Mn%	Cr%
0	1	0,24	6,34	0,012	40,88	24,4	0,5	0,1	0,36
1	2	0,3	5,23	0,027	46,07	19,98	2,6	0,06	0,62
2	3	0,38	6,22	0,032	51,46	16,72	2,01	0,06	0,64
3	4	1	37,79	0,166	14,29	6,15	4,01	0,65	2,42
4	5	0,92	36,31	0,163	15,14	6,68	3,75	0,63	2,54
5	6	0,75	30,15	0,116	21,33	10,22	2,72	0,5	1,9
6	7	0,48	16,56	0,063	35,28	14,78	2,5	0,26	1,68
7	8	0,3	7,29	0,02	37,75	23,6	1,05	0,09	1,02

Anexo 2: Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 15141.

Desde m	Hasta m	Ni%	Fe%	Co%	SiO ₂ %	Mg%	Al%	Mn%	Cr%
0	1	0,92	48,09	0,055	3,06	0,75	4,93	0,39	1,89
1	2	0,97	47,8	0,03	3,13	0,89	4,8	0,2	2,47
2	3	1,17	48,5	0,049	4,56	1,01	4,32	0,24	2,01
3	4	0,96	41,64	0,092	9,81	4,04	3,79	0,7	1,94
4	5	1,03	42	0,089	11,04	3,6	3,8	0,71	2
5	6	1,05	41,27	0,081	11,66	3,93	3,44	0,66	2,08
6	6,5	0,79	23,78	0,05	26,32	12,11	2,05	0,4	1,19
6,5	7,5	0,23	6,06	0,012	38,74	23,5	0,45	0,1	0,29
7,5	8,5	0,24	6,15	0,011	39,22	24,23	0,45	0,09	0,29

Anexo 3: Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 15727.

Desde m	Hasta m	Ni%	Fe%	Co%	SiO ₂ %	Mg%	Al%	Mn%	Cr%
0	1	0,39	29,04	0,023	18,73	4,16	9,29	0,18	1,28
1	2	0,75	35,91	0,058	16,6	4,19	5,97	0,31	1,45
2	3	1,1	42,78	0,102	9,9	1,73	5,3	0,48	1,83
3	4	0,97	39,38	0,139	13,6	3,49	4,66	0,65	1,93
4	5	0,75	32,54	0,105	20,22	6,71	3,81	0,54	1,74
5	6	0,45	16,93	0,045	36,71	9,86	6,07	0,26	0,77
6	7	0,72	15,11	0,036	37,16	15,11	2,43	0,27	0,8
7	8	0,61	14,36	0,036	37,39	15,31	2,9	0,23	0,69
8	9	0,78	14,78	0,033	46,21	16,55	2,49	0,24	0,74
9	10	0,7	9,28	0,021	39,03	18,1	2,12	0,19	0,51
10	11	0,63	9,21	0,019	40,02	19,17	2,01	0,16	0,45
11	12	0,25	5,85	0,011	40,27	24,2	0,57	0,1	0,28
12	13	0,25	6,07	0,012	41,19	23,95	0,62	0,1	0,28

Anexo 4: Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 16137.

Desde m	Hasta m	Ni%	Fe%	Co%	SiO ₂ %	Mg%	Al%	Mn%	Cr%
0	1	0,56	13,5	0,035	41,65	16,15	1,33	0,2	0,57
1	2	0,55	14,18	0,036	41,73	15,99	1,4	0,19	0,64
2	3	0,47	11,66	0,029	43,43	16,9	1,56	0,17	0,52
3	4	0,24	5,8	0,006	42,59	24,03	0,43	0,09	0,29
4	5	0,34	6,06	0,007	43,61	23,92	0,44	0,09	0,29

Anexo 5: Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 16776.

Desde m	Hasta m	Ni%	Fe%	Co%	SiO ₂ %	Mg%	Al%	Mn%	Cr%
0	1	1,13	41,23	0,237	11,3	3,15	3,86	1,14	1,75
1	2	1,09	40,74	0,182	14,25	3,97	2,97	0,83	1,75
2	3	1,53	13,73	0,056	34,1	12,63	7,41	0,33	0,5
3	4	0,87	29,06	0,086	25,44	8,14	2,84	0,54	1,73
4	5	0,83	31,31	0,087	24,05	7,55	2,52	0,57	1,88
5	6	0,26	5,38	0,012	40,26	24,6	0,43	0,1	0,34
6	7	0,26	5,37	0,011	40,85	24,51	0,44	0,11	0,36

Anexo 6: Tabla de los contenidos útiles y nocivos del pozo 17409.

Desde m	Hasta m	Ni%	Fe%	Co%	SiO ₂ %	Mg%	Al%	Mn%	Cr%
0	1	0,69	36,24	0,15	16,44	3,63	5,11	0,95	2,28
1	2	0,67	35,65	0,125	16,48	3,28	5,16	0,89	2,57
2	3	0,63	34,04	0,095	20,78	3,19	4,21	0,74	2,04
3	4	0,85	32,07	0,07	24,05	6,01	3,07	0,42	1,84
4	5	0,76	32,3	0,075	23	5,5	2,77	0,54	2,21
5	6	0,89	30,08	0,064	27,4	6,41	2,14	0,48	1,4
6	7	0,35	6,64	0,013	40,95	23,34	0,52	0,11	0,33
7	8	0,23	6,14	0,012	40,62	24,01	0,45	0,1	0,28

Anexo 7: Mapa de potencia del dominio No. 3 yacimiento Camarioca Sur

