



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO

TÍTULO: COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO DE LOS
COMPONENTES PRINCIPALES Y NOCIVOS EN EL
YACIMIENTO CAMARIOCA SUR Y SU INCIDENCIA EN LA
EXPLOTACIÓN.

Diplomante: Petrus Robert

Tutores: Dr. C. León Ortelio Vera Sardiñas
Ing. Iván Barea Pérez

Moa, 2012
Curso: 2011-2012
“Año 54 de la Revolución Cubana”



Agradecimientos

En la confección de este trabajo de diploma me han ayudado muchas personas.

Quiero dejar constancia de particular agradecimiento a las siguientes:

Dr. C. León Ortelio Vera Sardiñas e Ing. Iván Barea Pérez , profesores y tutores del presente trabajo, quienes me han brindado su apoyo en todo momento. Si no fuera por ustedes nada iba a ser igual. Ustedes merecen toda mi gratitud por haberme ayudado cuando hacía falta. Los compañeros de la subdirección de minas del departamento de geología de la Moa Níquel S. A, especialmente los Ingenieros Urra y Rafael, por sus críticas y sugerencias.

Al Departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa cuyos integrantes me ayudaron con sus críticas y sugerencias.

A mis compañeros del aula, por su preocupación y apoyo durante los 5 años de estudios.

A mis amigos Simon, Guilherme, Kambinda, Robert, Amukende, Shilongo, Nicholas, Mathew, los namibios, los demás estudiantes africanos, todo el edificio 4 y a todas mis maravillosas amigas especialmente a mi novia Dianelis Marisy Bermúdez, quienes compartieron momentos buenos y malos.

Muchas gracias compañeros, ustedes, me hicieron más fuerte todavía,

A todos los que hicieron posible que este trabajo se haya realizado.

De corazón; muchísimas gracias



Dedicatoria

A mi padre y madre por haberme hecho lo que soy hoy; por su cariño, dedicación, comprensión, por criarme con una educación estupenda y sobre todo por su amor incomparable.

A mi hermana Dominga y hermanito Elias, quienes siempre han mostrado su cariño; ustedes son mi inspiración y por eso doy todo en la vida para hacerles feliz.



Pensamiento

The fear of the LORD
is the beginning of knowledge,
but fools despise wisdom and discipline.
(Proverbs 1:7)

¡Hasta la victoria siempre!
Comandante Ernesto Che Guevara



Resumen

Se presenta los resultados de un estudio de caracterización geoquímica de los componentes principales y nocivos del yacimiento Camarioca Sur y su incidencia en la explotación. Se analiza desde el punto de vista geoquímico la distribución de los componentes principales y nocivos mediante las técnica de Difracción de rayos-X (DRX) y Espectroscopia de Masa con ICP-MS acoplado (modelo Spectro Arcos de fabricación alemana) de las concentraciones de los elementos útiles y nocivos en los pozos.

En los elementos útiles, las variaciones de los contenidos son; Ni: Mínimo 1,01 %, Máximo 2,74 %, Mediano 1,28 %, Fe: Mínimo 35,01 %, Máximo 54,5 %, Mediano 43,6 % y Co: Mínimo 0,005 %, Máximo 0,742 %, Mediano 0,12 %.

El yacimiento Camarioca Sur presenta alto contenido de los elementos nocivos (Mg, SiO₂, Al) lo que implicaría, un alto consumo de ácido en el proceso de lixiviación ácida para el tratamiento de las menas.

Las exigencias industriales para las menas de LB es Ni \geq 1%, Fe \geq 35 % y para SB es Ni \geq 1,5 % y Fe \leq 35 %.

Se exponen los mapas de isocontenidos de los elementos útiles y nocivos del yacimiento Camarioca Sur y los gráficos de su comportamiento en profundidad.



Abstract

The results of the geochemical characterization study of the main and noxious components of the Camarioca Sur deposit and their incidence in the exploitation. The distribution of the main and noxious components is analyzed from the geochemical point of view using X-Rays Diffractions techniques (DRX) and mass spectroscopy with coupled ICP-MS (Model Spectro Arches of Germany production) of the concentrations of the useful and noxious elements in the drillholes.

The variations of the weight percentages (contents) of the useful elements are; Ni: Minimum 1,01 %, Maximum 2,74 %, Median 1,28 %, Fe: Minimum 35,01%, Maximum 54,5 %, Median 43,6 % and Co: Minimum 0,005 %, Maximum 0,742 %, Median 0,12 %.

The Camarioca Sur deposit presents high contents (in weight percentages) of the noxious elements (Mg, SiO₂, Al) which will imply high acid consumption in the process of acid leaching for the treatment of the ores.

The industrial cut off for the LB ores is Ni \geq 1 %, Fe \geq 35 % and for SB ore is Ni \geq 1,5 % and Fe \leq 35 %.

Isocontent mapas of the useful and noxious elements were elaborated for the Camarioca Sur deposit and the graphs of its behavior in the profile.



ÍNDICE

CAPÍTULO 1. Estado del arte y metodología de la investigación	1
1.1 Historia de las investigaciones precedentes (marco teórico)	2
1.1.1 Trabajos relacionados con la geología regional	3
1.1.2 Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos Lateríticos	7
1.1.3 Características de las menas de los yacimientos hipergénicos de níquel y cobalto en Cuba	10
1.2 Metodología de la investigación	13
1.2.1 Preliminar	14
1.2.2 Trabajos de campo.....	15
1.2.3 Trabajos de Laboratorio.....	15
1.2.4 Trabajo de gabinete.....	17
CAPÍTULO 2. Características físico-geográficas y geológicas de la región de estudio	19
2.1 Características económico – geográficas de la región.....	19
2.1.1 Ubicación geográfica	19
2.1.2 Principales rasgos económicos de la región.....	20
2.1.3 Recursos minerales.....	20
2.1.4 Geomorfología.....	21
2.1.5 Tectónica	22
2.1.6 Clima	23
2.1.7 Vegetación.....	24
2.1.8 Fauna	24
2.1.9 Red fluvial.....	25
2.1.10 Condiciones Hidrogeológicas	26
2.1.11 Relieve	29
2.2 Características geológicas regionales.....	32
2.3 Tectónica regional.....	40
2.4 Mineralogía de las menas lateríticas.....	41
2.5 Geología del yacimiento.....	44



2.6	Generalidades geoquímicas de las rocas del basamento del yacimiento Camarioca Sur.....	48
CAPÍTULO 3. Mineralogía y geoquímica de la corteza laterítica del yacimiento Camarioca Sur 51		
3.1	Análisis geoquímico de la zona de escombro	52
3.1.1	Comportamiento de los componentes principales del yacimiento; Ni, Fe y Co en el horizonte de escombro (E).....	52
3.1.2	Comportamiento de los componentes nocivos; Si, Mg, Al en el horizonte de escombro (E).....	53
3.1.3	Comportamiento de otros componentes; Cr y Mn en el horizonte de escombro (E).....	53
3.1.4	Análisis estadístico del horizonte de escombro (E).	54
3.2	Análisis mineralógico, geoquímico y estadístico de la zona de laterita de balance (LB).	55
3.2.1	Composición mineralógica.....	55
3.2.2	Comportamiento de los componentes principales del yacimiento; Ni, Co y Fe en la laterita de balance (LB).	55
3.2.3	Comportamiento de los componentes nocivos; Si, Mg, Al en la laterita de balance (LB).....	58
3.2.4	Comportamiento de otros componentes; Cr y Mn en la laterita de balance (LB). 61	
3.2.5	Análisis estadístico del horizonte de la laterita de balance (LB).	63
3.3	Análisis mineralógico, geoquímico y estadístico de la zona de saprolita de balance (SB).....	64
3.3.1	Composición mineralógica.....	64
3.3.2	Comportamiento de Componentes principales Ni, Fe y Co en la saprolita de balance (SB).	64
3.3.3	Comportamiento de componentes nocivos SiO ₂ , Al y Mg en la saprolita de balance (SB).	65



3.3.4	Comportamientos de otros elementos Cr y Mn en la saprolita de balance (SB).	66
3.3.5	Análisis estadístico del horizonte de la saprolita de balance (SB).....	66
3.4	Gráficos del comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en profundidad para las zonas con valores anómalos.....	67
	Conclusiones.....	74
	Recomendaciones.....	75
	Bibliografía consultada.....	76
	Anexos	82

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Introducción

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

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

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

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



El presente trabajo constituye una caracterización geoquímica de los componentes principales y nocivos del yacimiento Camarioca Sur y su incidencia en la explotación.

PROBLEMA: Necesidad de conocer el comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos en el yacimiento Camarioca Sur y su posible incidencia en la explotación.

OBJETO DE ESTUDIO: La corteza laterítica del yacimiento Camarioca Sur.

OBJETIVO PRINCIPAL: Analizar el comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos del yacimiento Camarioca Sur y su efecto en el proceso de beneficio de la mena laterítica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Elaborar los mapas de contenidos de los componentes principales y nocivos en el horizonte menífero del yacimiento.
2. Elaborar el mapa de potencia del horizonte menífero.
3. Elaborar los gráficos del comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en profundidad para las zonas con valores anómalos.

HIPÓTESIS: Si se logra caracterizar geoquímicamente los componentes principales y nocivos en la capa menífera del yacimiento Camarioca sur, su abundancia y distribución espacial, entonces se estará en condición de optimizar los futuros planes de minería.

LA NOVEDAD CIENTÍFICA DE LA INVESTIGACIÓN: caracteriza por primera vez el comportamiento de los componentes principales y nocivos en el yacimiento Camarioca Sur.

1.1 Historia de las investigaciones precedentes (marco teórico)

Para la realización de esta tesis, en la etapa preliminar se consultaron diferentes trabajos geológicos de Cuba oriental, del territorio de Moa y en particular de la concesión minera Camarioca Sur que se encuentra dentro del macizo Mayarí-Baracoa, de los cuales algunos se han desarrollado en la línea de la evaluación geológico-económica de las grandes reservas minerales asociadas al cinturón ofiolítico del

noreste de Holguín y otros dedicados a la profundización del conocimiento geológico regional, constituyendo todos una valiosa información para comprender la génesis de los yacimientos lateríticos de la región, así como sus contenidos de minerales útiles.

En la etapa comprendida entre 1973 – 1976, se efectuaron los trabajos de exploración orientativa y cálculo de reservas en los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Sur, dirigido por V. Sitnikov, donde se recoge una detallada información geológica, que incluye, la geología, petrología y tectónica del yacimiento, además se valoraron las reservas de ambos yacimientos lateríticos, (Sitnikov, V. 1976).

A fines de la década de los años ochenta del siglo pasado, se efectuó un trabajo de levantamiento geológico regional a escala 1: 50 000, que incluyó el macizo ofiolítico Moa-Baracoa, desarrollado por especialistas de la academia de ciencias de Cuba y geólogos cubanos de la Empresa Geologominera de Oriente y el Departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, donde se realizó un volumen considerable de investigaciones geológicas y se valoraron los yacimientos lateríticos de Moa, (Gyarmart, p, et al, 1990).

En las últimas décadas del pasado siglo y en la primera del actual, los trabajos geológicos detallados en los yacimientos lateríticos han sido desarrollados por especialistas de la empresa Geologominera de Oriente, dirigido por W. Lavaut Copa, donde se cuenta con amplia información geológica, incluyendo la valoración de los recursos minerales de las menas lateríticas de Fe, Ni y Co, (Lavaut, C.W, et al 1973-1976); (Lavaut, C.W, et al., 2004) y (Lavaut, C.W., 2005).

Estudios recientes han permitido establecer la columna idealizada para el macizo ofiolítico de Moa- Baracoa, donde es posible identificar y ubicar la existencia de la zona de transición manto superior – corteza oceánica, (Proenza, J., 1998; J., et al., 1999).

1.1.1 Trabajos relacionados con la geología regional

En la región de Moa – Baracoa los trabajos geológicos a pequeña escala se realizaron a principios del siglo pasado, donde se reportó la existencia de menas de hierro y cromo en la región del noreste de Cuba oriental. Numerosos geólogos norteamericanos llevaron a cabo trabajos de exploración sobre las menas lateríticas



cubanas entre ellos: Spencer 1907, Kemp 1910, Cox 1911, Hayes 1911 – 1915 y Leith 1915.

En 1918, Burch y Burchard realizaron evaluaciones para el pronóstico de los yacimientos minerales de la antigua provincia de Oriente, entre ellos, las menas lateríticas, cromíticas y minerales de manganeso, (Burch, A., and Burchard, E. F., 1919). En la sucesión de los trabajos geológicos regionales se destacó el realizado por Adamovich y Chejovich, que consistió en un levantamiento geológico regional a escala 1:50 000 del nordeste de Cuba oriental. Las investigaciones se ejecutaron con un bajo número de perforaciones de mapeo; no obstante, sirvió de documento geológico primario para futuros proyectos y campañas de prospección. Los trabajos de prospección acompañantes evaluaron de manera preliminar y permitieron ofrecer un pronóstico de los recursos minerales de las lateritas, (Adamovich, A. Chejovich, V., 1962).

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

En 1972 se inician investigaciones de carácter regional en el territorio oriental cubano por especialistas del departamento de geología de la universidad de oriente, luego el Instituto Superior Minero Metalúrgico estableció en 1976 que la tectónica de sobre empuje afecta también a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas, detectándose en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del cretácico superior sobre yaciendo las secuencias terrígenas del Maestrichtiano-Paleoceno Superior y planteando además el carácter alóctono de los conglomerados-brechas de la formación la Picota, demostrándose en

investigaciones posteriores (Cobiella J. y Rodríguez J. 1978) el carácter predominantemente autóctono de estas secuencias formadas en las secuencias superpuestas del arco volcánico del cretácico. Con estos nuevos elementos se reinterpreta la geología del territorio y se esclarecen aspectos de vital importancia para la acertada valoración de las reservas minerales.

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

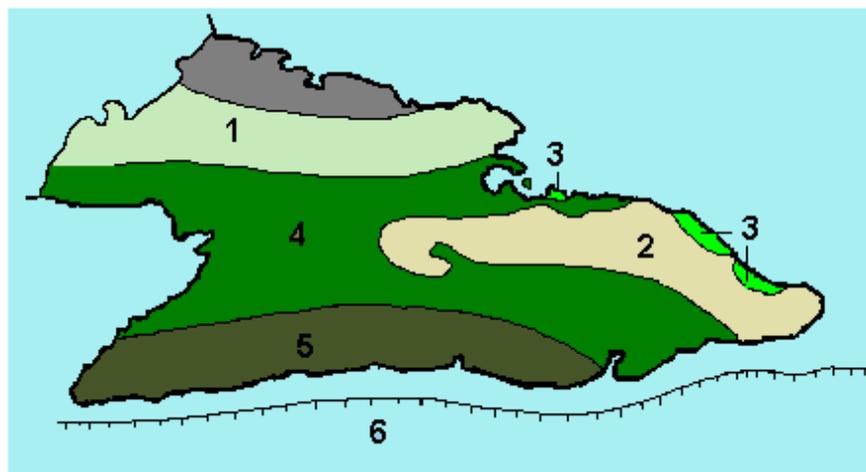


Figura 1: Esquema tectónico según COBIELLA y Rodríguez, (1980) en Vera O, 2001

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

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

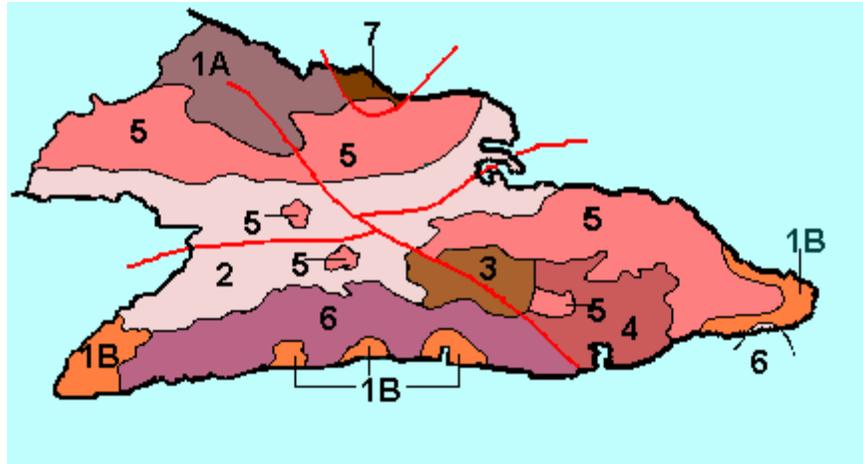


Figura 1.1: Esquema tectónico según E. Nagy, 1976

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

Al mismo tiempo se desarrollan trabajos fotogeológicos sobre diferentes áreas del territorio por especialistas del Centro de Investigaciones Geológicas, entre los que se encuentran la caracterización de la corteza de intemperismo del sector occidental de las hojas cartográficas de Moa y Palenque desarrollados por Teleguin V. , quien realiza una clasificación de las fracturas que afectan al substrato 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.

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

En 1989 Quintas F., en su tesis doctoral realizó el estudio estratigráfico de Cuba Oriental donde propone las Asociaciones Estructuro Formacionales que constituyen el territorio así como las formaciones que lo integran, realizando la reconstrucción del

cretácico al paleógeno, intervalo cronológico de mayor complejidad para la geología de la región oriental.

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

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

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

En el territorio de Cuba Oriental, los macizos de Sierra de Nipe-Cristal y Moa-Baracoa constituyen la mayor parte del segmento oriental del cinturón ofiolítico cubano, siendo considerados porciones alóctonas de corteza oceánica con una extensión de 170 km, un ancho de 10-12 km, aproximadamente 1 000 m de espesor promedio y con una superficie total de 2 700 km² (PROENZA J, et. al., 1998).

1.1.2 Trabajos relacionados con la geología de los yacimientos Lateríticos

Los yacimientos minerales de menas residuales de níquel desarrollados sobre litologías ultramáficas y máficas del complejo ofiolítico, constituyen las principales reservas de

menas de hierro, níquel y cobalto, tal es el caso de Cuba. Las menas de níquel cubanas se conocen prácticamente desde el mismo tiempo del descubrimiento de la isla en 1492. (Muñoz. 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: MuñozJ.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); (Muños Gómez, J. N. 2004); (Galí, S. et.al, 2006).

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

con menor abundancia aparecen diferentes variedades de gabros y diseminaciones de cromitas.

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

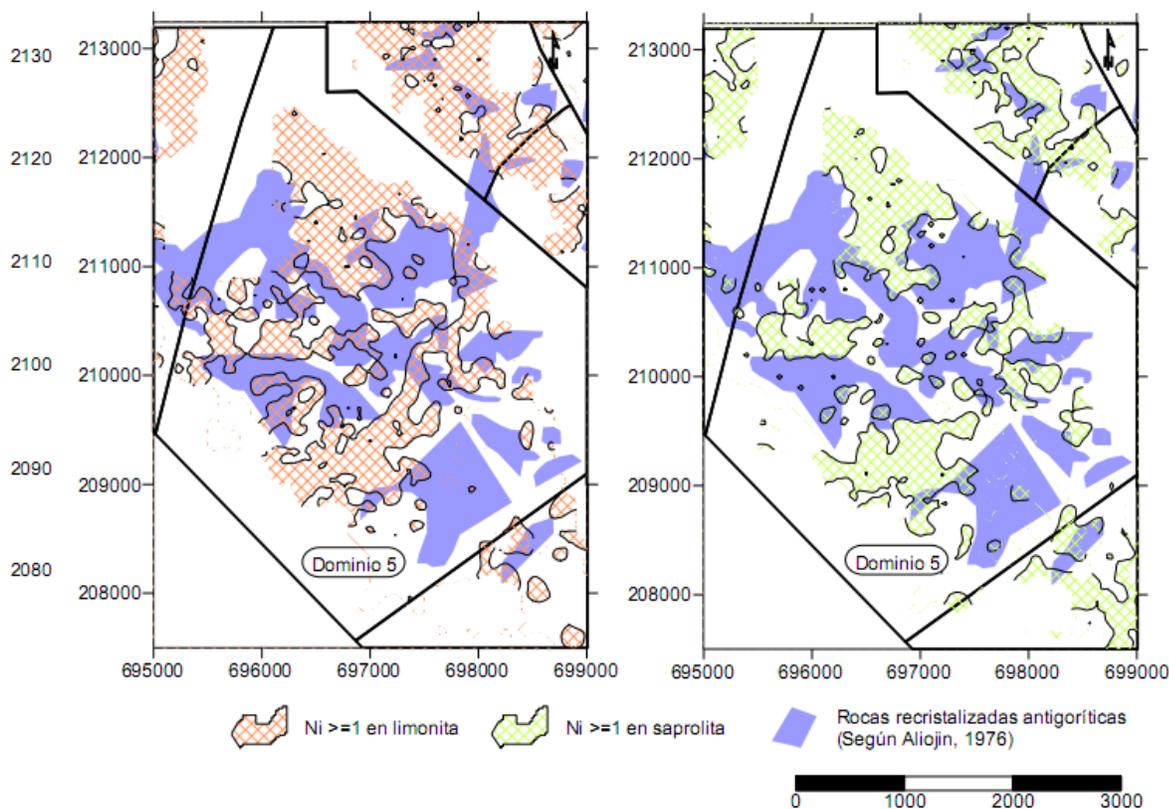


Figura 1.2: Relación entre las rocas cristalizadas antigoríticas con los contenidos de níquel en limonita y saprolita. (Muñoz et al, 2007).

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

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

1.1.3 Características de las menas de los yacimientos hipergénicos de níquel y cobalto en Cuba

Los horizontes lateríticos están compuestos básicamente por óxidos e hidróxidos de Fe (goethita, espinela, maghemita y hematita), los cuales representan de un 75 % a un 85 % en estos horizontes.

En el corte laterítico pueden estar presentes fases minerales de hidróxidos de Al (gibbsita) y en menor cantidad minerales de Mn (asbolanas), sílice (en forma amorfa) y minerales del grupo de las serpentinas (antigorita y lizardita).

En la tabla 1 se puede apreciar un resumen de las principales fases minerales por horizonte en el perfil laterítico en los yacimientos de Moa (Rojas Purón, 1994), pudiéndose extrapolar esta composición mineralógica para los yacimientos Nicaro y Pinares de Mayarí. En esta tabla se nota claramente que la goethita constituye la fase mineral predominante en el material laterítico, sobre todo en el horizonte de ocre medio.

Tabla 1: Composición mineralógica de las cortezas lateríticas de los yacimientos cubanos. Rojas Purón, 1994.

Fases Minerales	Contenido por horizonte en %			
	Concreciones ferruginosas	Ocres	Serpentinita alterada	Serpentinita dura
Goethita	60	69	18	5
Espinelas	8	10	2	3
Hematita	7	5	-	-
Minerales de Mn	2.5	3	-	-
Gibbsita	15	8	2	-
Cuarzo	2.5	2.5	2	-
Esmeclitas	-	-	3	-
Nepouita	-	-	8	3
Enstatita	-	-	2	5
Cloritas	2.5	2.5	5	3

Es característica en los depósitos ferroniquelíferos la presencia de la paragénesis magnetita - maghemita, hecho que indica la transformación de los minerales de Fe en el ambiente intempérico; la maghemita es una fase metaestable en transición a las fases de la hematita (Sobol, 1968); la hematita (Fe_2O_3), es propia de un ambiente netamente oxidante, se localiza principalmente en la zona superior del perfil laterítico, detectándose por el aspecto oolítico y la coloración pardo - rojiza.

Las asbolanas y litioforita constituyen las principales fases representantes de los minerales de Mn en estos perfiles lateríticos. Ellas se encuentran en muy poca cantidad y tienden a concentrarse en la zona de ocre medio y superior (ocre estructural e inestructural sin perdigones). En estos perfiles también se ha detectado la presencia de

elisabentinskita (aunque en poca cantidad), como una de las fases minerales de Mn presentes en el material laterítico.

En el material laterítico se destaca con frecuencia el cuarzo y probablemente sílice amorfa en pequeñas cantidades (alrededor de un 3 a un 5 %). Los minerales del grupo de la serpentina (antigorita, lizardita y crisotilo) constituyen las principales fases minerales de los horizontes serpentínicos, además de las cloritas (clinocloro, schuchardita), esmectitas (principalmente nontronita), así como la presencia de la fase nepouita, observable en el material serpentínico lixiviado, de color verde claro presente particularmente en las grietas y fisuras de las serpentinitas.

Dentro de los minerales serpentínicos el más abundante en los perfiles lateríticos es la lizardita, que suele presentarse con una coloración verde a verde grisáceo, asociado a fibras de crisotilo asbesto y antigorita, difíciles de diferenciar unos de otros por rayos- x (Bientz, 1990).

De lo visto respecto a la composición mineralógica de los perfiles lateríticos se puede concluir que muchos de los componentes principales pueden presentarse en más de una forma mineralógica, por las numerosas fases minerales en que pueden aparecer, detectándose los compuestos ferrosos (Fe_2O_3 y FeO), óxidos de Mg y sílice (SiO_2). Vale señalar que el Fe puede presentarse en varias formas mineralógicas, desde goethita y hematita, hasta espinelas (magnetita y cromoespinelas), cada una de ellas con sus características cristal químicas específicas, lo que influye en la diferenciada forma de retención y afinidad que tienen cada una de estas fases minerales respecto al níquel. Algo parecido se observa con el magnesio y la sílice, los cuales se pueden presentar según varias formas minerales.

Es necesario resaltar además, que no existen formas mineralógicas propiamente de Ni en las menas oxidadas de estos yacimientos, lo que le confiere una enorme importancia a las fases minerales portadoras de este elemento. La nepouita constituye la fase mineral de Ni presente en estas cortezas, pero es un filosilicato que predomina en la zona de serpentinita lixiviada o alterada, estando en muy poca cantidad en el material laterítico (de un 5% o menos), hemos podido observar que ésta es relativamente abundante en el yacimiento San Felipe, Camagüey, fundamentalmente

en la parte donde el intercambio hídrico es malo o por debajo del nivel freático, no siendo así en el resto de los yacimientos.

Los depósitos lateríticos de níquel se forman por oxidación progresiva de los minerales de la roca madre, siendo lixiviados los componentes solubles por las aguas subterráneas y acumulados los componentes relativamente insolubles junto con algunos de los minerales refractarios. La secuencia de minerales metaestables es remplazada por minerales estables en condiciones superficiales. El grado en que los minerales transicionales se desarrollan depende de la roca madre y de las condiciones de meteorización.

En las rocas ultrabásicas la mayor parte del níquel se encuentra en la estructura cristalina del olivino, mientras que el cobalto se encuentra preferentemente en la estructura cristalina de los piroxenos; esta es la consecuencia de que la relación níquel – cobalto sea mayor en dunitas que en piroxenitas, he aquí una razón más para el estudio de la composición de la roca madre, sobre todo si el proyecto minero a ejecutar se encuentra en la etapa de exploración preliminar.

La mayor parte de las rocas ultramáficas están serpentinizadas y el grado de alteración varía en rangos menores que ocupan solo las grietas, hasta un completo metasomatismo.

1.2 Metodología de la investigación

La metodología aplicada para la investigación titulada la caracterización geoquímica de componentes principales y nocivos de Camarioca Sur y su incidencia en la explotación (Figura 1.3) parte de la búsqueda y recopilación bibliográfica de materiales y datos de trabajos ejecutados en la región y el área de estudio. Se describe el procedimiento utilizado para el procesamiento de las bases de datos, así como para las descripciones petrográficas generales de las rocas que componen el complejo ofiolítico. Se dividió el trabajo en cuatro etapas fundamentales:

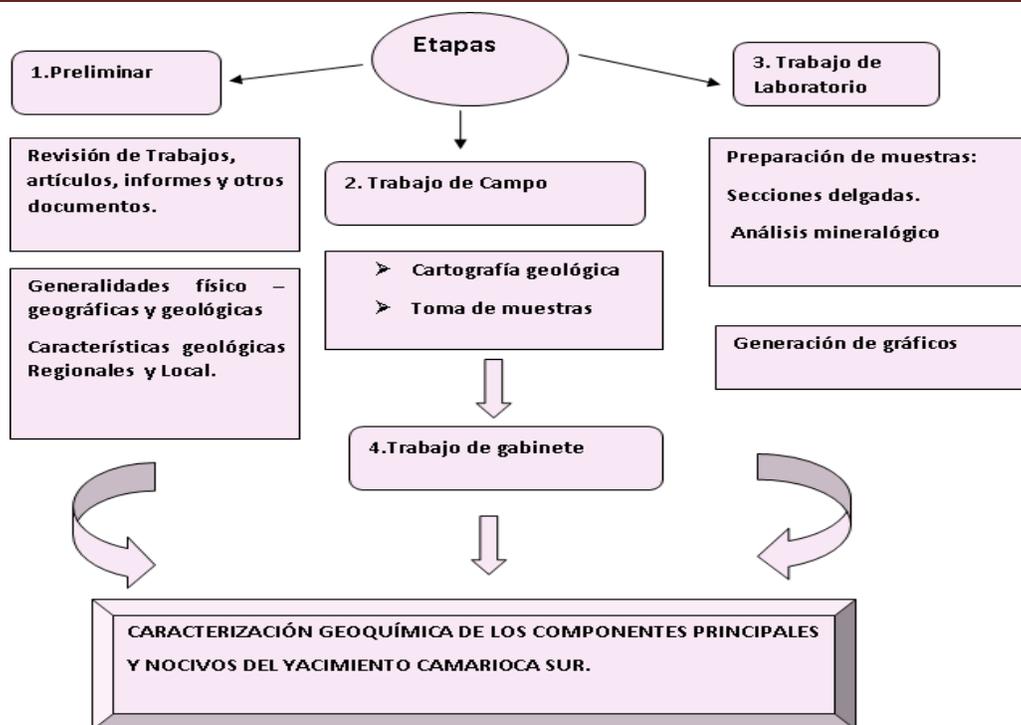


Figura 1.3: Organigrama que resume la metodología de la investigación.

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

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

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

1.2.1 Preliminar

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

1.2.2 Trabajos de campo.

El trabajo de campo se desarrolló en varias campañas de corta duración. Los itinerarios geológicos realizados durante el período de levantamiento fueron ejecutados según las redes de perforación 33,33 m x 33,33 m en dirección E – W y N 45° E para la red de 35 m x 35 m con el objetivo de documentar afloramientos y tomar muestras de las litologías principales que afloran en el área de estudio.

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

1.2.3 Trabajos de Laboratorio

El análisis petrográfico incluyó la descripción detallada de las muestras de rocas tomadas en el campo, así como la descripción petrográfica de las muestras previamente preparadas en secciones delgadas, bajo el microscopio petrográfico o polarizante modelo NP-400B, marca NOVEL, de procedencia China. Se preparó el microscopio para observaciones ortoscópicas, utilizando tanto nicoles cruzados como paralelos, objetivo 10X, foco 17,13 mm, a una distancia de trabajo aproximada de 7,316 mm, se determinaron los parámetros ópticos, como: color, pleocroísmo, relieve, forma, índice de refracción, colores de interferencia y ángulo de extinción.

Se obtuvieron microfotografías que fueron tomadas con una cámara digital, modelo Power Shot A630, de 8.0 megapixels, con un zoom óptico de aproximación 4X, y un ocular especial para cámaras Canon de Φ 52mm.

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

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



Figura 1.4: Fundición de las muestras para análisis químico en el laboratorio "Elio Trincado" de Santiago de Cuba.



Figura 1.5: Preparación de las soluciones de las muestras para su análisis en el equipo de espectroscopia de masa con ICP acoplado, en el laboratorio de “Elio Trincado” Santiago de Cuba.

1.2.4 Trabajo de gabinete

En esta etapa se llevó a cabo el procesamiento de toda la información primaria obtenida en el campo y brindada por la Empresa Moa Nickel S. A. Sobre la base de estos datos fueron confeccionados los mapas de isocontenidos de los elementos Ni, Co, Fe, Mg, Mn, Al, Cr y SiO_2 para la zona de escombros, la laterita de balance (LB) y la saprolita de balance (SB) del área de estudio.

Para la confección de los mapas de isocontenidos se utilizó el promedio de los valores de los elementos químicos por horizontes meníferos en los pozos ordinarios, así como todas las redes de perforación realizadas en el yacimiento. Se emplearon los siguientes Softwares para generar los mapas; el programa de Surfer 9.0 para la confección de los mapas de isocontenidos, el método empleado fue el (Inverse distance to a power), el programa de ArcGIS para la confección del mapa tectónico, red fluvial y relieve sombreado. Las consultas a la base de datos geoquímica del yacimiento Camarioca Sur se realizaron con los programas Access y Excel de Microsoft Office.

La superposición de estos mapas sobre el mapa de basamento permite extraer conclusiones importantes sobre la relación que existe entre las diferentes litologías

existentes en el área y el comportamiento de los contenidos de los elementos antes mencionados, lo cual da respuesta al objetivo principal del presente trabajo que consiste en caracterizar geoquímicamente el comportamiento de la concentración y distribución espacial de las menas lateríticas para guiar el proceso de la minería o a discriminar áreas favorables y no favorables a la hora de explotación del yacimiento.

Resumen del Capítulo

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

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

Introducción

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 en Cuba.

Las menas lateríticas residuales se formaron durante el proceso de lateritización de las ultramafitas serpentinizadas, como consecuencia de la combinación de factores climáticos, litológicos, estructurales, geomorfológicos; los que originaron potentes cortezas de intemperismo, las cuales poseen horizontes o capas, que difieren entre sí desde el punto de vista químico y mineralógico, entre otros parámetros.

2.1 Características económico – geográficas de la región

2.1.1 Ubicación geográfica

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

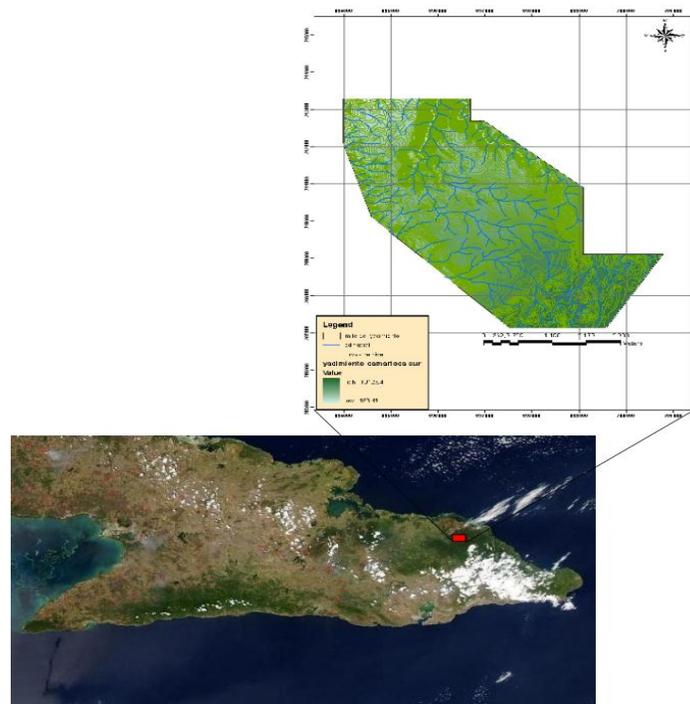


Figura 2.1: Mapa de ubicación del yacimiento Camarioca Sur.

2.1.2 Principales rasgos económicos de la región

Económicamente la región de Moa está dentro de las más industrializadas del país; cuenta con dos plantas procesadoras de menas de níquel, actualmente en producción, la Comandante Ernesto “Che Guevara” y la Comandante “Pedro Soto Alba”, con capacidades de diseño original de 30 000 y 24 000 t de concentrado de Ni + Co al año respectivamente. Esta producción constituye el segundo rubro exportable del país. Además de estas industrias existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y la minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Goetdebeche”, Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONÍQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), así como otros centros industriales de menor tamaño, vinculados a la actividad económica del territorio. La agricultura no tiene un peso fundamental dentro de la vida económica de la región. En la actualidad se realizan esfuerzos para su desarrollo. También la ganadería se encuentra incipientemente desarrollada. En la zona se encuentran los yacimientos de cromo Merceditas, Amores y Los Naranjos, pero no están en producción. También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geominera Oriente, la Presa Nuevo Mundo, el Tejar de Centeno, el combinado lácteo y otros.

2.1.3 Recursos minerales

La región de Moa constituye una de las más ricas del país en lo que a recursos minerales se refiere, siendo el centro minero de mayor importancia nacionalmente.

Los yacimientos lateríticos de Ni y Co, de tipo único por su escala, que se encuentran en la región representan la mayor riqueza mineral del país y una de las mayores del mundo. Asimismo, unido a la corteza de intemperismo se localiza una de las reservas más importante de mineral de Fe a escala mundial. Además, vinculada a la corteza de intemperismo se encuentran importantes reservas de espinelas Cromíferas diseminadas, que a consideración de Thayer, 1942 los volúmenes sobrepasan los 4650 toneladas métricas por hectárea de lateritas hasta una profundidad de 30cm (Thayer, T. P 1942).

2.1.4 Geomorfología

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

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

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

Se distinguen en la región muchas morfoestructuras originadas por los procesos geodinámicos que se iniciaron a fines del Mesozoico continuaron hasta el Paleógeno, a consecuencia de los cuales se formó el sistema de escamas tectónicas que caracteriza al complejo ofiolítico y que son parcialmente enmascaradas por una vigorosa reestructuración neotectónica. En la formación de los yacimientos lateríticos los relieves de montañas bajas y pre montañas aplanadas ligeramente diseccionadas constituyen las principales formas de relieve, ya que sobre éstas se desarrollan los yacimientos de corteza más perspectivas teniendo en cuenta que las superficies aplanadas favorecen la acumulación y conservación del eluvio, mientras que las alturas favorecen la circulación rápida de las aguas subterráneas, agilizando el proceso meteórico.

Conjuntamente con estas zonas, aparecen en la región un conjunto de formas menores, que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional, como son las formas cársicas y barrancos como elementos naturales; y las



áreas minadas y presas de cola como elementos antropogénicos. (Rodríguez I. A. 1998). Ver anexo 19.

2.1.5 Tectónica

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

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

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

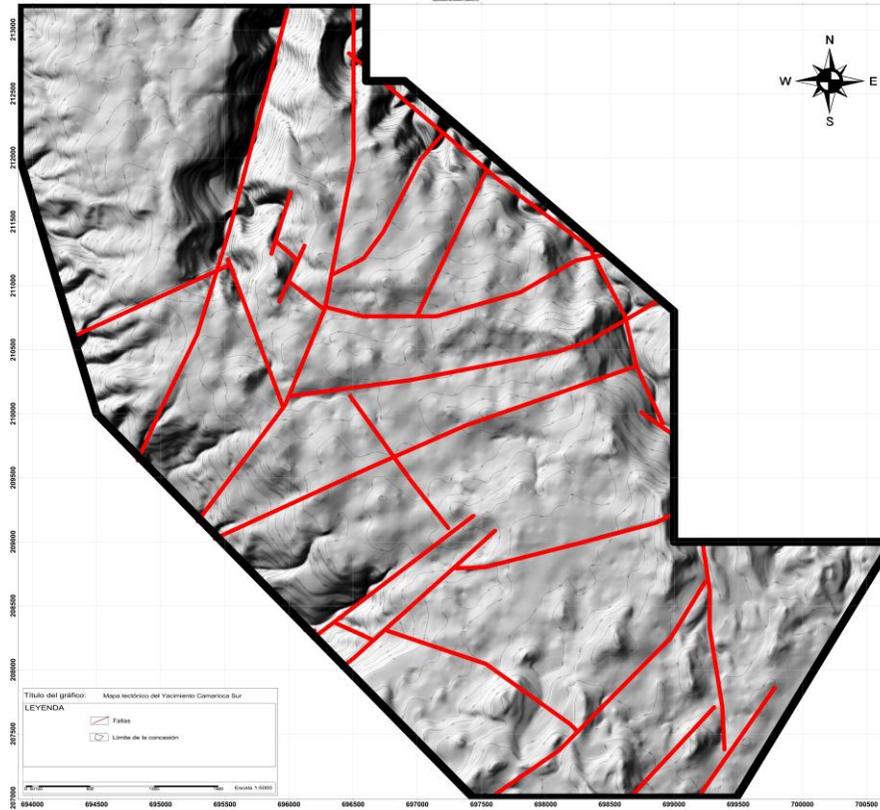


Figura 2 .2. Mapa tectónico yacimiento Camarioca Sur.

2.1.6 Clima

El clima de la zona es subtropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos de lluvia (Mayo-Junio) y (Octubre-Enero) y dos períodos de seca (Febrero-Abril) y (Junio-Septiembre). Según análisis estadístico de 21 años (1989–2009), referente al comportamiento de las precipitaciones en Moa, el total anual varía entre 767 – 3560 mm. La cantidad de días con lluvias anuales que se registran en la serie analizada para cada pluviómetro, manifiestan una regularidad cada cuatro años, en que existe un ascenso en la cantidad de días lluviosos. Por lo 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 m 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 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.

2.1.7 Vegetación

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

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

- ✓ Pluvisilvas: Es la formación vegetal más vigorosa y puede alcanzar hasta 40m de altura. Especies más representativas: Majagua azul, Ocuje colorado, Roble y Yagruma.
- ✓ Charrascales: Son formaciones de bosques siempre verdes o matorrales xeromorfos subespinosos. Alcanzan una altura de 6 y 8 m. Especie más representativa Jaracanda arbórea.

Bosques de galería: Se desarrollan en las laderas de los ríos, arroyos, cañadas y diferentes cursos de agua. Pueden alcanzar hasta 20 m de altura o más. Especies representativas: Ocuje colorado y diferentes tipos de helechos.

2.1.8 Fauna

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

Además de estas especies notables se presentan los animales de los bosques claros y de los pequeños arbustos, como son: lagartos, arañas, ciempiés, etc. También se



pueden encontrar especies silvestres como el zunzún, la paloma, el tocororo, la cartacuba entre otros (Vallejo. N, 1997).

2.1.9 Red fluvial

La red hidrográfica en la zona se encuentra bien desarrollada, representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Aserrió, Cabañas, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam, Semillero, El Medio, Cupey, Yamanigüey y parte de su curso del Jiguaní y Jaguaní, 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.

Estos 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 área del yacimiento Camarioca Sur la red aunque mantiene sectores con configuración dendrítica, presenta un gran control tectónico debido a la alta fracturación de las rocas.

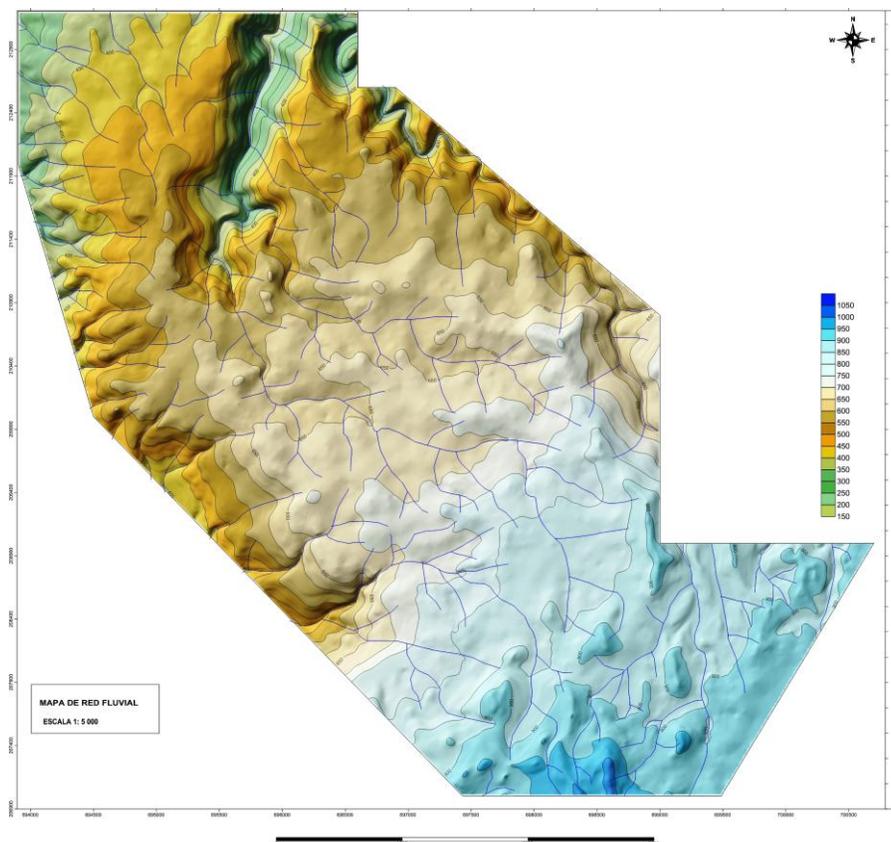


Figura 2.3: Mapa de red fluvial del yacimiento Camarioca Sur.

2.1.10 Condiciones Hidrogeológicas

Las condiciones hidrogeológicas del área estudiada dentro del yacimiento Camarioca Sur, por sus características estructurales pueden considerarse simples, pero sin embargo por las condiciones de estar presente un flujo no homogéneo, gran variabilidad en espacio y perfil de las características de permeabilidad que representadas por el coeficiente de filtración varía desde 0,005 m /día hasta más de 1 m /día., y de la red del flujo subterráneo, las condiciones hidrogeológicas en el área estudiada son muy complejas.

Las principales rocas acuíferas en el área lo representan las rocas agrietadas (con cavernas aisladas) que yacen bajo el estrato laterítico de cubierta y que le imprimen a las aguas contenidas en las rocas presiones que alcanzan hasta unos 5 m. en función del espesor de estas lateritas formadas por los Ocre Estructurales e Inestructurales, de permeabilidad unas 10 veces menor que la existente en las rocas acuíferas, lo que

caracteriza a las aguas subterráneas del yacimiento como semiconfinadas a confinadas en partes.

La humedad de los Ocreos que forman las lateritas tienen como origen predominantemente a las aguas subterráneas de las rocas agrietadas que las subyacen y que por presión en las rocas acuíferas ascienden hasta determinada altura en función de la presión que las lateritas le imprimen a las aguas subterráneas, a partir de esa altura la humedad en los Ocreos depende de las propiedades de ascensos capilares que ellos presentan y que pueden alcanzar alturas superiores a los 15 m.

La principal alimentación de las aguas subterráneas en el yacimiento está representada por la infiltración de las aguas de precipitaciones atmosféricas en zonas donde las rocas agrietadas afloran a la superficie del terreno o yacen bajo la cubierta de Ocreos Inestructurales con perdigones de óxidos de hierro. En segundo lugar como fuente de alimentación puede considerarse también la infiltración de las aguas de escurrimientos superficiales de los arroyos existentes en el yacimiento, esto principalmente durante las lluvias, ya que en periodos de estiaje, estos arroyos predominantemente funcionan como drenes de las aguas subterráneas.

La red del flujo subterráneo en el área de estudio es muy compleja, la dirección predominante de las aguas subterráneas es hacia el Norte (al río Moa), con desviaciones locales concéntricas y radiales en zonas de altas cotas del relieve y hacia arroyos que surcan el yacimiento y que sirven de drenaje a las aguas subterráneas, con pendientes que repiten la pendiente del relieve del terreno.

Preliminarmente se definen las aguas subterráneas del yacimiento como aguas dulces, con mineralización próxima a 0,5 g/l y del tipo Hidrocarbonatada Magnésica, del Tipo I que las define como aguas de reciente infiltración.

Para establecer los recursos naturales de las aguas subterráneas en el yacimiento se requiere del aforo (medición) del caudal de los arroyos que drenan a las aguas subterráneas en áreas del yacimiento, ya que otras posibilidades actualmente no existen.

Las posibilidades de abasto de pequeños caudales con agua subterránea está limitada a las áreas donde existe permeabilidad superior a 0,5 m /día, y son muy pocas, por lo

que para definir posibles caudales de explotación debe ejecutarse estudio con perforaciones de mayor profundidad, con bombeos experimentales.

Para definir posibles abastos de agua con aguas superficiales de arroyos existentes en el yacimiento, debe ejecutarse estudio de la calidad química y bacteriológica de esas aguas y establecer plan de medidas de protección al o los arroyos que puedan servir como fuentes de agua potable y de uso social.

La incidencia de las condiciones hidrogeológicas en la minería principalmente están reflejadas en el alto grado de humedad de los Ogres explotables y flujo de las aguas subterráneas en contacto de estos Ogres con rocas lixiviadas y agrietadas y presenta mayor incidencia durante los laboreos mineros reflejándose en posibles encharcamientos en los pozos de explotación, posibles deslizamientos de sus taludes y en la movilidad del transporte minero y en humedecimiento de los viales sobre todo en períodos de lluvia cuando el nivel piezométrico del acuífero asciende hasta menores profundidades de la superficie del terreno.

En el pozo hidrogeológico P.H. 1 perforado en coordenadas E: 695375 y N: 210675 (a 13 m. en dirección Este del pozo de prospección mineral 12389) en el intervalo final de perforación 11,00 a 12,60 m de profundidad se encontró roca descrita como peridotita agrietada. En los testigos extraídos de esta roca se detectó una fuerte susceptibilidad magnética, por lo que esta muestra (y área) debe ser estudiada en detalle para definir posible contenido de magnetita u otros minerales que puedan estar presentes (Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, Fase 1, Abril 2011).



Figura 2.4. Foto de caverna en peridotitas serpentinizadas (Informe Preliminar Fase 1, 2011).

Coordenadas N: 210 610 y E: 695 740.

2.1.11 Relieve

El relieve del 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 1 174,6 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, G., 1989).

Para la región se han determinado dos zonas geomorfológicas: llanuras y montañas, (Rodríguez I. A, 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 m.



Hacia la parte sur predominan las montañas bajas y premontañas de cimas aplanadas o ligeramente diseccionadas. El yacimiento Camarioca Sur se encuentra ubicada específicamente en el borde occidental del bloque morfotectónico de mayor levantamiento de la región, lo que le confiere una mayor inestabilidad e irregularidad de la topografía, por lo que aun cuando predomina el relieve de montañas bajas aplanadas, en su morfología aparecen numerosos barrancos, escarpes y deslizamientos, 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. 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.

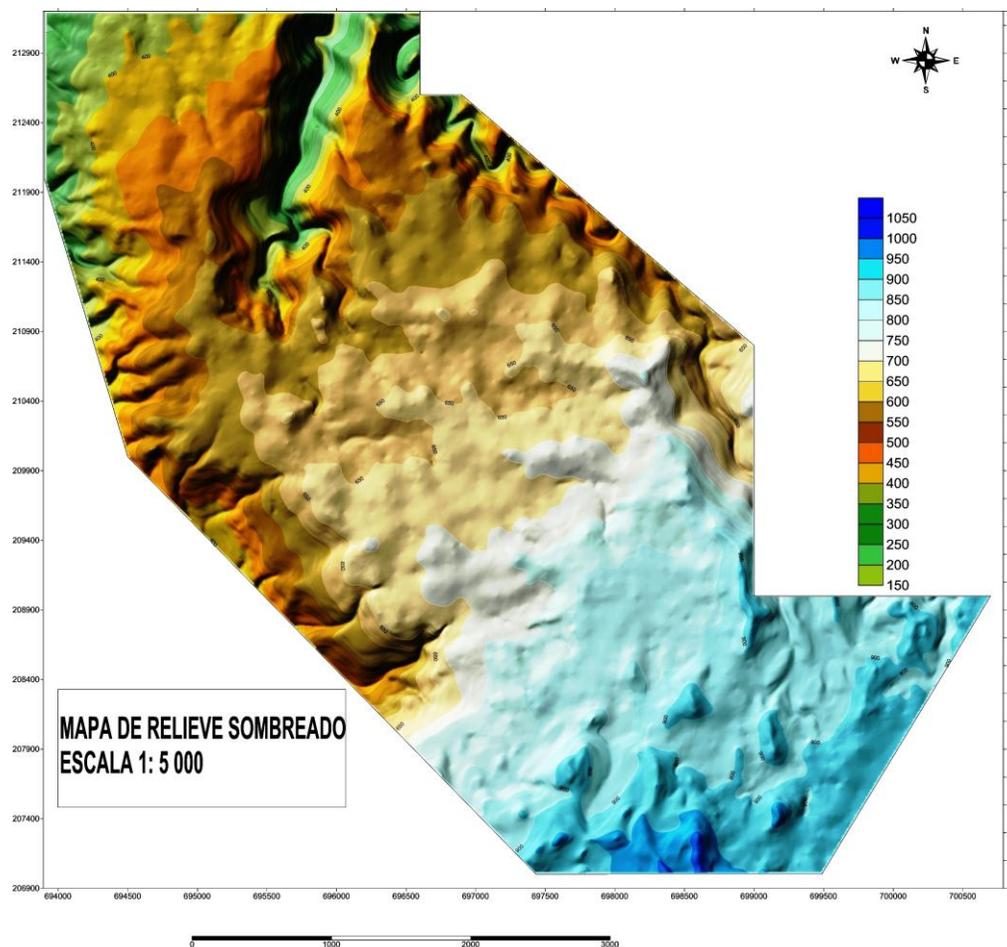


Figura 2.5: Mapa de relieve sombreado del yacimiento Camarioca Sur

En el territorio de Moa y superpuesto a las formas antes descritas se desarrollan formas del relieve cársico en un sector de aproximadamente 72 km², parte del cual se encuentra dentro del área objeto de investigación.

Núñez Jiménez (1967, 1984), ubicó estas formas cársicas en el grupo denominado Región Cársica del Oriente de Cuba, en el subgrupo montañas de Moa, carso de los antillanos serpentinizados que comprende el área entre las cuencas de los ríos Moa y Calentura por el noroeste y el cauce superior del río Jiguaní por el sudeste, correspondiendo a la parte más alta del peniplano antiguo y a las mayores elevaciones de las Cuchillas de Moa (700-1200 m), aparecen dolinas, sumideros, lapiez o karren así como otras formas cársicas típicas de la zona como las estructuras columnares y piramidales de extremos afilados y cuellos erosionados. Muchas de estas formas aparecen alineadas y orientadas en dirección nordeste y noroeste.

Cronológicamente este relieve se asocia con las formas cársicas de los niveles superiores de las terrazas de Maisí (Nuñez Jiménez et al., 1967).

En el área del yacimiento Camarioca Sur las formas del relieve cársico afloran hacia la parte sur, aunque en los trabajos geológicos realizados se han encontrado formas cársicas enterradas bajo las cortezas ferroniquelíferas, (Sitnikov, V., et al., 1976)

2.2 Características geológicas regionales

El área de estudio se enmarca dentro de la región oriental de Cuba, la cual desde el punto de vista geológico se caracteriza por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del neoaotóctono (Iturralde-Vinent, 1996 a, 1996b, 1998).

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

Ofiolitas Septentrionales

El Complejo Peridotítico (tectonitas), se caracteriza por presentar harzburgitas, en menor grado websteritas y lherzolitas, con bolsones aislados de dunitas, todas serpentinizadas (Iturralde-Vinent, 1998). (Ver Digrama de Streckeisen, Fig. 2.6) La zona de gabros forma grandes cuerpos incluidos en el complejo de tectonitas. Las dimensiones de estos cuerpos oscila entre 1 y 3 km de ancho, por 10 a 15 km de longitud (Fonseca, et al., 1985). El contacto entre el complejo de tectonitas y el de gabros es mayoritariamente tectónico. La parte inferior del complejo de gabros se caracteriza por presentar un marcado bandeamiento, mientras que la parte superior es isotrópica.

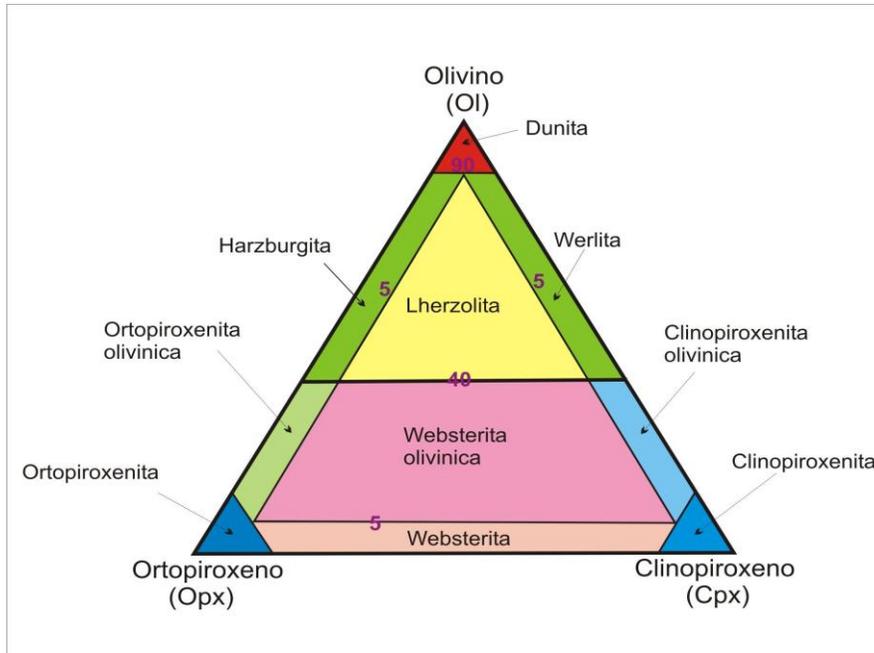


Figura 2.6. Esquema de las ultramafitas piroxénicas en función del olivino (ol), ortopiroxeno (opx), clinopiroxeno (cpx), (Streckeisen, A., 1975).

En este macizo también existen numerosos cuerpos de cromitas y sills de gabro, así como diques de gabros y de pegmatoides gabroicos (Fonseca et al., 1985; Proenza, et al., 1998). Los sills de gabros y las cromitas 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 cromitas 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-Vinent, 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 cromitas. Además de los diques gabroides, plagioclasitas y

plagiogranitos, en la parte superior de la sección pueden aparecer cuerpos potentes de gabros isotrópicos (Iturralde-Vinent, 1998).

El complejo de diques paralelos de diabasas no ha sido reconocido en toda la FOMB 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.

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

La Fm. Santo Domingo (Albiense-Turonense) está compuesta por tobas y lavabrechas andesíticas, dacitas, tufitas, argilitas, lutitas volcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (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.

El complejo Cerrajón (Aptiense-Turonense) está compuesto por diques subparalelos de diabasas y gabrodiabasas (Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990; Gyarmati y otros, 1997).

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. Mícara 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'Connor, 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 organo-detríticas, areniscas volcanomícticas con cemento calcáreo, lutitas y tufitas (Cobiella, 1978; Quintas, 1989). 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. 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).

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 monoclinial suave u horizontal (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1994, 1996; Rodríguez, 1998).

La Fm. Cabacú (Oligoceno Medio-Mioceno Inferior) está compuesta por gravelitas, areniscas y lutitas polimícticas (proveniente principalmente de ultramafitas y vulcanitas) de cemento débilmente arcilloso-calcáreo y a veces algunos lentes de margas arcillosas en la parte inferior (Nagy y otros, 1976; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 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'Conor, 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).

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

también se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983, 1990).

2.3 Tectónica regional

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

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

Estas fallas se cortan formando un triángulo (Figura 2.7), además el Bloque Oriental Cubano está muy cerca del límite entre las placas Norteamericana y Caribe; posición esta que lo hace muy vulnerable a movimientos sísmicos.

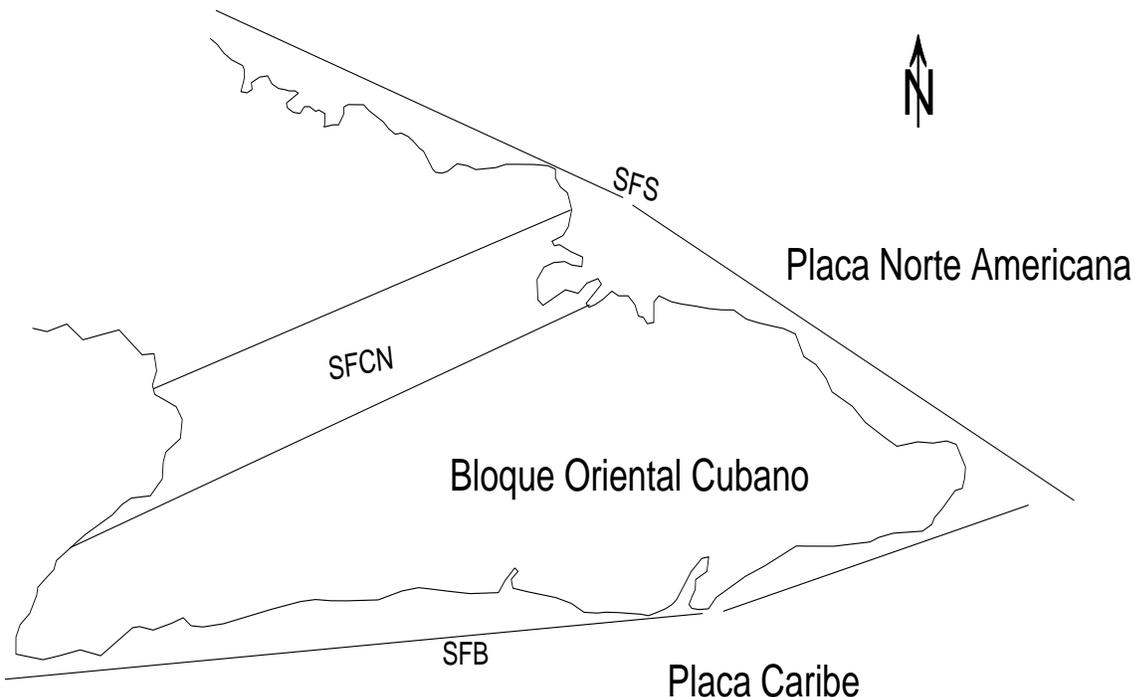


Figura 2.7: Mapa Esquemático del Bloque Oriental Cubano. Nombre de los Sistemas de Fallas: SFS, Sistema de Falla Sabana; SFB, Sistema de falla Bartlet; SFCN, Sistema de Fallas Cauto-Nipe. Tomado de Blanco-Quintero, 2003.

2.4 Mineralogía de las menas lateríticas

Genéticamente los yacimientos de corteza ferroniquelífera de Camarioca Sur son de origen hipergénico, a partir de la meteorización y transformación de las litologías ultramáficas piróxicas serpentinizadas.

La composición mineralógica de las menas lateríticas es sumamente compleja, ya que el alto número de elementos químicos que se liberan de la desintegración de la molécula del olivino y ortopiroxenos, principales portadores del 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 el proceso de serpentización 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 con esos factores, la migración geoquímica del níquel se realiza en tres fases:

1. Desintegración de la molécula del olivino y ortopiroxenos.
2. Fase de formación de óxidos e hidróxidos
3. Fase de formación de silicatos de níquel.

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

En correspondencia con lo expuesto, las paragénesis minerales en la menas lateríticas se pueden agrupar en:

- Minerales magmáticos primarios (complejo Mantélico- complejo oceánico y MTZ)
- Minerales con composición de óxidos e hidróxidos
- Minerales del grupo de las smectitas y arcillas
- Minerales Silicatados de níquel y cobalto
- Minerales del grupo de la serpentina
- Otros (anfíboles, micas, talco)



Las paragénesis minerales más frecuentes y a la vez productivas para el hierro, níquel y cobalto son:

goethita + asbolana + gibbsita + minerales arcillosos

goethita + asbolana + gibbsita + minerales del grupo de la serpentina.

En resumen, los principales portadores de la mineralización de hierro, níquel y cobalto se corresponden con los óxidos e hidróxidos de hierro (Fe) y manganeso (Mn).

- ✓ Goethita - (65- 54 % en peso, principal portador del Ni en las menas lateríticas)
- ✓ Asbolana – (principal portador de Co en las menas lateríticas)
- ✓ Gibbsita – (12,68 % en peso, no portadores de Ni y Co)
- ✓ Litioforita - (portador de Co)

Minerales magmáticos primarios (complejo Mantélico – complejo oceánico y MTZ)

Se corresponden con los minerales primarios de origen magmático, bien como componentes fundamentales de las litologías de la asociación ofiolítica o como minerales accesorias a ellas. Para el área, según (Lavaut, C, W, et al., 2005) se reportan los siguientes:

- Ortoclasa
- Olivino
- Albita
- Anortita
- Diópsido
- Hiperstena (mineral no reconocido por IMA)
- Enstatita
- Magnetita
- Espinelas Cromíferas

Minerales con composición de óxidos e hidróxidos

Constituyen un numeroso grupo de minerales en forma de óxidos e hidróxidos de Fe, Al, Co, Ni y Mn; entre ellos se incluyen los principales portadores de níquel y cobalto de las menas lateríticas de la concesión Camarioca Sur. Su elevado por ciento en peso en la constitución de las menas lateríticas le transfieren el color pardo-rojizo-amarillento (80% - 90% en el perfil completo). En los horizontes de ocre de la concesión Camarioca Sur se reportan, según (Lavaout, C, W, et al., 2005) los siguientes:

- Goethita
- Hematita
- Asbolana
- Maghemita
- Gibbsita
- Litioforita

Minerales del grupo de las smectitas y arcillas

Del grupo de minerales de las arcillas y las smectita, se han identificado en la concesión de Camarioca Norte los siguientes, (Lavaout, C, W, et al., 2005).

- Montmorillonita
- Nontronita
- Caolinita

Minerales silicatados de níquel y cobalto

Los minerales silicatados de níquel típicos, son las cloritas níquelíferas, (Ramdorhr, P., 1980): Schuchardita – $\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{Al}, \text{Si}) (\text{OH})_8 (\text{Ni}, \text{Mg}, \text{Al})$ y Revdinskita – $(\text{Si}, \text{Fe})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8 (\text{Ni}, \text{Fe})_6$; localizadas en el horizonte saprolítico; en la concesión de Camarioca Sur no han sido identificados por investigaciones precedentes.

Minerales del grupo de la serpentina

En el horizonte de saprolitas se manifiesta un importante número de minerales que por su composición química y estructura cristalina se corresponden con los minerales del grupo de la serpentina, varios de ellos son portadores de Ni y en menor grado de cobalto. Los minerales del grupo de la serpentina, portadores de Mg^{++} , son a la vez portadores de Ni^{++} , produciéndose una sustitución diadócica entre ambos elementos químicos, justificado por el hecho de que el radio iónico de ambos es igual a 0.78 \AA^0 ; por lo que al liberarse Ni^{++} de la goethita ($Fe^{3+} O (OH)$) en solución acuosa, se incorpora a la estructura molecular de la serpentina, mediante un proceso de enriquecimiento secundario. Esto justifica los altos valores del níquel en el horizonte de saprolita, (Gali, S., et al., 2006); (Labrador, M., et al. 2006); (Muñoz Gómez, J. N., et al., 2007).

2.5 Geología del yacimiento

Para el área del yacimiento Camarioca Sur Sitnikov, V., et al., (1976), identificaron y diferenciaron los principales tipos litológicos que conforman el basamento sobre el cual se desarrolló y acumuló la corteza ferroniquelífera para el área del yacimiento Camarioca Sur. Dentro de esas litologías se destacan las peridotitas y las serpentinitas, con menor abundancia aparecen diferentes variedades de gabros y diseminaciones de cromitas como se muestra en el mapa geológico del basamento de Aleojin, V., et al., 1977. (Figura: 2.8)

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

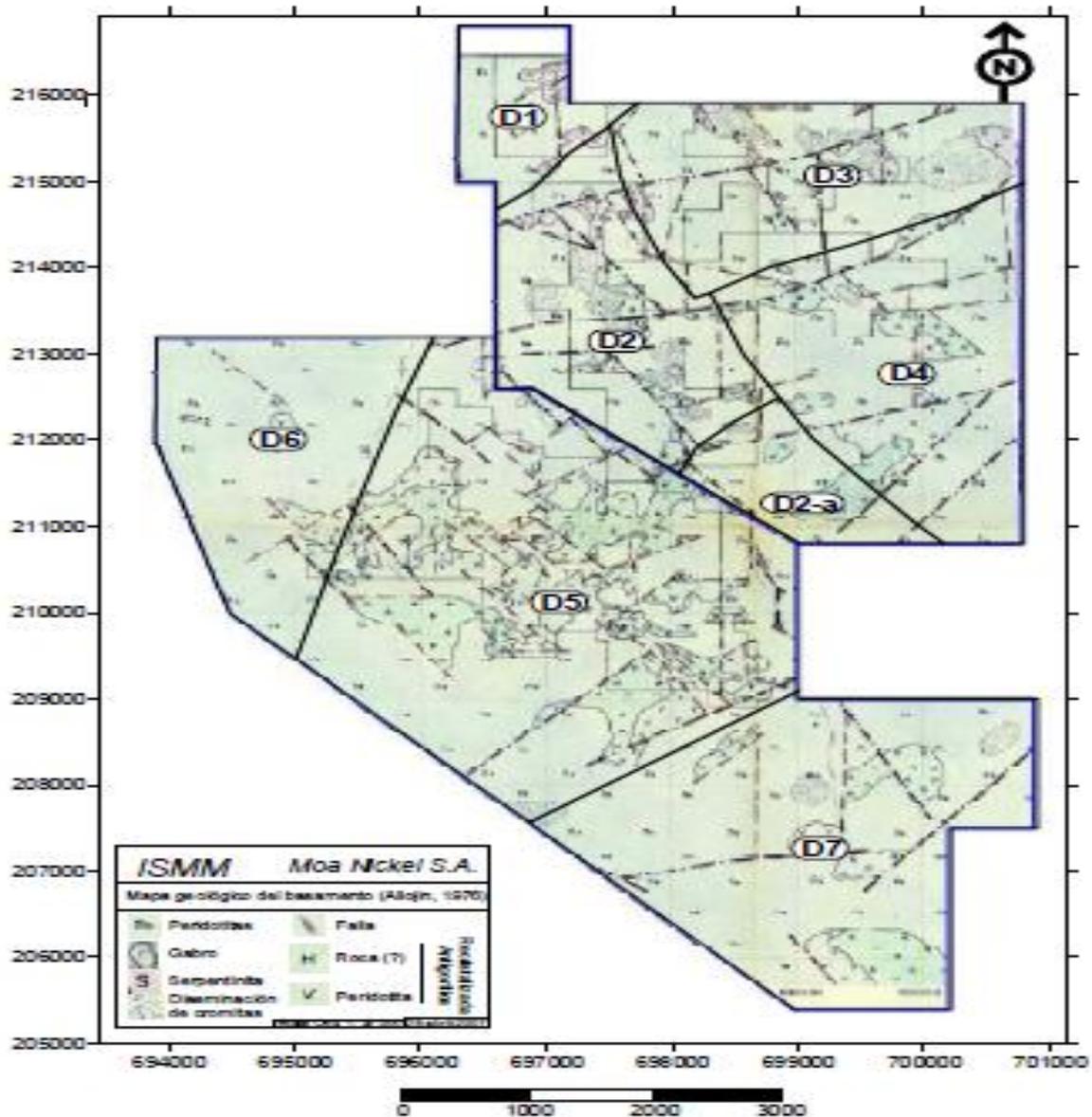


Figura 2.8: Mapa geológico del basamento. Camarioca Sur. (Aliojin, 1977).

En el área del yacimiento Camarioca Sur aparecen en el basamento rocas, que en el trabajo de Sitnikov, V., 1976, fueron declaradas como rocas recristalizadas de composición considerablemente antigorítica. Estas rocas adquieren gran importancia en el estudio del comportamiento de estos yacimientos, ya que se pudo observar que en el área donde ellas se encuentran las cortezas se caracterizan por su pobre desarrollo y los bajos contenidos de níquel, (Ver figura 1.2 del Capítulo I).

Para el cumplimiento de los objetivos trazados se realizó el levantamiento geológico 1: 5 000 en el yacimiento Camarioca Sur a través de las redes de perforación de 35 x 35 m y de la red de 33 x 33 m, documentándose los afloramientos y las plataformas de los pozos ejecutados, en las trochas y en los caminos mineros.

La abundante vegetación boscosa y de maleza impide, en gran medida, identificar los afloramientos de rocas existentes, por lo que muchos de ellos, entre las líneas de exploración, pueden quedar ocultos, limitando la correlación entre los puntos de documentación.

Se confeccionaron dos bases de datos para el registro digital de la información geológica, una con los puntos de documentación con 317 registros y la base de control de muestras con 457 registros.

Las litologías han sido corroboradas con los resultados de los análisis petrográficos. El área levantada está constituida en superficie por la corteza de intemperismo desarrollada sobre diferentes litologías que constituyen el basamento del yacimiento. En superficie, existe un predominio de la existencia de ocres inestructurales con perdigones cuyas dimensiones oscilan entre 1,00 – 25,00 mm. aproximadamente, ocasionalmente afloran ocres inestructurales sin perdigones. Afloran discontinuamente las asociaciones litológicas siguientes:

- Asociación ultramáfica mantélica: dunitas serpentinizadas, harzburgitas serpentinizadas y piroxenitas serpentinizadas.
- Asociación de la zona de transición (MTZ): harzburgitas plagioclásicas, trondjhemitas.
- Asociación metamórfica: metapelitas(anfibolita), esquistos cloríticos, esquistos cloríticos – talcosos.
- Asociación ultramáfica metamorfizada: serpentinitas antigoríticas, serpentinitas, serpentinitas cloritizadas y esteatitas.

En muchos afloramientos, siguiendo alineaciones tectónicas, aparecen abundantes fragmentos de sílice amorfa - calcedonia y cuarzo microcristalino que podrían estar

asociados a un evento hidrotermal de baja temperatura posterior al emplazamiento de la asociación ofiolítica.

Se ha podido comprobar en los afloramientos que existe una relación espacial entre las metapelitas y las serpentinitas antigoritizadas que en ocasiones se manifiesta en forma de contactos tectónicos y en otros casos el contacto es transicional entre ambas litologías.

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

Es necesario destacar que sobre las rocas del complejo metamórfico, identificadas en el área, no se desarrollan cortezas ferro-niquelíferas – *in situ* - motivado por la composición mineralógica y química de estas litologías metamórficas; la existencia de cortezas ferro-niquelíferas sobre estas litologías hace que se infiera la presencia de un perfil de lateritas redepositadas.

Según la fuente bibliográfica anteriormente citada (ibid) para la formación de cloritas a partir de serpentinitas debe haber aporte de Al_2O_3 , lo que conlleva a la formación de una clorita rica en magnesio como lo es el clinocloro que es el tipo de clorita reportado en los análisis de difracción de rayos-X (ver reporte mineralógico).

Es importante tomar en consideración la existencia del talco en muchas de las rocas analizadas porque éste pasa sin alteración a la corteza laterítica y aunque pudiera ser un eventual portador de níquel; habría que evaluar si el proceso de lixiviación ácida a presión es capaz de recuperar dicho contenido de níquel, además de la influencia que provocaría un mineral laminar de magnesio al proceso, tanto durante la sedimentación como en el consumo de ácido en lixiviación.

Desde el punto de vista estructural, las mediciones realizadas en los sistemas de grietas evidencian que estas son escasas y la dirección predominante es: NW – SE, las zonas de fallas se identifican mejor, como se expresó anteriormente, por la presencia de las variedades de minerales de la sílice, en pequeñas drusas o rellenando los

sistemas de grietas, es importante señalar también la relación estrecha, desde el punto de vista espacial, entre las serpentinitas antigoritizadas y las manifestaciones de sílice.

Conclusiones

1. Existe predominio de contactos tectónicos entre las litologías afloradas y en menor grado, contactos transicionales.
2. Queda demostrada la existencia de relaciones espaciales entre las zonas de fallas y la existencia de sílice amorfa, o en forma de cuarzo, así como la presencia de serpentinitas antigoríticas asociadas a ellas.
3. La existencia de cortezas de intemperismo ferro-niquelíferas sobre las rocas del complejo metamórfico, infiere que las cortezas sobre estas litologías tienen un perfil redepositado.

2.6 Generalidades geoquímicas de las rocas del basamento del yacimiento Camarioca Sur.

Los contenidos de los óxidos de SiO_2 , MgO se corresponden con el quimismo de las rocas ultramáficas. Con respecto al Fe_2O_3 poseen valores relativamente altos mientras el FeO se manifiesta con valores relativamente bajos.

En relación con los álcalis (Na_2O y K_2O) los valores en general son insignificantes, lo que es típico para esta asociación de rocas.

Composición mineralógica de las muestras de Laterita de Balance (LB)

Las muestras de este tipo tecnológico de mena químicamente son óxidos de hierro (tabla 2), distinguiéndose tres grupos de muestras: un grupo netamente de óxidos de hierro (con un contenido de Fe_2O_3 del orden del 68%), un segundo grupo de muestras con altos contenidos de sílice (alrededor de un 14 %), con cierta cantidad de MgO , en el orden de un 4%, y un tercer grupo, algo parecido al anterior pero con mayor cantidad de magnesio de hasta un 6%.

Mineralógicamente el primer grupo está compuesto por goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), con hematita ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) y maghemita ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$), en ocasiones pequeñas cantidades de magnetita (FeFe_2O_4), además del hidróxido de Al, gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$).

Tabla 2: Composición química de las muestras de Laterita de Balance (LB)

Muestra	Ni	Co	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	PPI	Mena
45419										LB
45720	1,22	0,054	10	3,2	1	2,1	0,5	68,2	12,69	LB
45721	1,38	0,1	9,3	2,3	0,8	2,4	0,8	68,4	13,2	LB
45726	1,05	0,113	8,4	8,5	3,4	2,8	0,8	59,9	13,7	LB
45727	1,07	0,131	9,3	4,9	1,9	3	1	63,2	13,9	LB
53501	1	0,045	10,4	7	2,1	1,8	0,5	64	12,4	LB
53502	1,3	0,083	8,1	5,2	1,7	2,4	0,6	66,7	12,7	LB
53504	1,01	0,112	7,6	7,1	1,6	3	0,8	65,8	11,7	LB
53511	1,44	0,163	8,2	6,4	2,4	3,4	1,3	62,1	13	LB
53512	1,46	0,114	6,9	14,9	4,6	2,4	1	56,1	11,5	LB
53515	1,15	0,158	10,7	4,6	1,5	2,8	1	62	14,2	LB
53516	1,38	0,146	7,2	7	2,1	3,2	1,2	63,3	12,7	LB
53517	1,25	0,164	6,7	9,8	3,5	3,3	1,1	59,5	12,6	LB
53521	1,19	0,287	8,1	13,8	6,2	3,3	2,6	49,6	12,9	LB
53522	1,33	0,116	7,3	14,9	6,5	3,6	1,1	50,8	12,3	LB

Resumen del capítulo.

Cuando se hace una valoración del contexto geográfico, geológico, geoquímico y económico podemos resumir lo siguiente:

1. El área de estudio presenta una significativa complejidad geológica, dado por el hecho de que se encuentra ubicada dentro del complejo ofiolítico Moa – Baracoa.
2. Los mayores yacimientos ferro-niquelíferos de la región se encuentran asociados a la zona montañosa.
3. La relación existente entre las diferentes litologías del basamento y los contenidos de los diferentes elementos representa un valioso criterio de prospección.
4. La concesión minera Camarioca Sur se encuentra ubicada específicamente en el borde occidental del bloque morfotectónico de mayor levantamiento de la región.



5. La composición mineralógica de las menas lateríticas es sumamente compleja, ya que en el alto número de elementos químicos que se liberan de la desintegración de la molécula del olivino y ortopiroxenos, principales portadores de níquel y cobalto, se incluyen los minerales accesorios de las litologías mantélicas.

CAPÍTULO 3. MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LA CORTEZA LATERÍTICA DEL YACIMIENTO CAMARIOCA SUR

Introducción

En el presente capítulo se exponen los resultados de la investigación, en la cual se realiza la caracterización mineralógica y geoquímica de los diferentes horizontes de la corteza laterítica, a través de los mapas de isocontenido elaborados con los valores promedios de los elementos principales y nocivos en los pozos ordinarios del yacimiento Camarioca Sur, permitiendo así el análisis de su comportamiento en la corteza.

Se realizó el análisis del comportamiento geoquímico de los elementos teniendo en cuenta los diferentes horizontes que componen el yacimiento, los tipos genéticos de perfiles establecidos para las cortezas lateríticas.

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

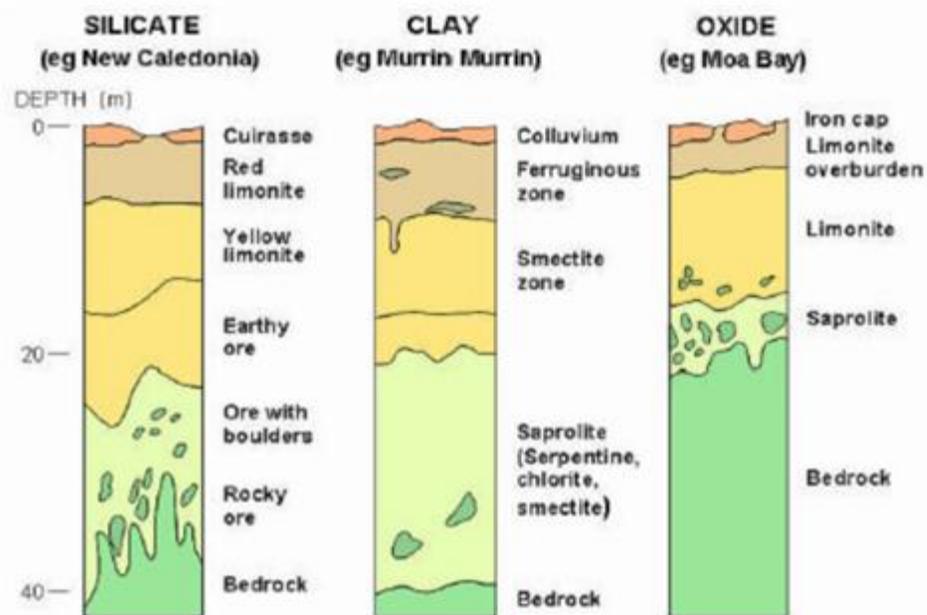


Figura 3.1: Principales tipos de perfiles lateríticos. (tomado de José N - Muñoz, 2004).

- Análisis geoquímico y estadístico de la zona de escombros
- Análisis mineralógico, geoquímico y estadístico de la zona de laterita de balance (LB).
- Análisis mineralógico, geoquímico y estadístico de la zona de saprolita de balance (SB).
- Interpretación de los gráficos del comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en profundidad para las zonas con valores anómalos.

3.1 Análisis geoquímico de la zona de escombros

3.1.1 Comportamiento de los componentes principales del yacimiento; Ni, Fe y Co en el horizonte de escombros (E).

Níquel

El contenido de níquel en el horizonte de escombros varía desde 0,15 % hasta 0,75 %. Se puede apreciar el predominio de contenidos de níquel que oscilan entre 0,45 y 0,75 %. La distribución de los mayores valores de níquel se distribuyen de forma irregular y diseminada en todo el yacimiento para este horizonte, orientadas en dirección NE coincidente con la dirección de los sistemas de fallas, ver anexo 1.

Hierro

El contenido de hierro en el horizonte de escombros es muy elevado, el cual varía desde 35 % hasta 51 %, predominando los valores de hierro que oscilan entre 43 % hasta 47 % en la parte central del yacimiento. Los mayores contenidos de hierro llegan a alcanzar valores superiores de 51 % en la parte NW del yacimiento sin embargo los menores contenidos para este elemento químico se manifiestan en la parte SE del mismo, ver anexo 2.

Cobalto

Los contenidos de cobalto varían desde valores cercanos a 0 % hasta 0,4 %. Hay predominio de valores muy bajos de cobalto en todo el horizonte del yacimiento, que oscilan entre 0 % y 0,1 % (valores de fondo), el cual aparece de forma irregular

bordeando los cuerpos de mayor concentración representados por los contenidos de 0,1 % hasta 0,2 % de Co, ver anexo 3.

3.1.2 Comportamiento de los componentes nocivos; Si, Mg, Al en el horizonte de escombros (E).

Sílice

La sílice varía desde 0 % hasta 24 %, predominando el contenido de la sílice entre 6 % a 12 % en la parte SE del yacimiento. Los bajos contenidos de sílice hasta un 6 % se distribuyen por todo el yacimiento predominando en el sector central y NW. Los valores superiores a 12 % se manifiestan en la parte SE y oriental del yacimiento alcanzando valores muy puntuales de hasta 24 %, lo que es altamente perjudicial para el proceso de beneficio mineral empleado por la industria, ver anexo 4.

Magnesio

En el área de estudio el contenido de magnesio varía desde 0 % hasta 8 %. Predomina el contenido de magnesio de 0 % a 2 % en la parte noroeste y hacia la parte central. En la región central del yacimiento los contenidos de magnesio alcanzan hasta 4 %, sin embargo en el extremo sureste hay contenidos que sobrepasan el 6 %. De forma local aparecen en la parte central valores de hasta 8 % de magnesio, ver anexo 5.

Aluminio

Los valores de aluminio varían desde 1,5 % hasta 10 %. Predomina el contenido de aluminio de 4,5 % a 7,5 %. En la parte central y sur del yacimiento, los contenidos de aluminio varían en el rango de 1,5 % a 4,5 %. Los sectores que presentan altos contenidos de aluminio se localizan en el sector occidental relacionado a zonas de fallas donde se alcanzan valores para este elemento químico de hasta 10,5 %, ver anexo 6.

3.1.3 Comportamiento de otros componentes; Cr y Mn en el horizonte de escombros (E).

Cromo

En el área de estudio el contenido de cromo varía desde 0,6 % hasta 5,6 %. Predominan los contenidos de 1,6 % hasta 2,6 % que ocupa la mayor área del yacimiento. Sin embargo en la parte noroeste y central del yacimiento de forma

irregular y diseminada hay bajo contenido de cromo, que oscilan entre 0,6 y 1,6 %, ver anexo 7.

Manganeso

En el área de estudio el contenido de manganeso varía desde 0,1 % hasta 2,1 %. Predominan los contenidos de 0,5 % a 0,9 % en el yacimiento. En todo el yacimiento hay contenido de manganeso que oscila entre 0,1 % y 0,5 % que se manifiesta de forma irregular y diseminada, sin una tendencia determinada. Puntualmente aparecen valores de contenido de manganeso que llegan a alcanzar hasta 1,3 % hacia las zonas sur y central, ver anexo 8.

Nota: No se realizó análisis mineralógico de la zona de escombro por no ser de interés para la industria.

3.1.4 Análisis estadístico del horizonte de escombro (E).

Con el objetivo de observar el comportamiento de los datos del horizonte de escombro, se realizó el análisis estadístico del mismo. El sumario de los estadígrafos analizados para cada variable, se puede apreciar en la tabla 3.1.4.1. Los elementos con mayor variabilidad para este horizonte son el hierro y la sílice.

Tabla 3.1.4.1: Estadígrafos del escombro (E) del yacimiento Camarioca Sur.

Variable	Cuenta	Mín	Máx	Med	St. Dv	Var
Ni	9960	0	0	0	0	0
Fe	9960	35	54	42	3,91	15,27
Co	9960	0	0	0	0	0
Al	8391	0	14	5	1,68	2,83
Mg	8391	0	14	1	1,49	2,22
Mn	8391	0	2	0	0,22	0,047
SiO ₂	8391	0	38	7	4,95	24,06
Cr	8391	0	10	1	0,47	0,22

3.2 Análisis mineralógico, geoquímico y estadístico de la zona de laterita de balance (LB).

3.2.1 Composición mineralógica

La fase mineralógica principal en el yacimiento es la goethita ($\text{Fe}^{3+} \text{O} (\text{OH})$), seguido por los minerales serpentiniticos y los minerales arcillosos. Se registro la presencia de gibbsita ($\text{Al} (\text{OH})_3$), en particular para este horizonte (10 %). En forma secundaria existen los óxidos de Fe: magnetita (Fe_3O_4), maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), hematita (Fe_2O_3); silicatos; cloritas $\text{Mg}_4\text{Al}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, talco $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ y cuarzo SiO_2 . La goethita $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ aporta los mayores contenidos de Ni; además se determinaron otras fuentes portadoras como la willemseíta $(\text{Ni}, \text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, cloritas niquelíferas y asbolana $(\text{Co}, \text{Ni}_{1-y}(\text{Mn}^{3+}, \text{O}_2)_{2-x}(\text{OH})_{2-2y+2y^n})\text{H}_2\text{O}$. Esta última se considera como principal portadora de Co, que en su mayoría se encuentra en estado amorfo.

3.2.2 Comportamiento de los componentes principales del yacimiento; Ni, Co y Fe en la laterita de balance (LB).

Níquel

En el área de estudio el contenido de níquel (Ni) varía desde 1 % hasta 1,8 %. En la figura 3.2.2.1 se observan sectores donde los valores sobrepasan el 1 % Ni, llegando esporádicamente a alcanzar valores de hasta 1,8 % Ni. Hay un predominio de valores de 1,2 % a 1,4 % de Ni principalmente en la parte central del yacimiento.

En el extremo noroeste (NW) se alcanzan valores desde 1,6 % a 1,8 % de Ni. Los valores de alta concentración se encuentran donde hay corteza de meteorización sobre rocas ultramáficas serpentinizadas. El yacimiento presenta una irregularidad en cuanto al parámetro potencia, ya que existen discontinuidades y no es homogéneo, ver anexo 17.

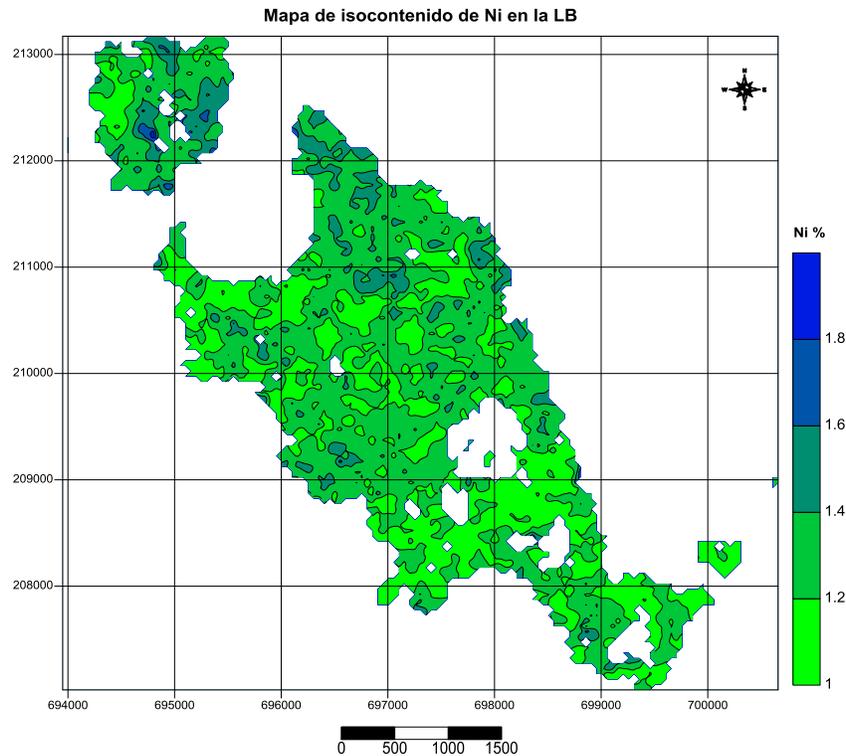


Figura 3.2.2.1: Mapa de isocontenido de níquel (Ni) en la LB.

Hierro

En el área de estudio el contenido de hierro en la LB varía desde 35 % hasta 50 %. Se puede apreciar que los valores de 45 % a 50 % Fe están diseminados en la parte central y noroeste del yacimiento.

Se observa, además, un predominio del contenido de Fe superior a 39 %, distribuido en todo el área y en el extremo noroeste (NW), donde alcanza valores de hasta 50 % Fe, por lo tanto se puede caracterizar como un yacimiento de altos contenidos de Fe en la zona de LB, asociado a una mineralogía representada mayormente por minerales del grupo de los óxidos.

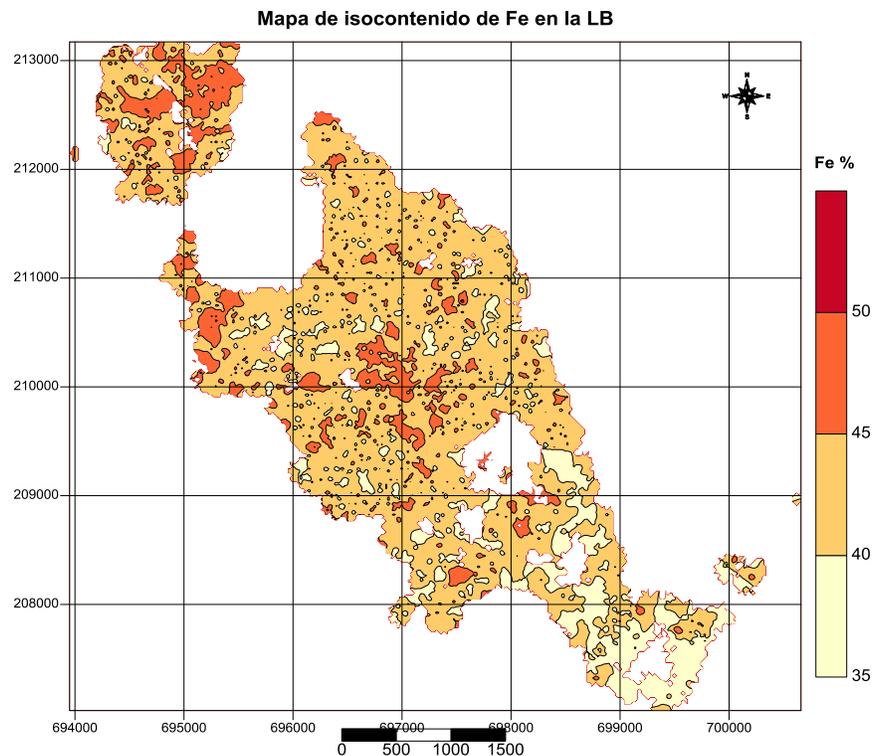


Figura 3.2.2.2: Mapa de isocontenido de hierro (Fe) en la LB.

Cobalto

Los valores de cobalto en el yacimiento varían desde 0,02 % hasta 0,32 %. Se puede destacar que la distribución del cobalto en el horizonte de laterita de balance del yacimiento Camarioca Sur es bastante apreciable, donde hay un predominio de valores de 0,12 % a 0,22 %. Es característico para el yacimiento altos contenidos de Cobalto, los cuales se deben tener en cuenta como valor agregado de la mena laterítica.

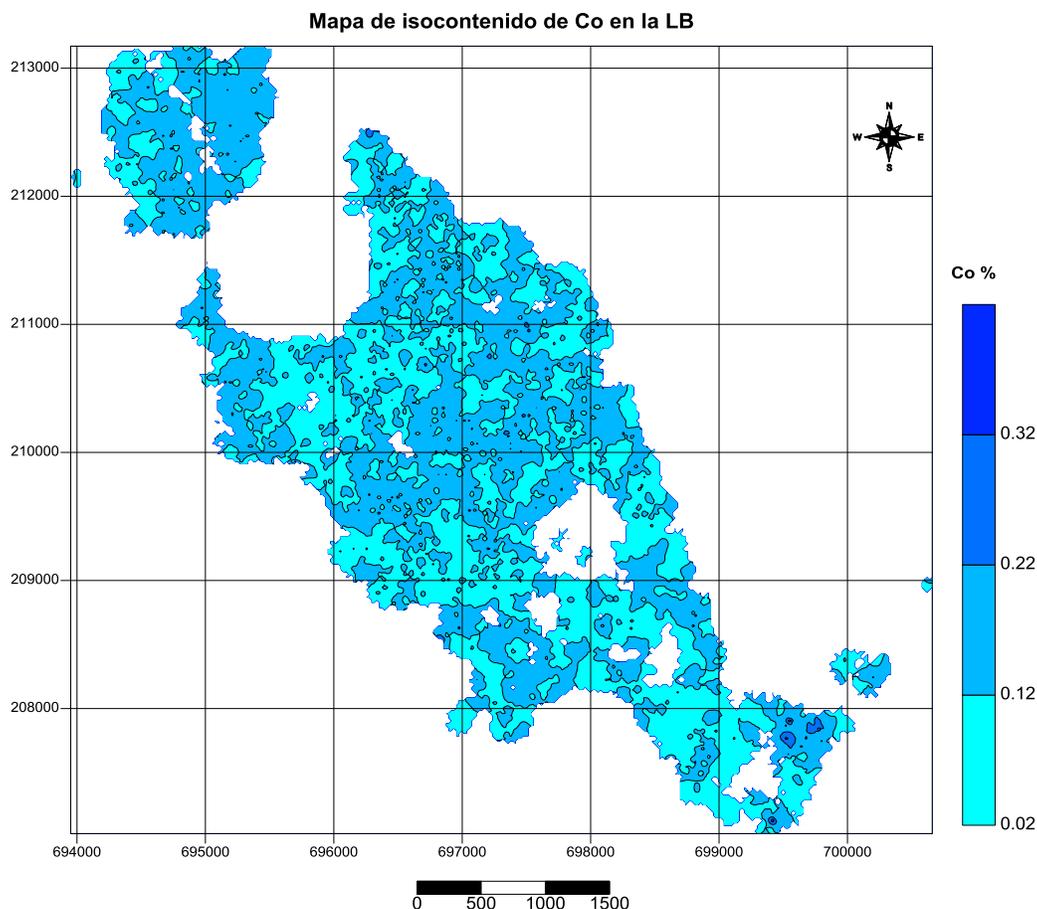


Figura 3.2.2.3: Mapa de isocontenido de cobalto (Co) en la LB.

3.2.3 Comportamiento de los componentes nocivos; Si, Mg, Al en la laterita de balance (LB).

Sílice

En el área de estudio el contenido de sílice (SiO_2) varía desde 1 % hasta 26 %. En la figura 3.2.3.1 se aprecia la distribución espacial del contenido que oscila entre 6 % y 26 % de (SiO_2).

Los sectores que presentan menor contenido de sílice se localizan hacia el noroeste (NW), distribuidos de forma irregular y diseminados en la parte central del yacimiento.

Hay un predominio de valores entre 11 % hasta 16 % de forma general en toda el área del yacimiento para este horizonte. Los altos contenidos de sílice se manifiestan en la parte central distribuidos de manera irregular y en la zona sur oriental del yacimiento,

llegando a alcanzar valores de hasta 26 %, asociado a zonas de sistemas de fallas con dirección NE. Ver figura 3.2.3.1.

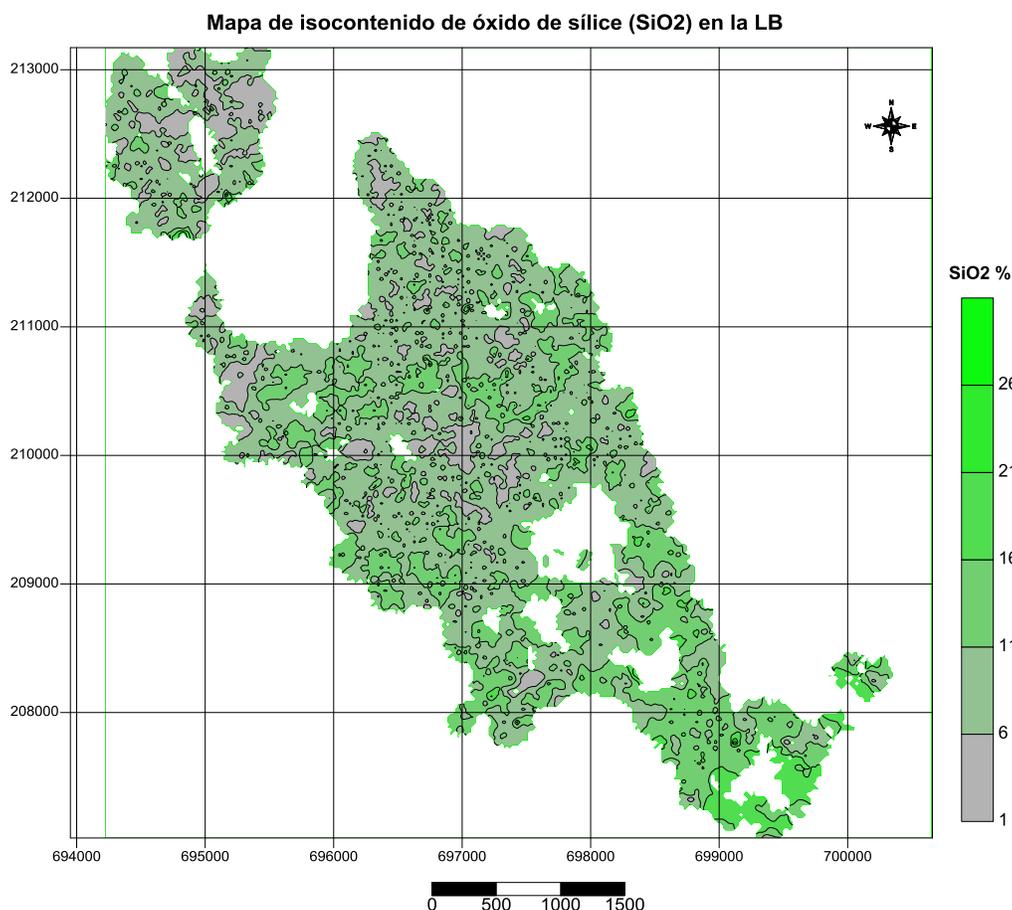


Figura 3.2.3.1: Mapa de isocontenido de óxido de sílice (SiO₂) en la LB.

Magnesio

Los valores de magnesio (Mg) varían desde 0 % hasta 6 %. En la figura 3.2.3.2 se aprecia la distribución espacial de magnesio, donde los menores contenidos predominan hacia el noreste (NE) y en la parte central del área.

Hay un predominio de contenidos con valores desde 2 % hasta 4 % de Mg, los que aparecen en la parte central del yacimiento en forma irregular y dispersa.

Hacia el sur se aprecian valores de altos contenidos en forma diseminada, los cuales llegan a alcanzar hasta 6 % de Mg, coincidiendo con las zonas de elevados contenidos de sílice lo cual destaca su afinidad geoquímica con este elemento.

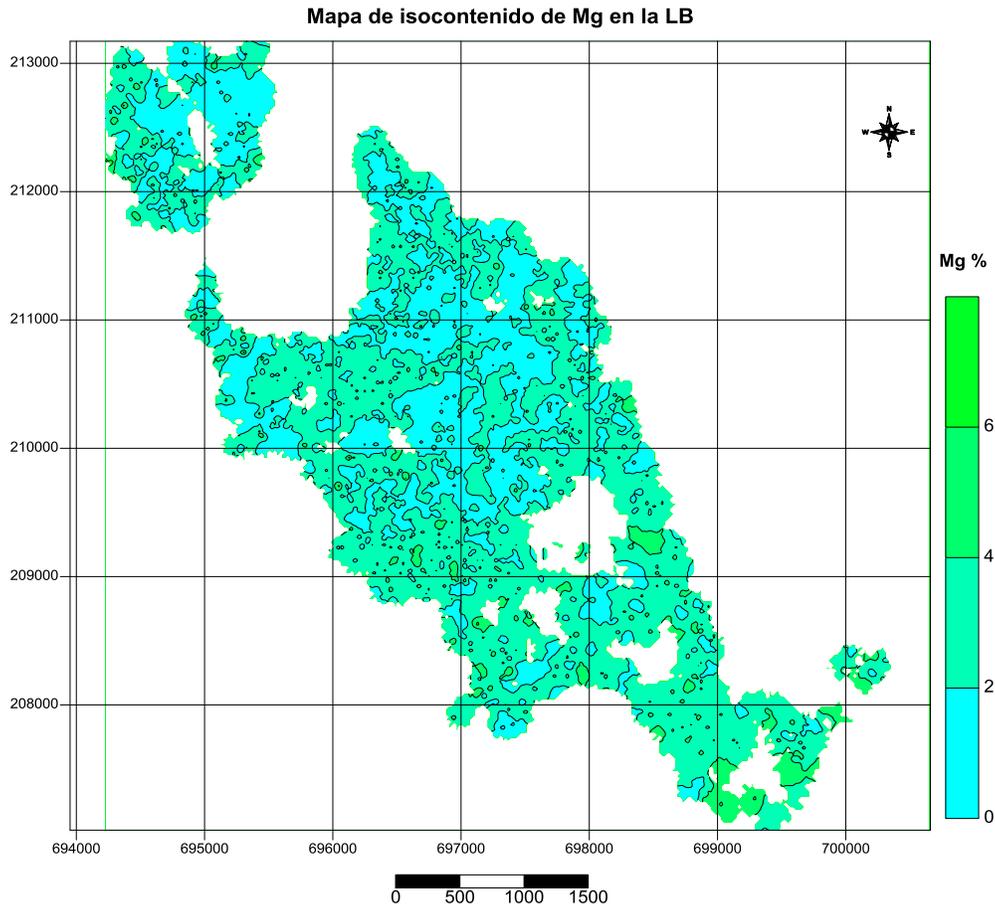


Figura 3.2.3.2: Mapa de isocontenido de magnesio (Mg) en la LB.

Aluminio

Los valores de aluminio (Al) oscilan en el rango de 1 % hasta 7 % como se observa en la figura 3.2.3.3 donde se puede apreciar el predominio de contenidos que oscilan entre 1 % y hasta 5 % de Al.

Además, se observan pequeños cuerpos redondeados de distribución irregulares y de orientación NE coincidente con la dirección de sistemas de fallas; de contenidos elevados, que alcanzan en algunos casos hasta 7 % de Al, los cuales se distribuyen hacia la parte central y norte del yacimiento.

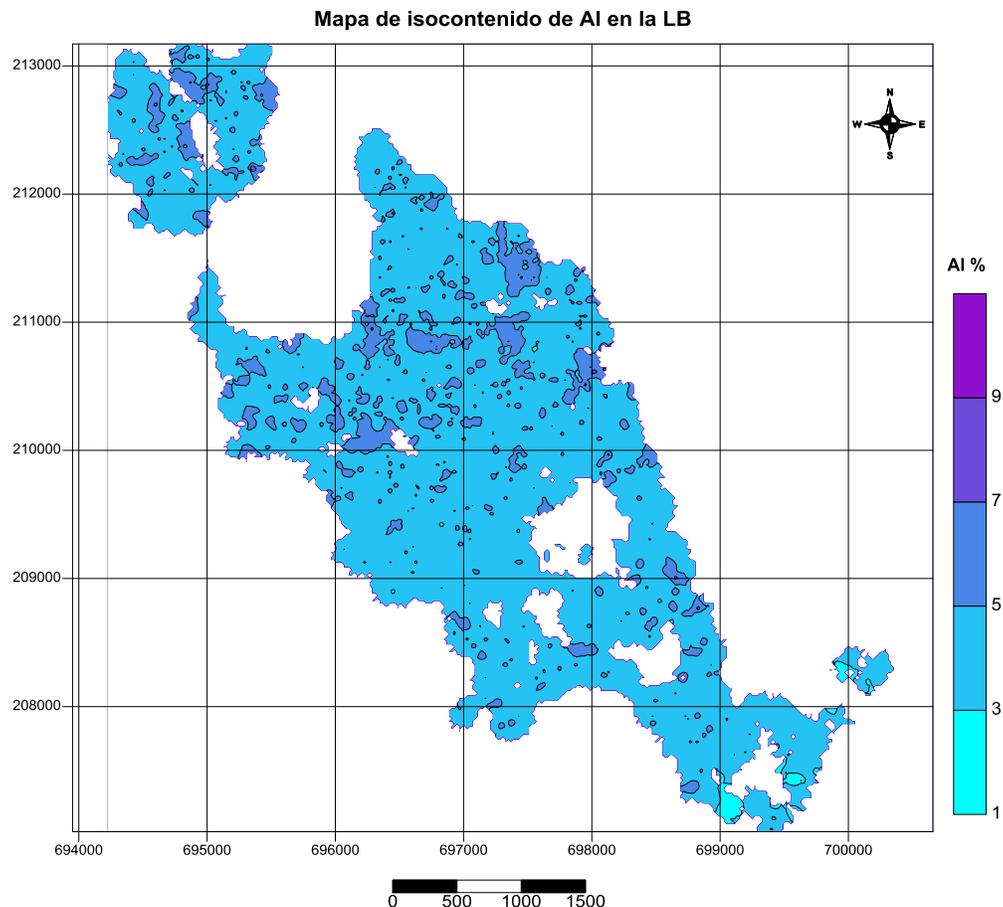


Figura 3.2.3.3: Mapa de isocontenido de aluminio (Al) en la LB.

3.2.4 Comportamiento de otros componentes; Cr y Mn en la laterita de balance (LB).

Cromo

Los contenidos de cromo para este horizonte menífero oscilan en el rango de 1.2 % a 3.2%. Se encuentran sectores con altas concentraciones pero de forma muy diseminada y de distribución esporádica, con la excepción de un área en la zona oriental del yacimiento donde se evidencian los mayores valores de concentración para este elemento químico probablemente asociados a cuerpos de espinelas cromíferas diseminadas (3.2%) ver figura 3.2.4.1.

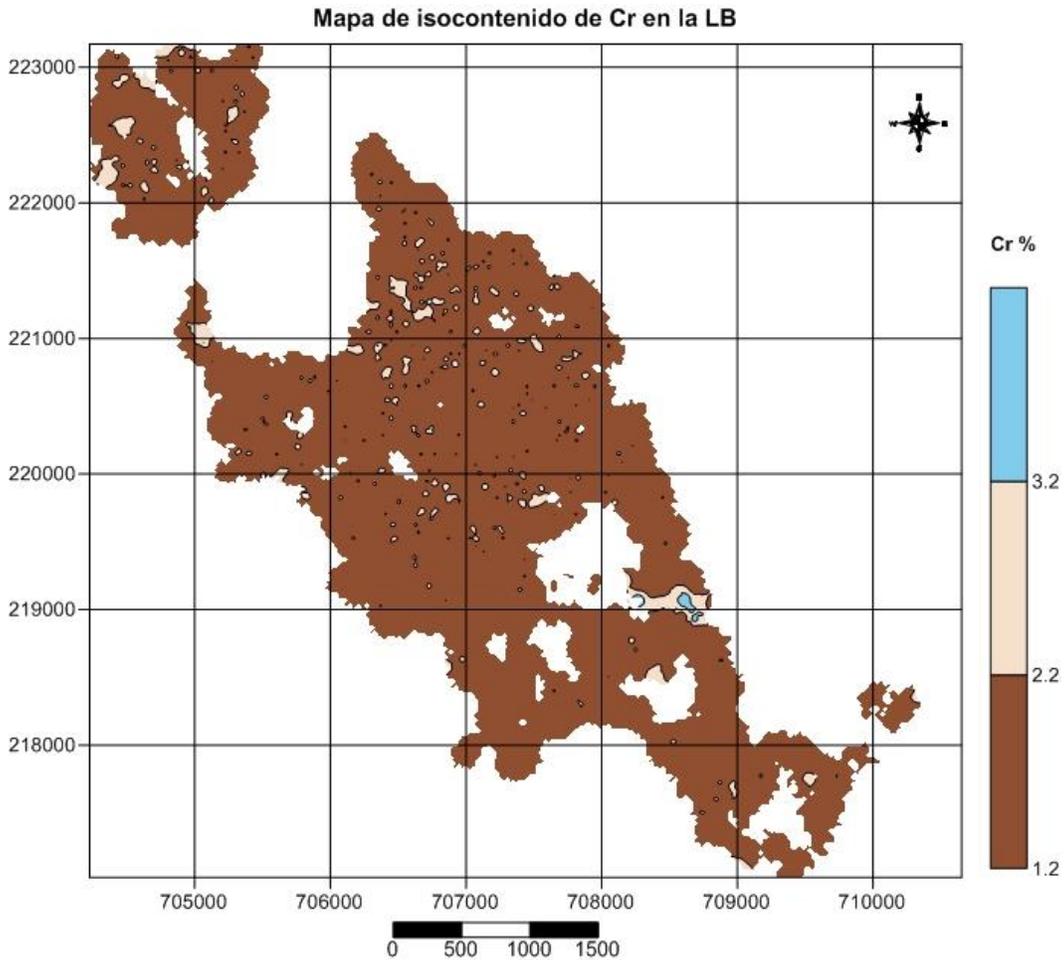


Figura 3.2.4.1: Mapa de isocontenido de cromo (Cr) en la LB.

Manganeso

En el área de estudio el contenido de manganeso (Mn) varía desde 0,2 % hasta 2,2 % como se puede apreciar en la figura 3.2.4.2. Se distinguen valores más elevados de concentración de este elemento en el rango de 0,7 % a 1,2 % con una distribución sin una dirección preferencial y que a su vez se encuentran distribuidos por todo el yacimiento. Los valores más elevados fueron documentados en la zona sur oriental del yacimiento alcanzando valores superiores a 2,2 % desarrollados sobre litologías mantélicas representadas por dunitas serpentinizadas en mayor o menor grado lo que justifica los altos contenidos para este elemento en la zona.

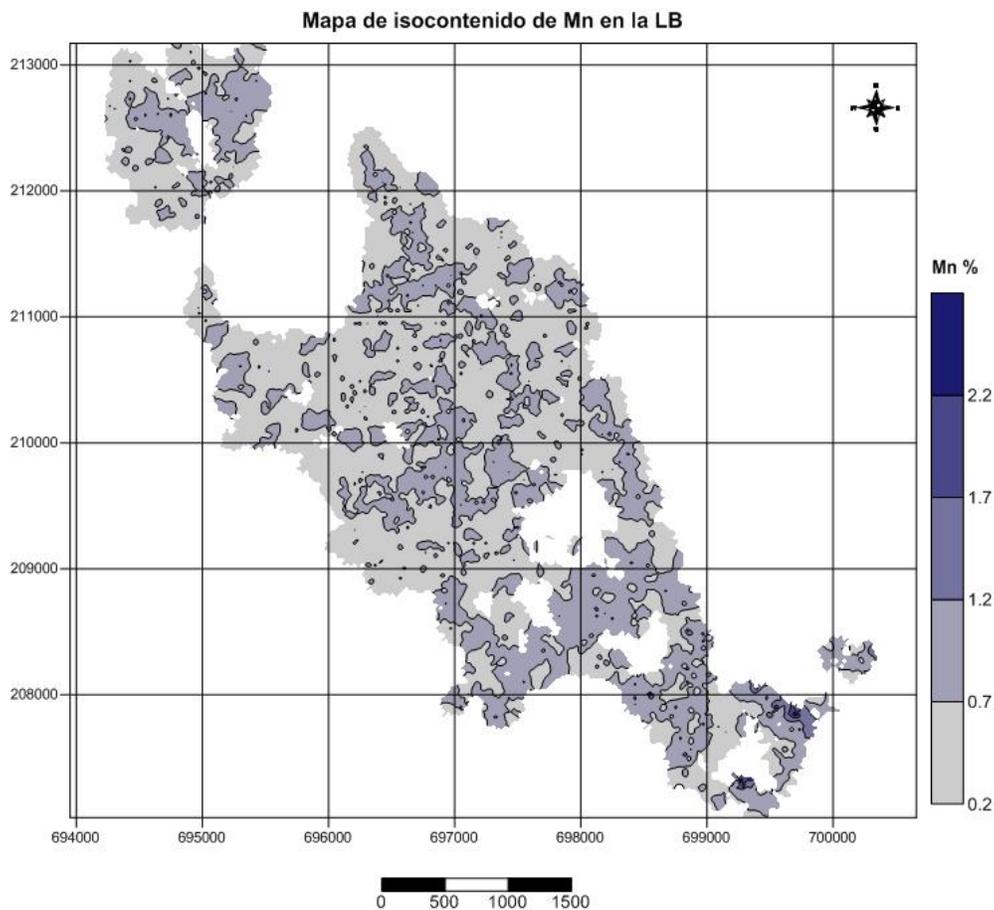


Figura 3.2.4.2: Mapa de isocontenido de manganeso (Mn) en la LB.

3.2.5 Análisis estadístico del horizonte de la laterita de balance (LB).

Se realizó el análisis estadístico de los elementos para el horizonte de LB con el objetivo observar su comportamiento, en la tabla 3.2.5.1. se muestra el sumario de los estadígrafos analizados para cada elemento.

Algunas de las características que se distinguen en la estadística descriptiva de los datos del horizonte LB, es la alta varianza presentada por la sílice y el hierro, sin embargo el Ni y el Mg se comportan de manera opuesta.

Tabla 3.2.5.1: Estadígrafos de la laterita de balance (LB) del yacimiento Camarioca Sur.

Variable	Cuenta	Mín	Máx	Med	St. Dv	Var
Ni	19121	1,01	2,74	1,28	0,25	0,061
Fe	19121	35,01	54,5	43,6	3,92	15,34
Co	19121	0,005	0,742	0,12	0,047	0,002
Al	17082	0,97	12,4	4,41	1,014	1,028
Mg	17082	0,1	10,61	1,6	1,492	2,225
Mn	17082	0,07	10,18	0,68	0,233	0,054
SiO ₂	17082	0,57	33,41	7,53	4,833	23,36
Cr	17082	0	5,04	1,95	0,350	0,123

3.3 Análisis mineralógico, geoquímico y estadístico de la zona de saprolita de balance (SB).

3.3.1 Composición mineralógica

El horizonte menífera SB se caracteriza por la presencia de talco $[Mg_3 Si_4 O_{10} (OH)_2]$ en un 19 % y clorita $[Mg_4 Al_2 (Al_2 Si_2 O_{10}) (OH)_8]$ clinocloro $[(Mg, Fe)_5 Al (Si_3, Al) O_{10} (OH)_8]$ en un 14 %; además de su contenido de $Fe_2 O_3$ entre un 35 a un 44 %, con un 66 % de goethita $[Fe^{3+} O(OH)]$. En algunas muestras se detectó el silicato de Fe y Mg grunerita $[(Ni, Mg)_3 Si_2 O_{11} H_4]$ y algo de cuarzo $[SiO_2]$.

3.3.2 Comportamiento de Componentes principales Ni, Fe y Co en la saprolita de balance (SB).

Níquel

En el área de estudio el contenido de níquel (Ni) en la SB varía desde 1 % hasta 2,5 %. Se aprecia un predominio de contenidos que oscilan entre 1 % y 1,3 % de Ni.

Se observan además sectores de contenidos elevados y de formas irregulares, que alcanzan en algunos casos hasta 1,6 % de Ni, los cuales se localizan en la parte central y norte del yacimiento.

La concentración del contenido de níquel aumenta hacia el norte donde hay mayor corteza laterítica, por donde aparecen en menor grado las rocas recrystalizadas o metamorfozadas (antigoríticas), ver anexo 9.

Hierro

En el área de estudio el contenido de hierro (Fe) varía desde 6 % hasta 31 %.

Se puede apreciar un predominio de contenidos elevados de Fe de forma aislada, los que oscilan entre 21 % hasta 31 %, distribuidos uniformemente en toda el área, ver anexo 10.

Cobalto

Los valores de cobalto (Co) en el área de estudio varía desde 0 % hasta 0,4 %.

Hay un predominio de contenidos de cobalto que oscilan entre 0 % y 0,1 %. Se observan pequeños sectores de forma redondeadas con valores de contenidos más elevados hasta 0,4 % de Co, los cuales se localizan principalmente en la parte central del yacimiento, ver anexo 11.

3.3.3 Comportamiento de componentes nocivos SiO₂, Al y Mg en la saprolita de balance (SB).

Sílice

En el área de estudio el contenido de sílice (SiO₂) en la SB varía desde 8 % hasta 48 %.

Se aprecia un predominio de contenido de sílice que oscila entre 8 % y 28 %, la que está distribuida de manera bastante uniforme en toda el área. Hay contenidos elevados difundidos en la parte sureste (SE) del área de estudio, pero en pequeñas áreas muy localizadas, ver anexo 12.

Magnesio

Los contenidos de magnesio (Mg) varían desde 0% hasta 20%. Se aprecia un predominio de contenido entre 5% hasta 15% Mg. La concentración de contenidos de 0 % hasta 5% de Mg se manifiesta en menor cantidad, principalmente en la parte central del área y en pequeñas zonas dispersas.

En el extremo noroeste (NW) hay contenidos superiores que sobrepasan el 15% de Mg, lo que evidencia que la roca madre de la corteza laterítica en esta zona ha sido

afectada por procesos de metamorfismo regional de serpentinización, ver anexo 13 y mapa geológico anexo 18.

Aluminio

En el área de estudio el contenido de aluminio (Al) varía desde 0 % hasta 12 %.

Se aprecia un predominio de contenidos de Al que oscilan entre 2 % y 6 %, bien distribuidos en toda el área. También en forma diseminada aparecen contenidos mayores de 6 % de Al en la parte central del yacimiento, ver anexo 14.

3.3.4 Comportamientos de otros elementos Cr y Mn en la saprolita de balance (SB).

Cromo

En el área de estudio el contenido de cromo (Cr) varía desde 0 hasta 4 %. Se aprecia un predominio de contenidos de cromo que oscilan entre 1 y 2 % para todo el horizonte del yacimiento. En forma diseminada, aparecen valores de contenidos de cromo de hasta 4 % en la zona central desarrollado sobre litologías ultramáficas serpentinizadas (dunitas), ver anexo 15.

Manganeso

En el área de estudio el contenido de manganeso (Mn) varía desde 0% hasta 3 %.

Se aprecia un predominio de valores de contenidos desde 0,5 % hasta 1,5 % de Mn distribuidos de forma irregular en el horizonte menífero. En la parte noroeste (NW) del área de estudio predominan contenidos de 0 % hasta 0,5 % de Mn, se manifiestan valores altos de forma puntual en la región sur oriental (3 %), ver anexo 16.

3.3.5 Análisis estadístico del horizonte de la saprolita de balance (SB).

Con el objetivo de observar los datos del horizonte de saprolita de balance (SB), su distribución y desviación se realizó el análisis estadístico de los mismos. En la tabla 3.3.5.1., se observan los estadígrafos analizados para cada una de las variable.

Se puede apreciar algunas de las características que se distinguen en la estadística descriptiva de los datos del horizonte SB, es la variabilidad de los contenidos de sílice, magnesio y hierro.

3.3.5.1: Estadígrafos de la saprolita de balance (SB) del yacimiento Camarioca Sur.

Variable	Cuenta	Mín	Máx	Med	St. Dv	Var
Ni	2112	1	3	1	0,405	0,164
Fe	2112	5	34	28	6,911	47,77
Co	2112	0	0	0	0	0
Al	1680	0	11	2	0,926	0,858
Mg	1680	0	20	7	3,397	11,54
Mn	1680	0	3	0	0,127	0,016
SiO ₂	1680	7	48	24	5,690	32,38
Cr	1680	0	5	1	0,477	0,228

3.4 Gráficos del comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en profundidad para las zonas con valores anómalos.

Para el análisis del comportamiento geoquímico de los elementos en la corteza de intemperismo del yacimiento Camarioca Sur se confeccionaron seis gráficos 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).

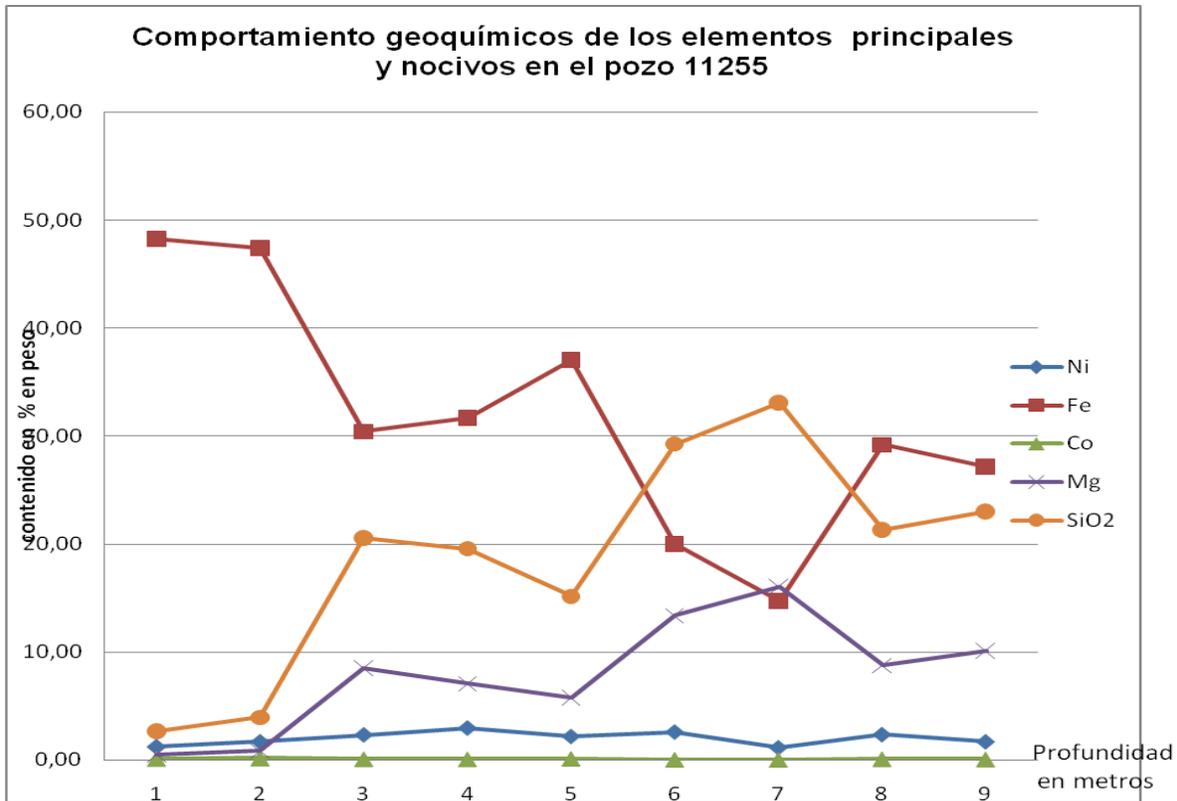


Figura 3.4.1: Comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en el pozo 11255.

Como se aprecia en el gráfico 3.4.1. el pozo 11255 reveló un comportamiento normal para los elementos útiles, aumentando exponencialmente en profundidad los valores de su contenido en la corteza. El hierro presenta altos contenidos en los horizontes superiores y disminuye hacia los horizontes inferiores.

Los elementos nocivos también tienen un comportamiento normal, los cuales aumentan exponencialmente en profundidad. Tanto el magnesio como la sílice tienden a aumentar con la profundidad, lo que indica un comportamiento normal para estos elementos en los yacimientos de intemperismo. El pozo 11255 se desarrolla sobre ultramafita serpentizada.

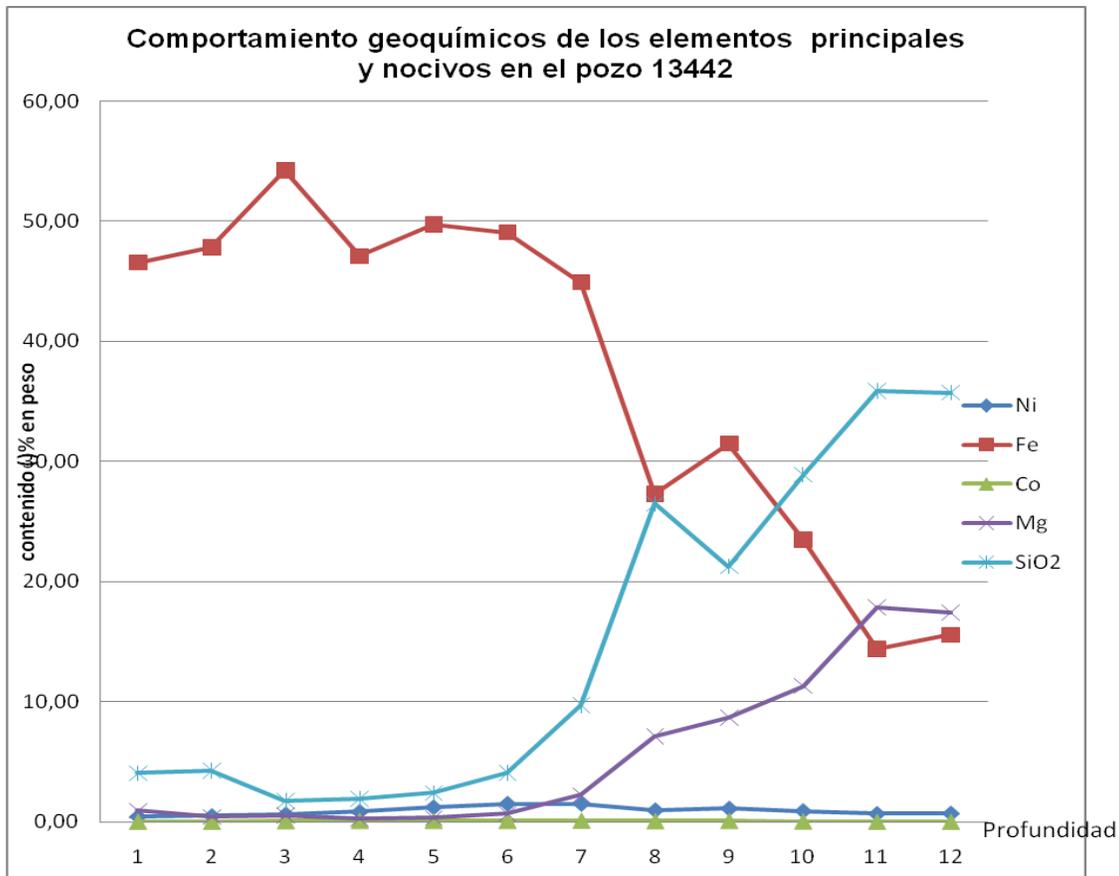


Figura 3.4.2: Comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en el pozo 13442.

Como se aprecia en la figura 3.4.2. el pozo 13442 reveló un comportamiento normal para los elementos útiles, aumentando exponencialmente con la profundidad los valores de su contenido en la corteza. El contenido de hierro aumenta en los horizontes superficiales y disminuye hacia las partes inferiores o más profundas, mientras que el cobalto casi es constante o presenta una variación más discreta para todos los horizontes así como el níquel que muestra un aumento en el horizonte de LB.

Los elementos nocivos tienen un comportamiento normal, los cuales aumentan exponencialmente en profundidad. Tanto el magnesio como la sílice tienden a aumentar con la profundidad, lo que indica una tendencia normal para estos elementos en los yacimientos de intemperismo.

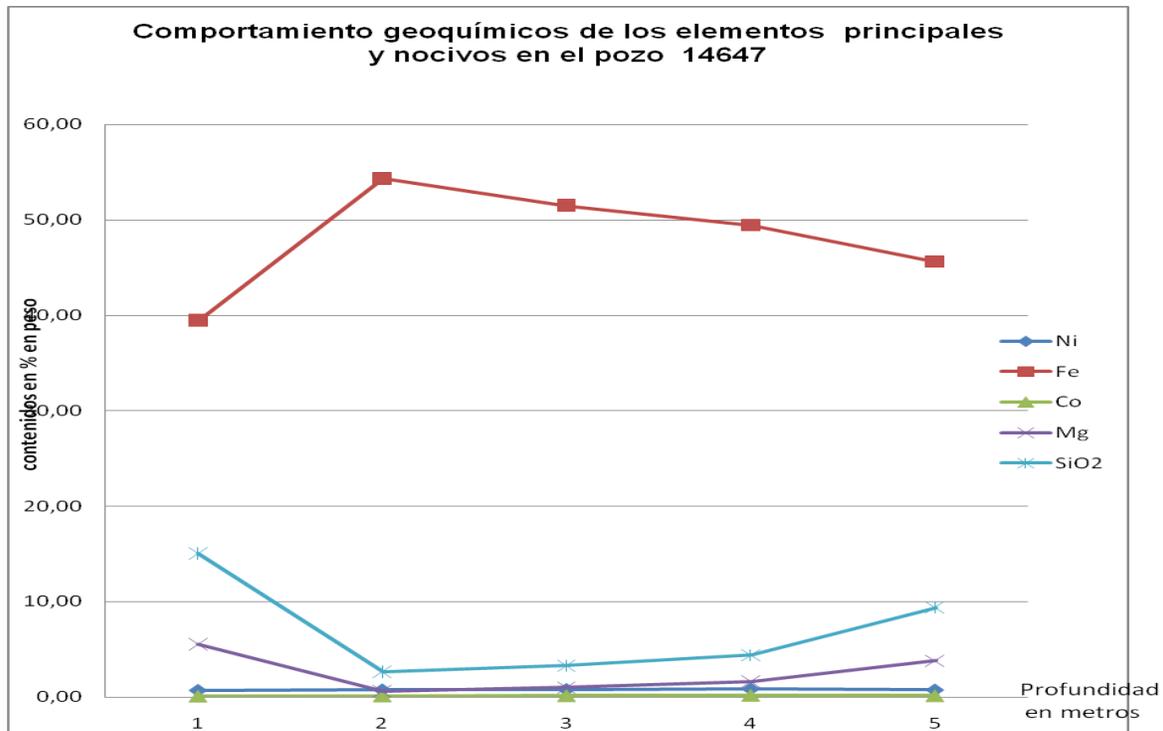


Figura 3.4.3: Comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en el pozo 14647.

Como se aprecia en el gráfico 3.4.3. el pozo 14647 reveló un comportamiento normal para los elementos útiles, aumentando exponencialmente en profundidad los valores de su contenido en la corteza. El hierro presenta contenidos elevados en todo el pozo con una ligera disminución hacia las partes inferiores lo que denota la ausencia de la zona de saprolita de balance, lo que se puede traducir como una corteza redepositada, mientras que el contenido de cobalto varía muy poco para todos los horizontes así como el níquel.

Los elementos nocivos tienen un comportamiento típico, los cuales tienen alto valores de contenido en la superficie y tienden a disminuir hacia la profundidad. Este comportamiento de los nocivos del pozo 14647 avala la redeposición de la corteza de intemperismo en algunos sectores del yacimiento. Dicho pozo está ubicado sobre litología ultramáfica serpentizada.

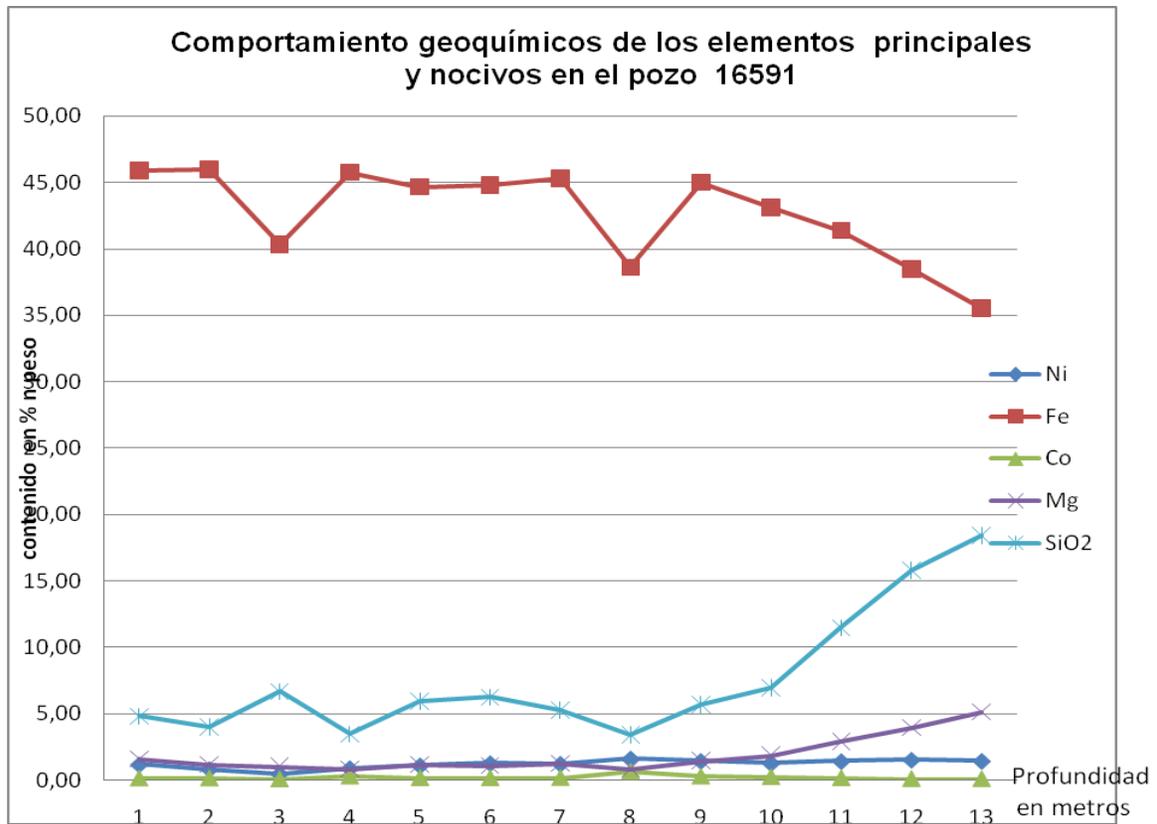


Figura 3.4.4: Comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en el pozo 16591.

Como se aprecia en el gráfico 3.4.4. el pozo 16591 reveló un comportamiento normal para los elementos útiles, aumentando hacia la profundidad los valores de su contenido en la corteza. El hierro manifiesta valores de contenido alto en todos los horizontes con una discretas fluctuaciones pero no disminuye del 35 % denotando la ausencia de saprolita de balance, mientras que el cobalto y el níquel varían sus contenidos con menor intensidad. Los elementos nocivos también tienen un comportamiento normal, los cuales aumentan exponencialmente en profundidad con una forma casi escalonada.

Tanto el magnesio como la sílice tienden a aumentar con la profundidad, lo que indica una tendencia normal para estos elementos en los yacimientos de intemperismo. La litología sobre la cual se desarrolla es de serpentinita ultramáfica.

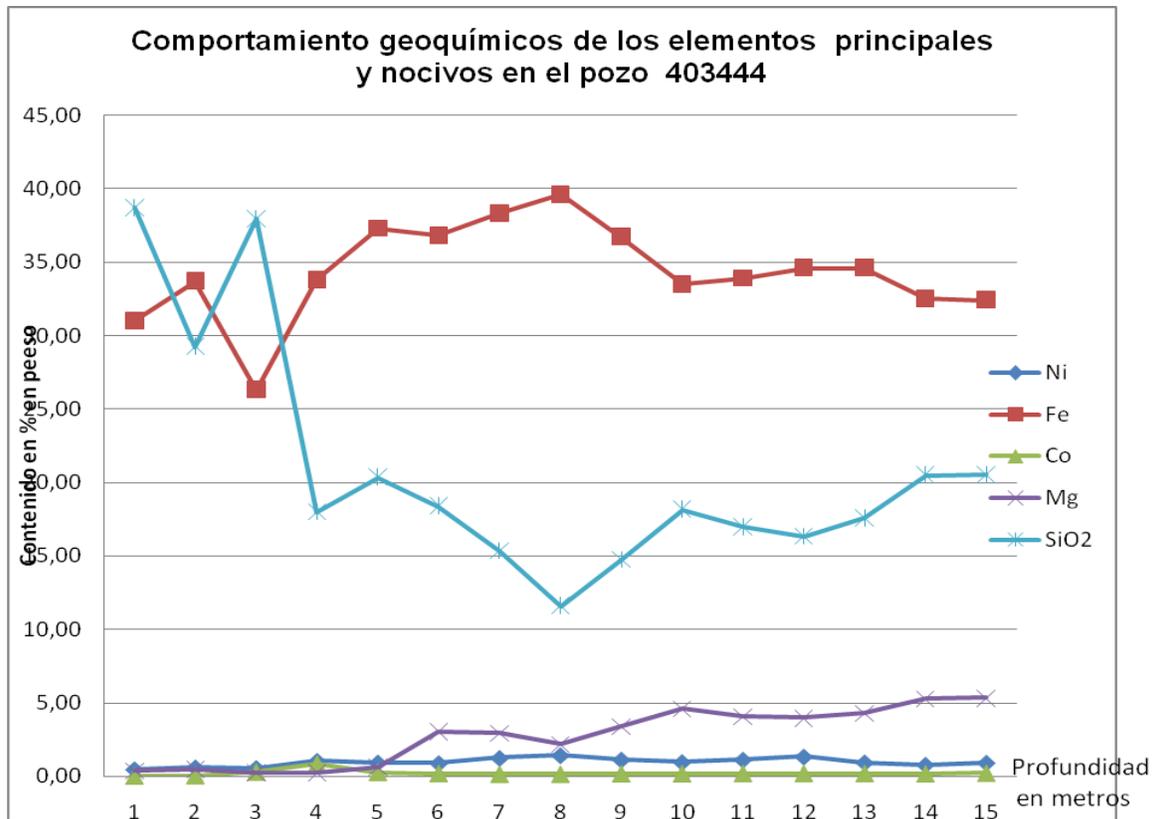


Figura 3.4.5: Comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en el pozo 403444.

Como se aprecia en el gráfico 3.4.5. el pozo 403444 reveló un comportamiento típico para los elementos útiles. Los valores de contenido de hierro se corresponden con la mena de SB en los primeros metros del pozo transicionando a LB paulatinamente hasta nuevamente responder a los contenidos de hierro de la mena SB, mientras que los valores de contenidos de cobalto y níquel varían de forma más discreta.

Los elementos nocivos tienen un comportamiento anormal, en el caso de la sílice presenta valores elevados (mayor de 35%) en los primeros horizontes del pozo disminuyendo abruptamente en profundidad.

El magnesio se comporta de una forma exponencial, aumentando su contenido con la profundidad. Estos comportamientos de los nocivos del pozo 403444 pueden ser el resultado la redeposición de la corteza laterítica o la influencia de la actividad hidrotermal de las estructuras tectónicas que cortan dicho pozo y se desarrolla sobre la litología de ultramáfica serpentinizada.

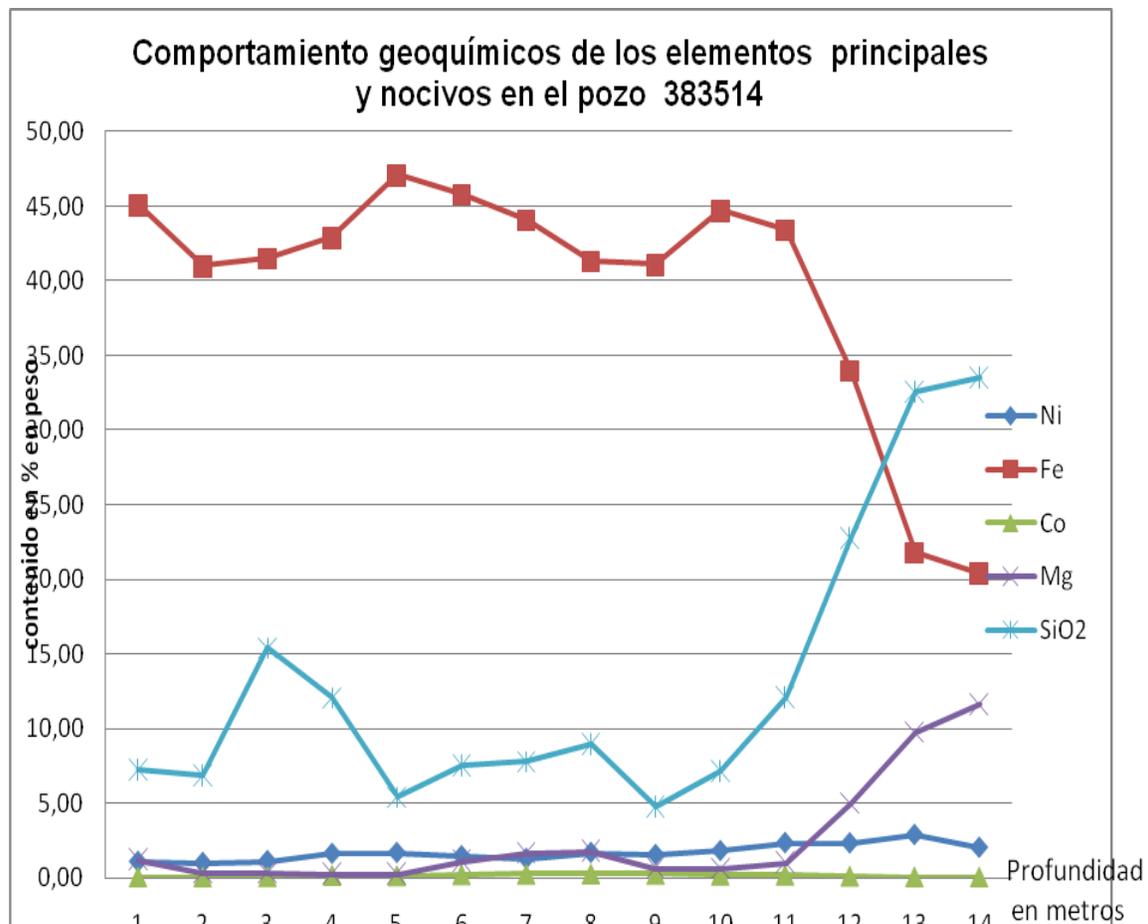


Figura 3.4.6: Comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en el pozo 383514.

Como se aprecia en la figura 3.4.6., el pozo 383514 reveló un comportamiento normal para los elementos útiles, aumentando exponencialmente en profundidad los valores de su contenido en la corteza. El hierro presenta valores de contenidos con un comportamiento normal, que disminuye hacia las partes inferiores del pozo, mientras que el cobalto y el níquel varían su contenido de forma más discreta.

Los elementos nocivos tienen un comportamiento normal, los cuales aumentan exponencialmente con la profundidad. Tanto el magnesio como la sílice tienden a aumentar con la profundidad, lo que indica una tendencia normal para estos elementos en los yacimientos de intemperismo.



CONCLUSIONES

1. El yacimiento Camarioca Sur por sus contenidos de Ni, Fe y Co su mena de la LB es factible beneficiarla por el proceso de Lixiviación Ácida a Presión (HPAL).
2. Los mayores contenidos de elementos útiles (Ni y Co) se pueden observar hacia la zona central y norte del yacimiento, siendo el área con mayores perspectivas para la minería.
3. El yacimiento se caracteriza por elevados contenidos de los elementos nocivos (Mg, Al y SiO₂) hacia la zona sur oriental, lo que implicaría un alto consumo de ácido en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión para el tratamiento de las menas.
4. El análisis de la variación del contenido de los elementos químicos en profundidad manifestaron la presencia de cortezas redepositadas, avalado por la ausencia y repetición de horizontes meníferos.
5. Los altos contenidos de sílice registrados en el pozo 403444 manifiestan la presencia de un perfil laterítico redepositado con posible influencia hidrotermal de la estructura tectónica que corta dicho pozo.
6. Los valores elevados de magnesio (Mg) para el yacimiento Camarioca Sur pueden estar asociados a la presencia de talco [Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂].



RECOMENDACIONES

1. Utilizar los resultados de este trabajo en la determinación de las áreas más perspectivas para la explotación del yacimiento.
2. Realizar la explotación del yacimiento utilizando diferentes frentes para tener la oportunidad de mezclar menas de diferentes contenidos de componentes útiles con el fin de lograr una materia prima que cumpla con los requisitos estipulados para la planta de beneficio.
3. Las menas del horizonte de saprolita de balance del yacimiento son ricas en Ni, Co con bajos contenidos de Fe, las cuales se deben preservar para su futura utilización mediante otros procesos.
4. Profundizar en el estudio de la tectónica y los altos contenidos de sílice manifestados en los sectores cercanos a las áreas de fallas.



BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. ADAMOVICH A.; CHEJOVICH V. 1962: Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. Revista Tecnológica.
2. ALMAGUER F. A. 1995: Composición de las pulpas limoníticas de la planta Pedro Sotto Alba, parte II, Período de crisis de sedimentación. Revista Minería y Geología (No2).
3. ANGEL VERA YESTE. 1979 INTRODUCCIÓN A LOS YACIMIENTOS DE NÍQUEL CUBANOS.P(1-52).
4. 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.
5. BRAND N. W., BUTT C. R. M., ELIAS M., 1998: Nickel laterites: Classification and features. AGSO Journal of Australian. Geology and Geophysics 17, 8.
6. 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.
7. CAMPOS, M. 1983: Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. Minería y Geología, 2: 51-76.
8. CAMPOS, M. 1990: Tectónica y minerales útiles de la asociación ofiolítica y de los complejos vulcanógenos del arco insular Cretácico de Cuba oriental. Inédito.
9. COBIELLA, J.L. 1978: Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.
10. COBIELLA J.; Rodríguez J. 1978: Algunos rasgos de la geología de Cuba oriental. Ciencias Técnicas, Serie Geodesia y Geofísica No.3.
11. COBIELLA, J .L. 1988: El vulcanismo paleogénico cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. Revista tecnológica, 18)4),25-32.
12. COBIELLA, J.L. 1997: Zonación estructuro facial del corte Paleoceno Eoceno Medio de Cuba. Minería y Geología, 14(1): 3-12.



13. COBIELLA, J. L. 2000: Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. *International Geology Review*, 42: 594-616.
14. COBIELLA, J.L. 1978: Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.
15. CRESPO, E. 1996: Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMM, 79 p.
16. DÍAZ, R. y PROENZA, J. 2005: Metalogenia asociada a las ofiolitas y al arco de islas del cretácico del nordeste de Cuba. *Minería y Geología* v. 21 n. 1.
17. FONSECA, E.; ZELEPUGIN V.N.; HEREDIA M. 1985: Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19: 321-329.
18. FORMELL F.; ORO A.: Sobre los procesos de redeposición del yacimiento Punta Gorda. *Ciencia de la Tierra y el Espacio* No.2, 1980.
19. GALÍ, S., PROENZA, J.A., LABRADOR, M. MELGAREJO, J.C., TAULER, E., MUÑOZ, N., ROJAS-PURÓN, A., OROZCO-MELGAR, O. 2006: Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos tipo óxido: yacimiento Punta Gorda (Cuba Oriental). *Macla/a*, 6, 197-199.
20. 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.
21. GUILBERT PARK, THE GEOLOGY OF ORE DEPOSITS, Deposits related to weathering, nickel laterite deposits, New Caledonia, P(783 – 789).
22. Informe preliminar de la exploración geológica del Yacimiento Camarioca Sur, Fase 1, Abril 2011.
23. Informe de los trabajos de exploración detallada para la elevación de categoría de los recursos del yacimiento Camarioca Sur, febrero 20012.
24. ITURRALDE, M. A. 1976: Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. *La Minería en Cuba*, 5: 9-23.



25. ITURRALDE, M. 1996: Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. Contribución Especial No. 1. IGCP Project W364. Miami. USA. 265 pp.
26. ITURRALDE, M.1994: "Introduction to Cuban Geology and Tectonics". En Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO, International Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana. Pp3-47.
27. ITURRALDE, M. 1998: Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. En Acta Geológica Hispánica.
28. JOAN- CARLES MELGAREJO, ATLAS DE ASOCIACIONES MINERALES EN LÁMINA DELGADO.
29. LAVAUT COPA W: Clasificador para modelación litológica de lateritas Key – Guide for lithological mapping of laterites.
30. LEBRON, M.C. Y M.R. PERFIT. 1994: Petrochemistry and tectonic significance of Cretaceous island-arc rock, Cordillera Oriental, Dominican Republic. Tectonophysics, 229: 69-100.
31. LUISKA FERNÁNDEZ. D,2011. Estudio petrográfico del basamento del yacimiento Camarioca Sur y su incidencia en la prospección y exploración de los yacimientos lateríticos de Ni y Co. Trabajo de diploma, 2011, ISMM. P112.
32. M. J. WILSON. 2004 Weathering of the primary rock-forming minerals: processes, products and rates, The Macaulay Institute, Craigiebuckler, Aberdeen, AB158QH, UK, Clay Minerals(2004)39,233–266.
33. MILLÁN, G. 1996: Metamorfitas de la Asociación Ofiolítica de Cuba. En: Iturralde Vinent, M.A. ed., Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution n.1, p. 131-153.
34. MUÑOZ, J.N. 2004: Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co.PDF-Files.ICT.ISMMM, 22p.
35. MUÑOZ, J.N; RODRÍGUEZ INFANTE, A; MARTÍNEZ VARGAS. A; VERA SARDIÑAS, O; LÓPEZ MARTÍNEZ, R 2007: Caracterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca norte y Camarioca sur.



36. NAGY, E.; K. BREZSNYANSZKY; A. BRITO; D.P. COUTIN; F. FORMELL; G.L. FRANCO; P. GYARMATI; P. JAKUS; G.Y. RADO CZ. 1976: Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba.
37. 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.
38. NAGY N, 1983: Ensayo de las zonas estructuro faciales de Cuba oriental, contribución geológica de Cuba oriental. Editorial Ciencia y Técnica, ACC.
39. OLIVA G 1989: nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, ACC.
40. PÉREZ R.: Levantamiento Geológico de Farallones escala 1: 50 000, 1976.
41. PROENZA J.; Carralero N. M.: Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. Revista Minería y Geología, No.2, 1994.
42. PROENZA, J. AND. MELGAREJO J. C, 1998: Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. Acta Geol. Hispán., 33, 1–4, 89–131.
43. PROENZA, J. 1998: Mineralizaciones de cromita en la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa (Cuba), Ejemplo del yacimiento Mercedita. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, España, 227 p.
44. PROENZA, J 1998: Mineralizaciones de cromita en la Faja Ofiolita MayaríBaracoa (Cuba). Ejemplo del Yacimiento Mercedita, Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, España.
45. PROENZA, J.; GERVILLA F; MELGAREJO J.C; BODINIER J.L. 1999: Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. Economic Geology, 94: 547-566.
46. PROENZA, J.; MELGAREJO J.C, GERVILLA F. 2000: La faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba oriental): una litosfera oceánica modificada en una zona de



suprasubducción cretácica. En: Tercera Conferencia Internacional sobre Geología de Cuba, el Golfo de México y el Caribe Noroccidental.

47. 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.

48. QUINTAS, F. 1996: Bioestratigrafía del corte Meso-Cenozoico del extremo oriental de Cuba. *Minería y Geología*, 13(1): 3-8.

49. RODRÍGUEZ, A. 1998b: Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis tectónica. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, 124p.

50. ROJAS-PURÓN, A.: Principales fases minerales portadores de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa ,1994. Tesis doctoral. 73p.

51. SIMON TOBIAS. H, Caracterización mineralógica de los óxidos de manganeso en perfiles lateríticos por Microscopía Electrónica. Trabajo de diploma, 2011. ISMM.P107.

52. SITNIKOV, V, 1976: Informe sobre la exploración orientativa del yacimiento Camarioca con el cálculo de reservas. ONRM. La Habana, Cuba.

53. SOBOL S.I.: Composición de las lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación de minerales por ácidos sulfúricos en autoclaves. *Revista Tecnológica*. No. 5 y 6. 17-23. 1968.

54. STRECKEISEN, A. 1975: To each plutonic rock its proper name. *Earth Science. Reviews* 12(1976) 1-33

55. THAYER T. P1942: Chrome Resources of Cuba. U. S. Geological Survey Bulletin.

56. VALLEJO, N 1997: Diseño de un sistema de transporte para el yacimiento Camarioca Sur. Trabajo de diploma. ISMM.

57. VERA, O, 2001: Procedimiento para la determinación de las redes racionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región



de Moa. Tesis doctoral. ISMM

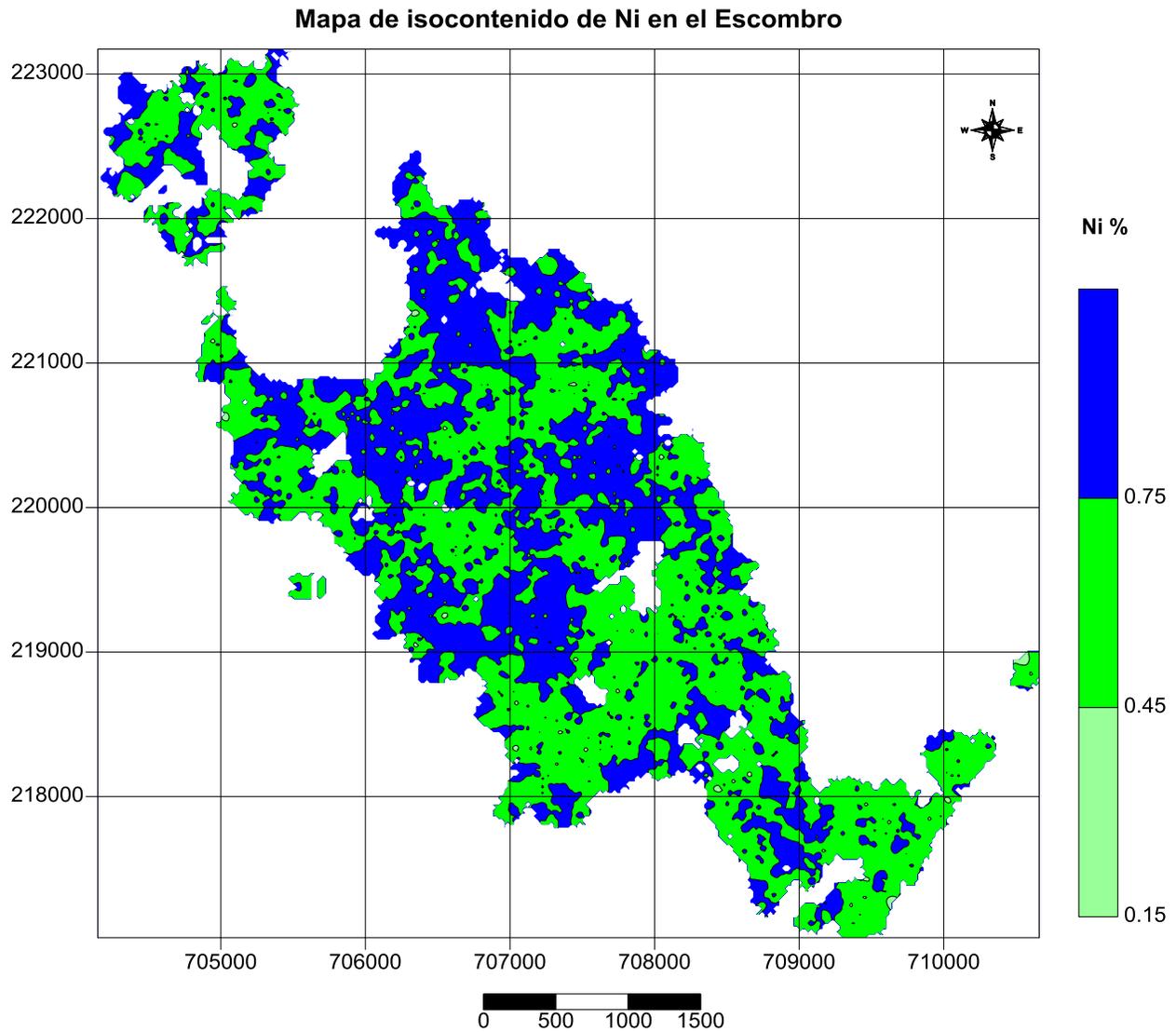
58. WINKLER, G.F. 1979. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. New York, EUA:

Springer-Verlag; 348 pp.

59. V,M GOLD SMIRTH, GEOCHEMISTRY P(647 - 676), (214 – 224), (292 -302), (358 -376), (621- 646), (621- 646), (545-554).



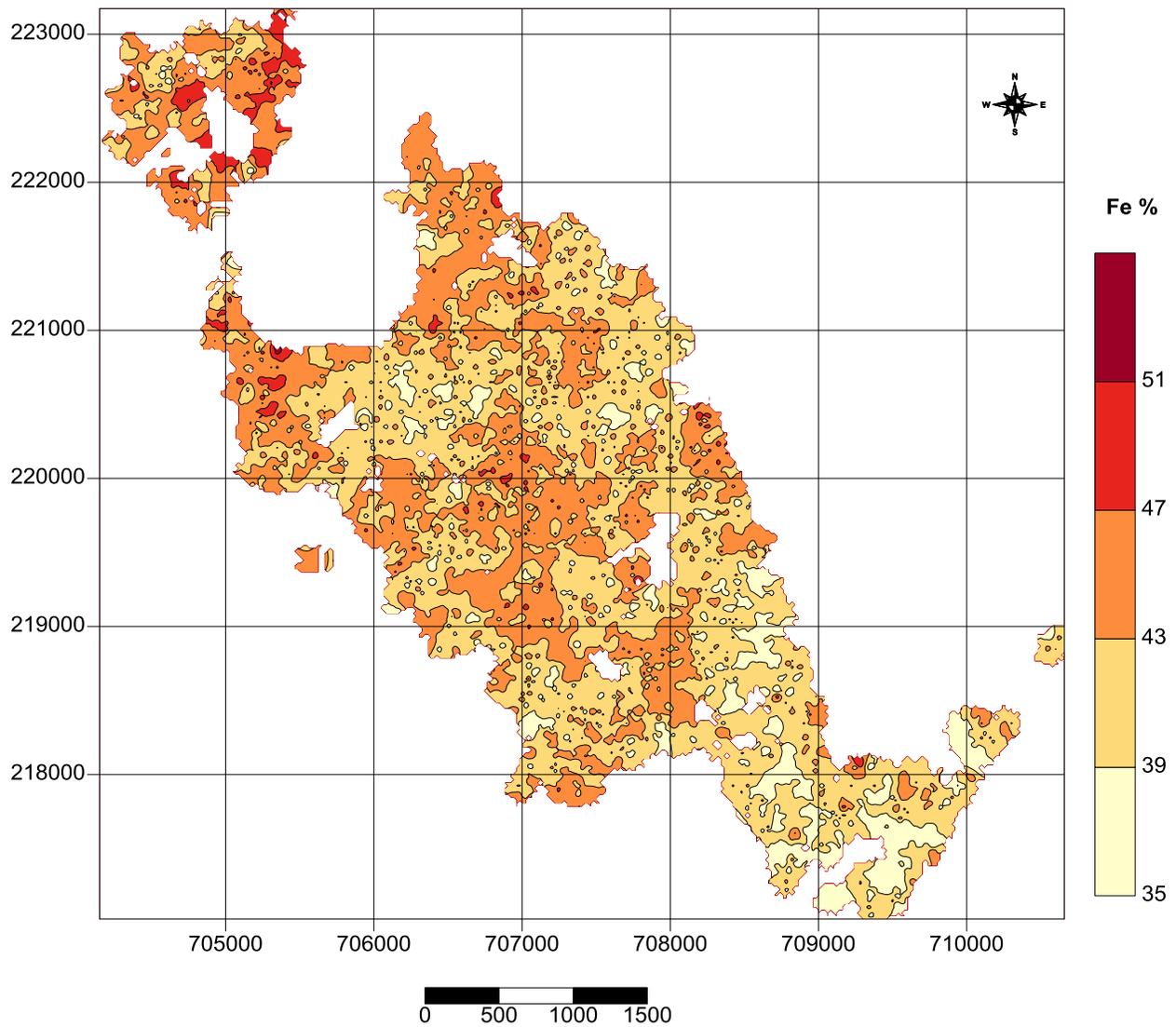
ANEXOS



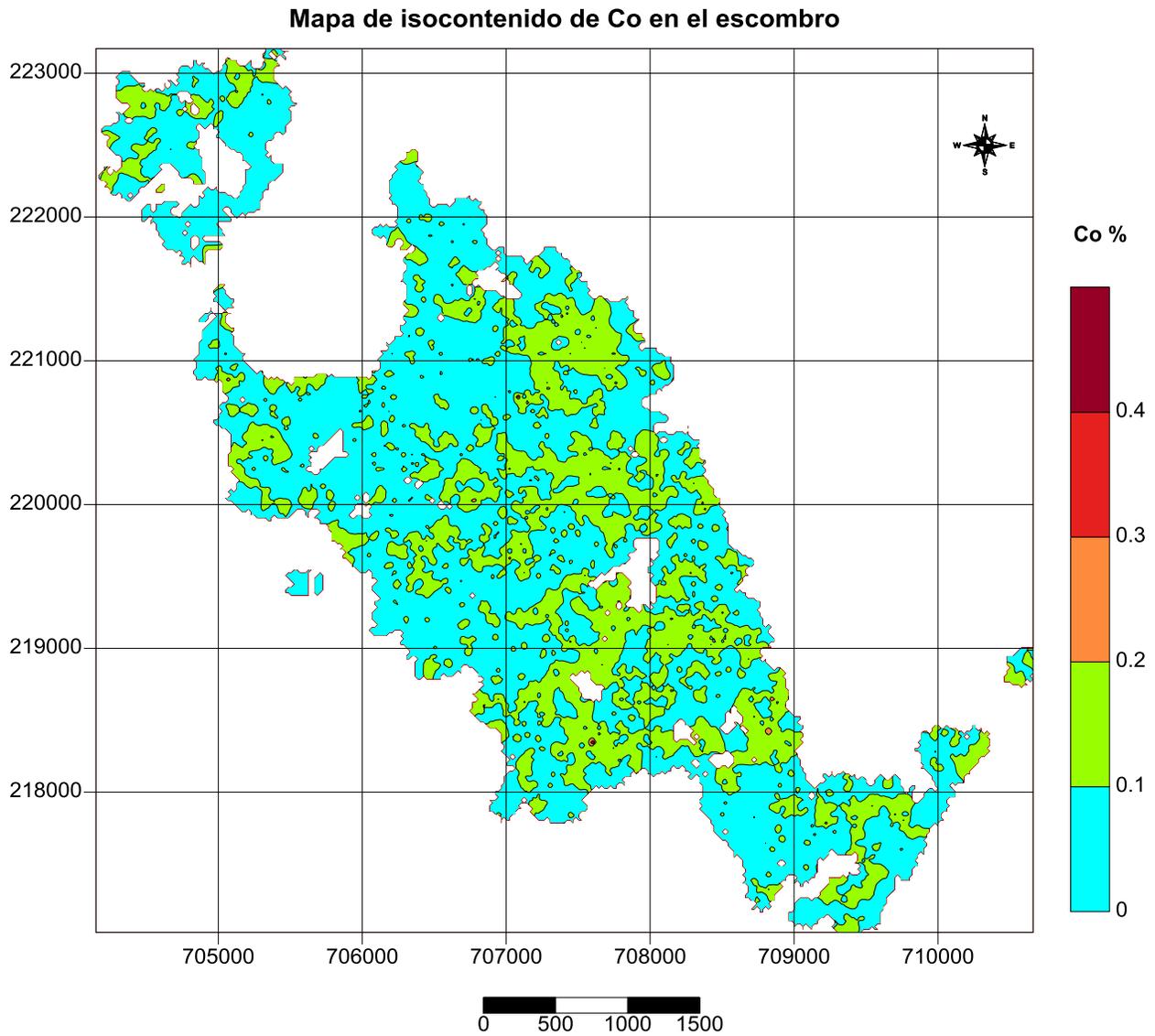
Anexo 1. Mapa de isocontenido de níquel en el horizonte de escombro (E).



Mapa de isocontenido de Fe en el escombro

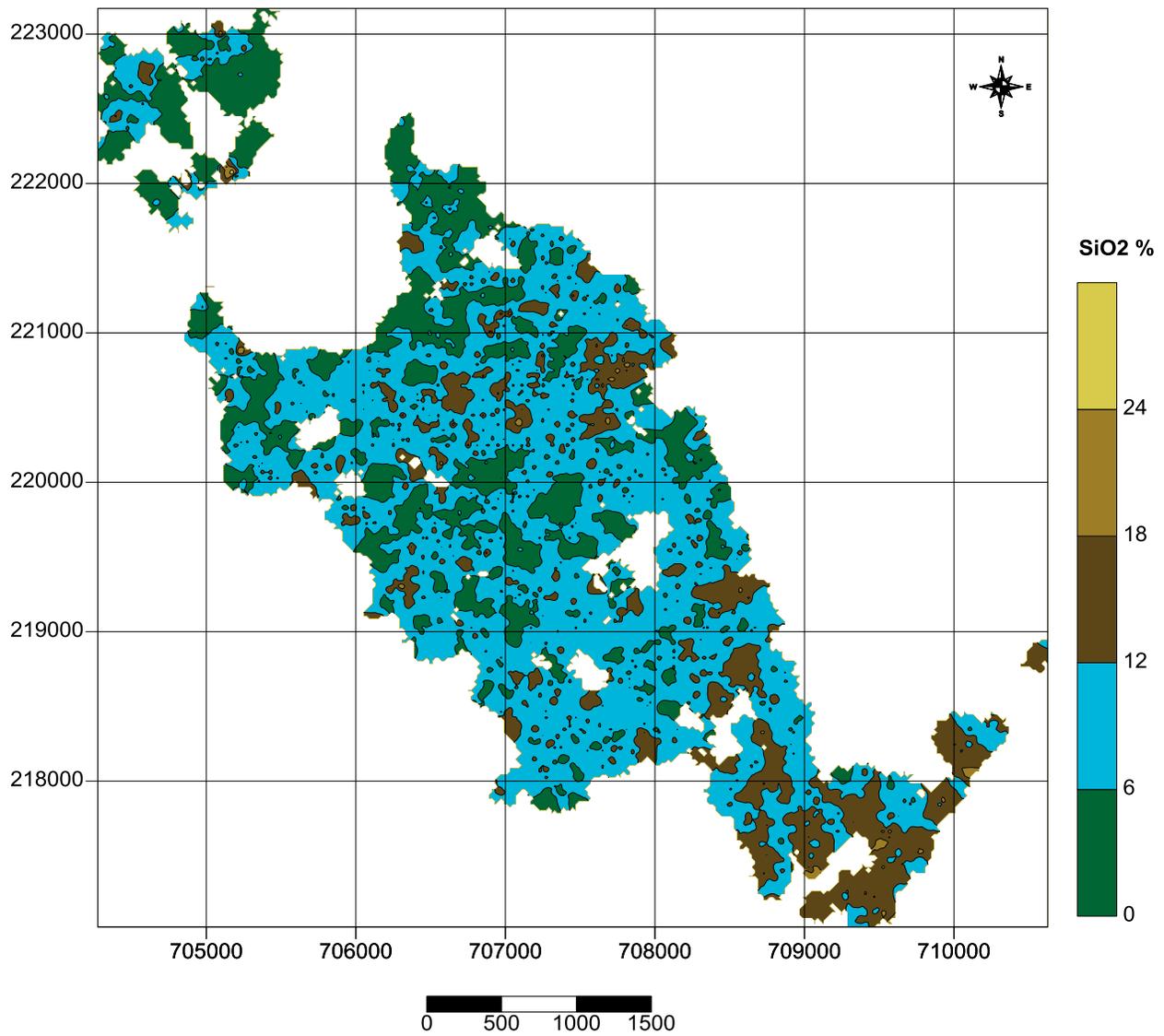


Anexo 2. Mapa de isocontenido de hierro (Fe) en el horizonte de escombros (E).



Anexo 3. Mapa de isocontenido de cobalto en el horizonte de escombro (E).

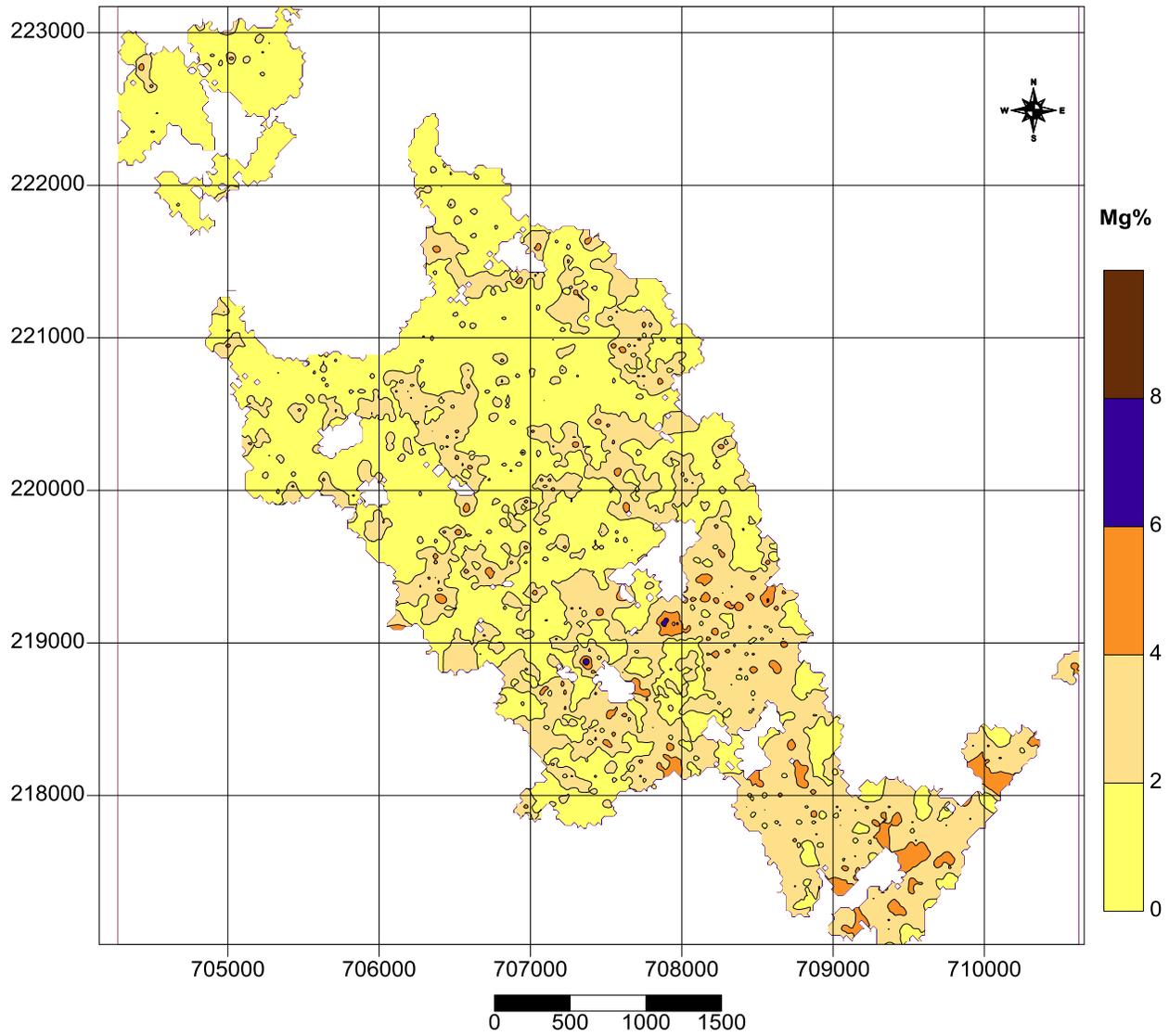
Mapa de isocontenidos de óxido de sílice (SiO₂) en el escombro



Anexo 4. Mapa de isocontenido de óxido de sílice en el horizonte de escombro.



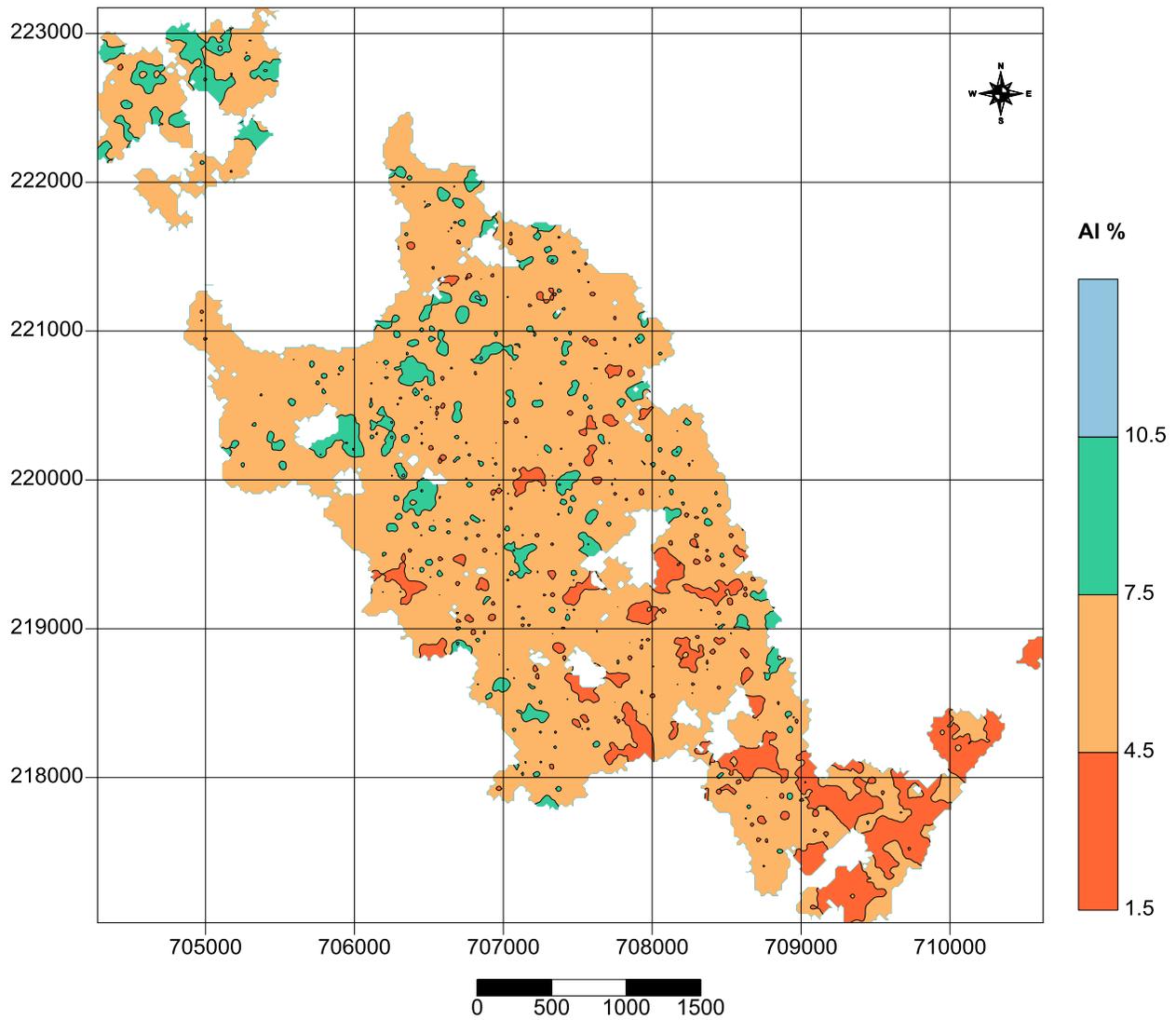
Mapa de isocontenido de Mg en el escombro



Anexo 5. Mapa de isocontenido de magnesio (Mg) en el horizonte de escombro.



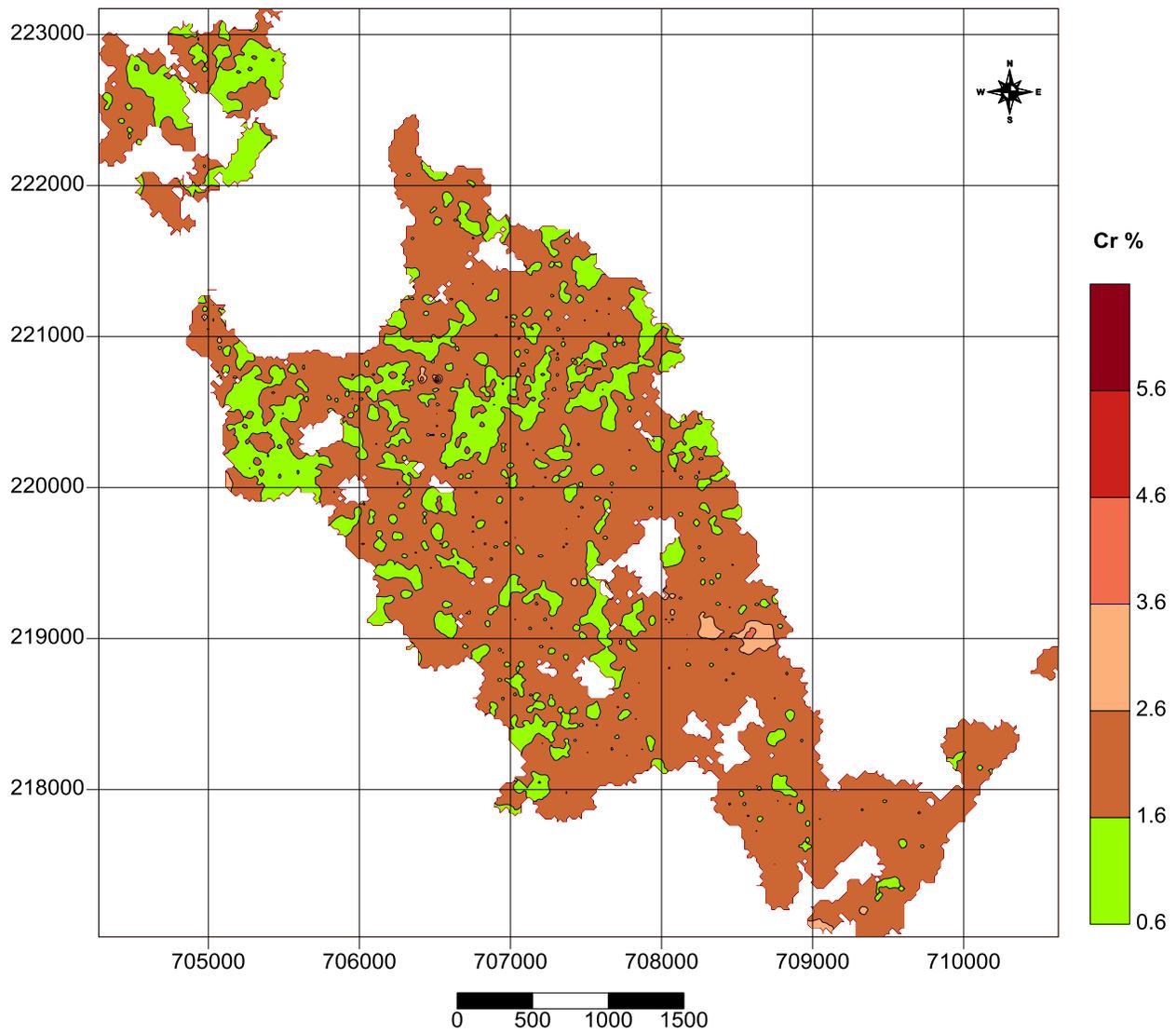
Mapa de isocontenido de Al en el escombro



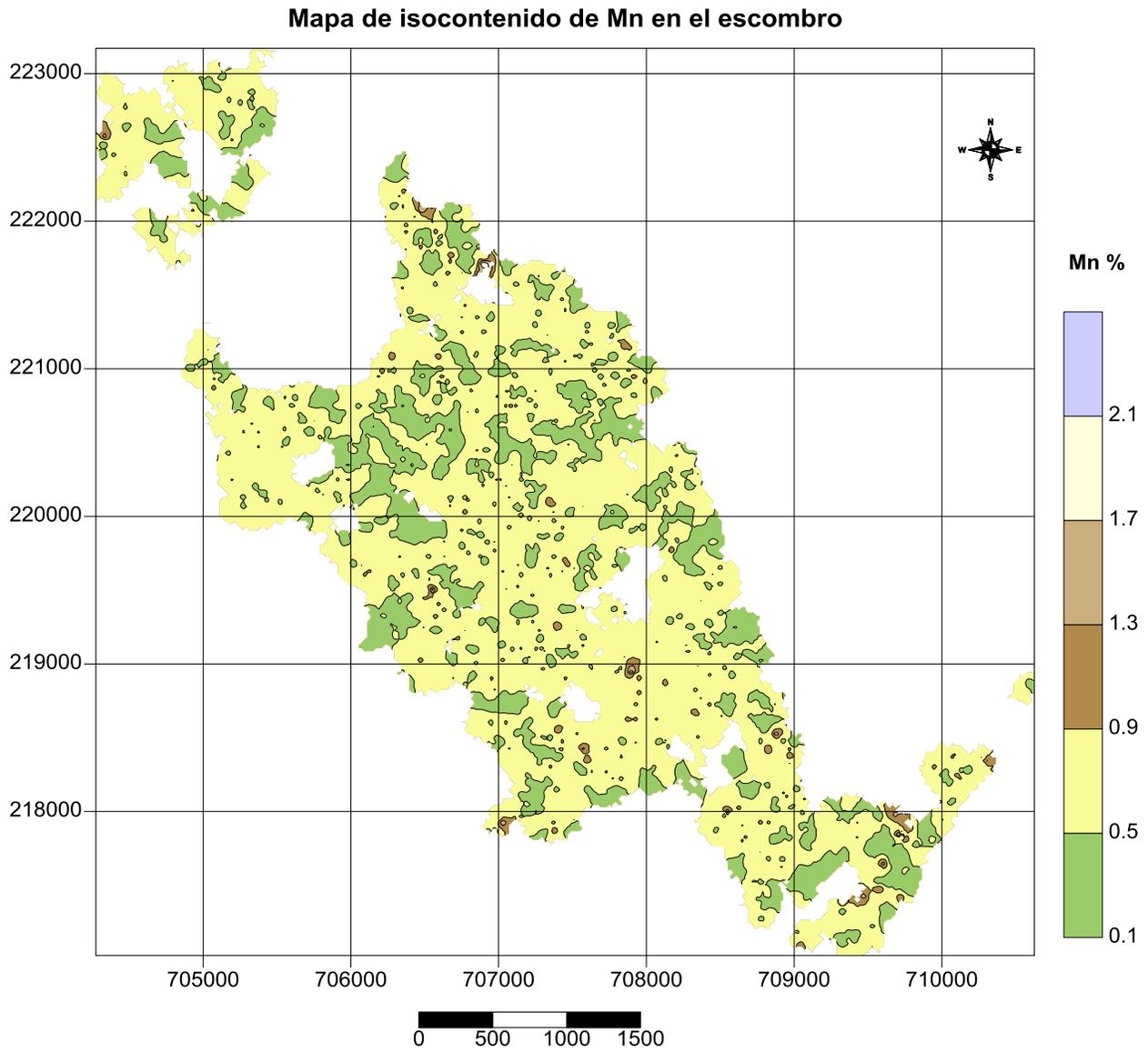
Anexo 6. Mapa de isocontenido de aluminio en el horizonte de escombro.



Mapa de isocontenido de Cr en el escombro



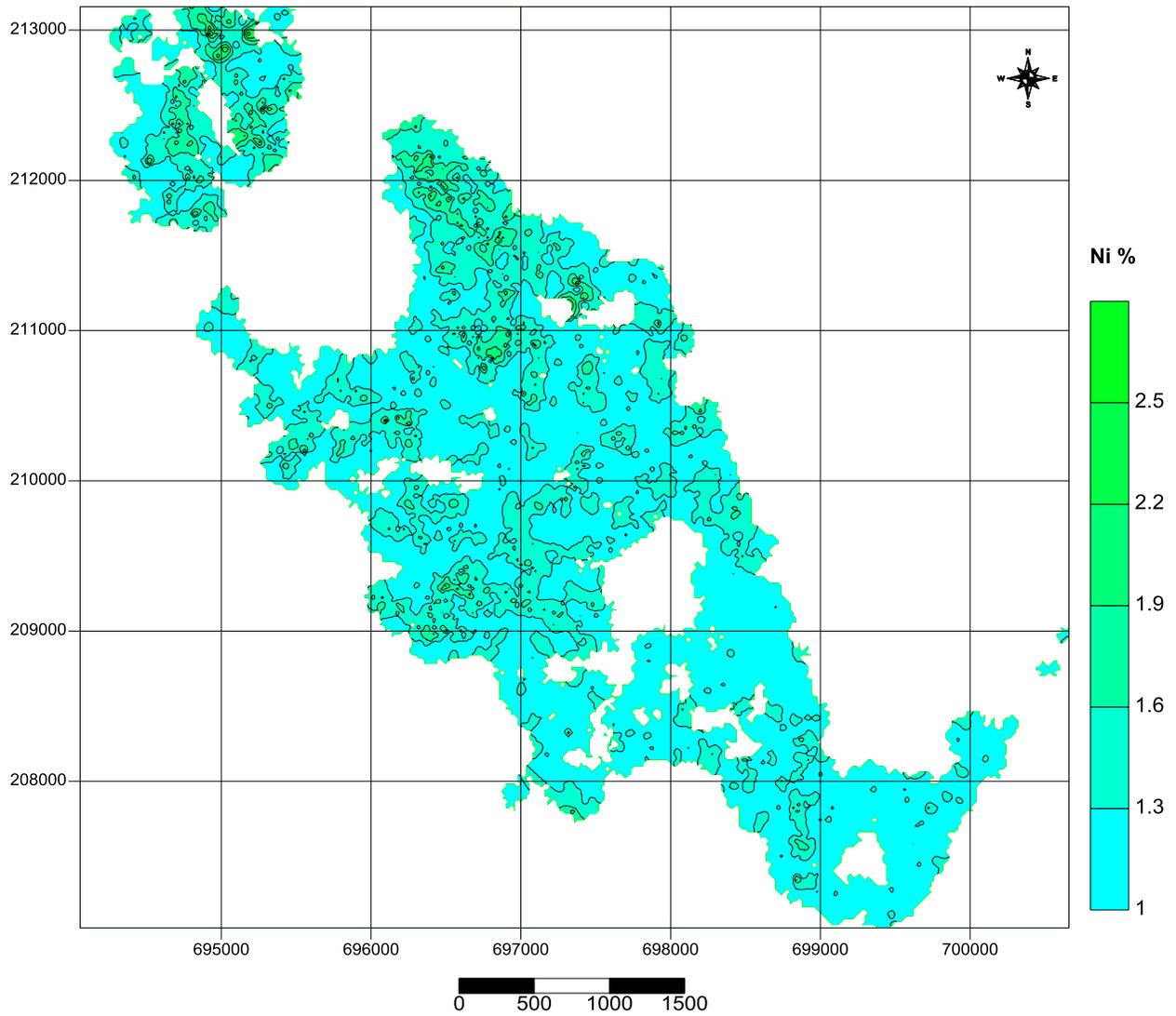
Anexo 7. Mapa de isocontenido de cromo (Cr) en el horizonte de escombro.



Anexo 8. Mapa de isocontenido de manganeso en el horizonte de escombro.



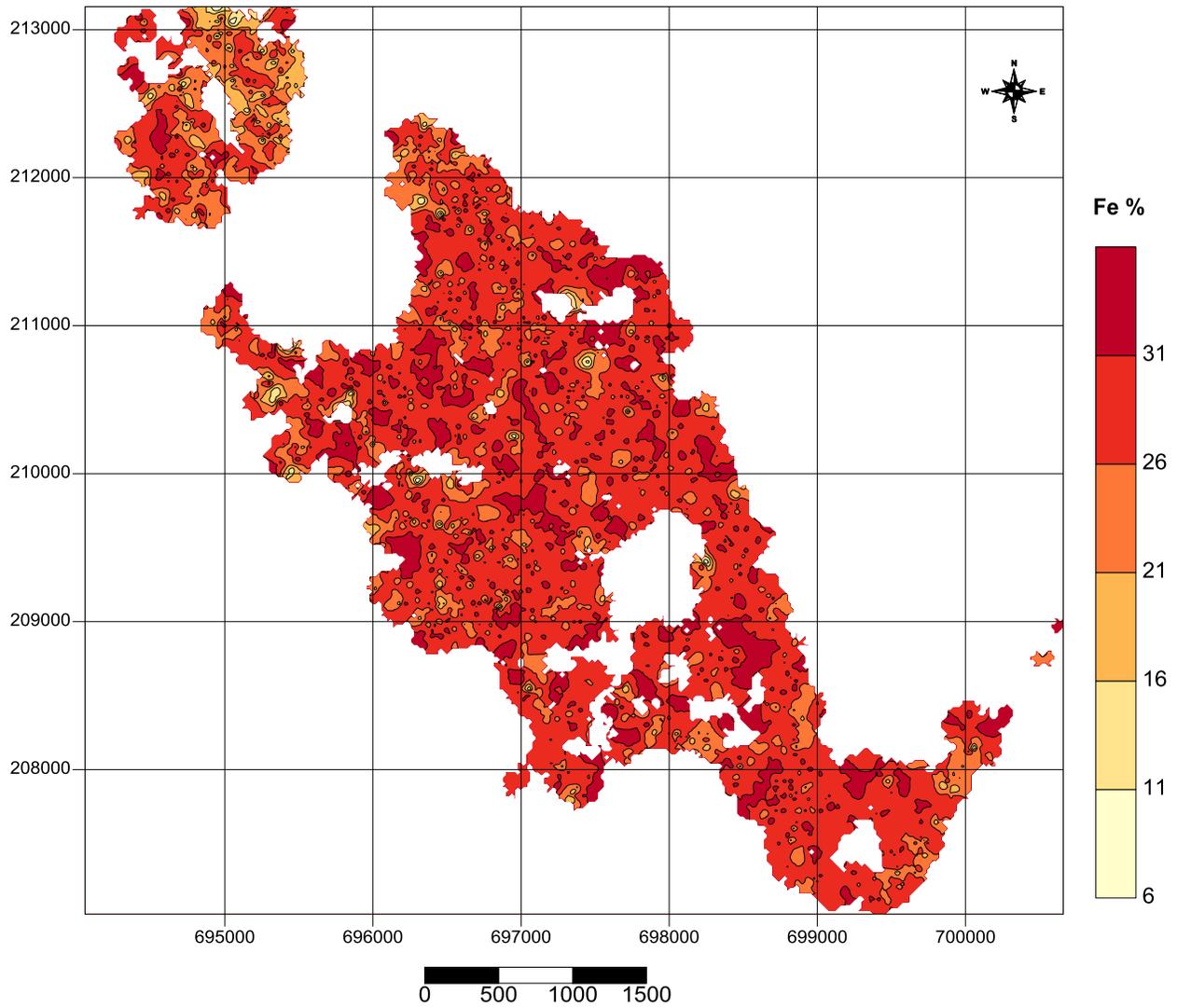
Mapa de isocontenido de Ni en la SB



Anexo 9. Mapa de isocontenido de níquel (Ni) en la SB.



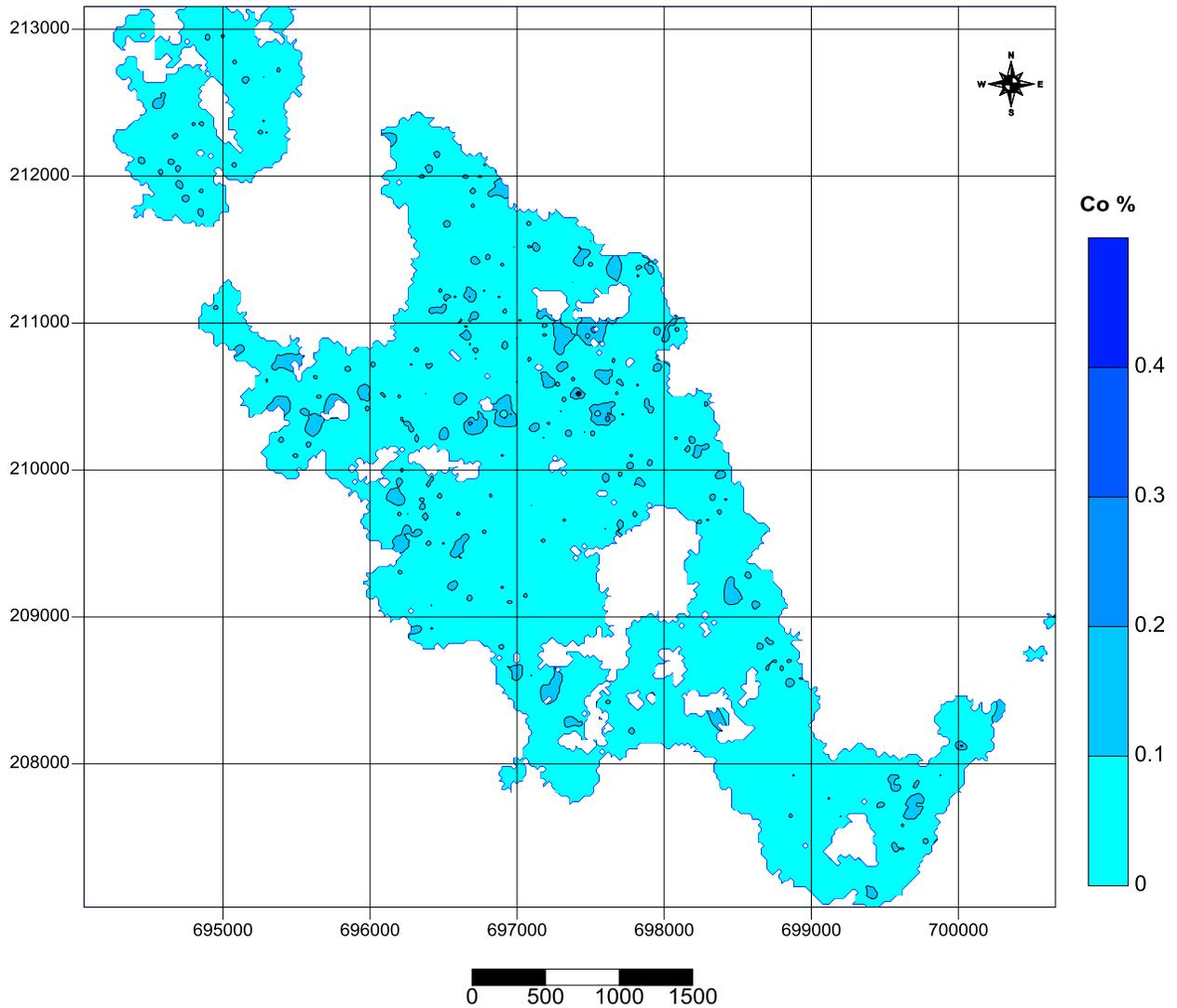
Mapa de isocontenido de Fe en la SB



Anexo 10. Mapa de isocontenido de hierro (Fe) en la SB.



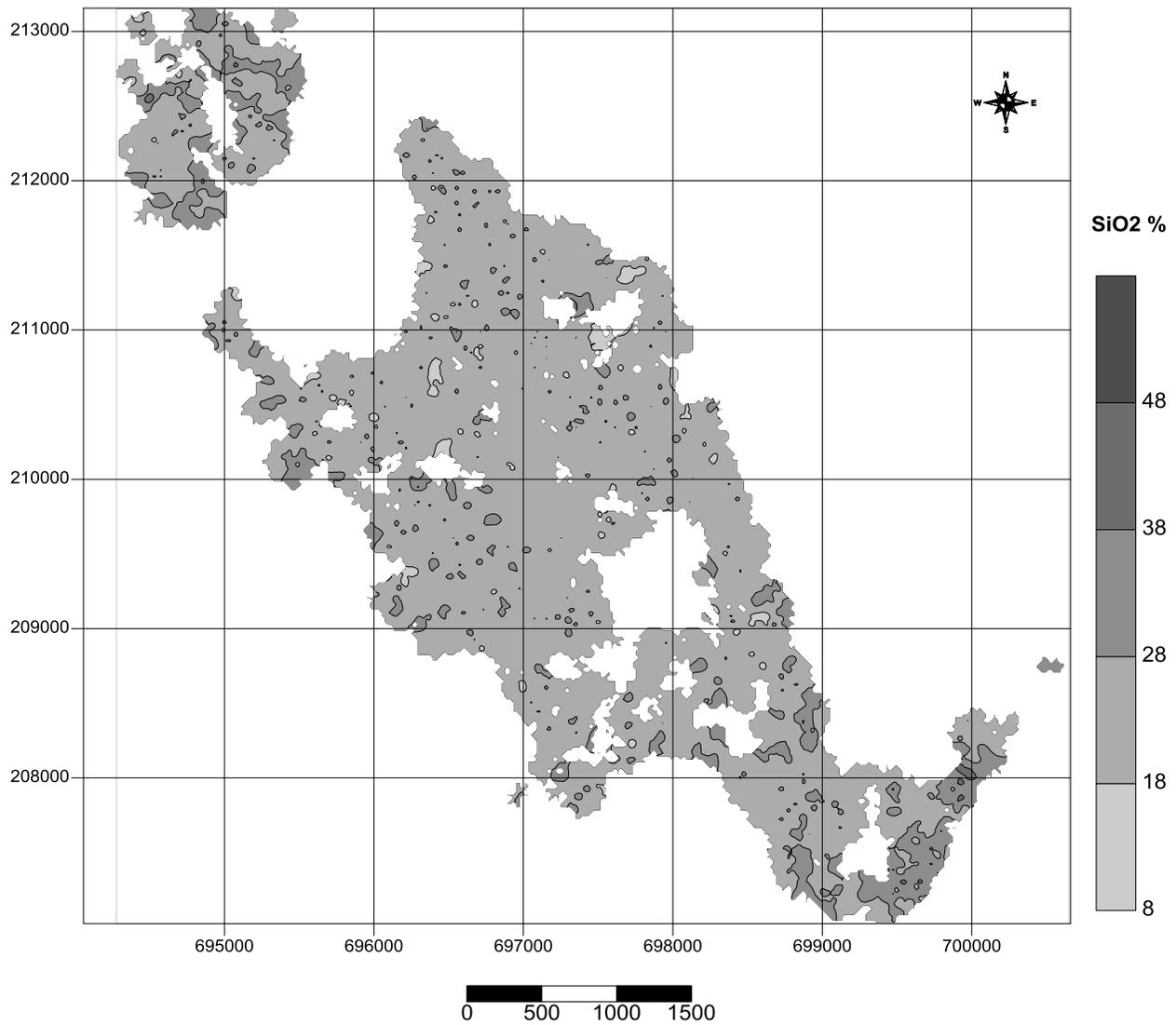
Mapa de isocontenido de Co en la SB



Anexo 10. Mapa de isocontenido de cobalto (Co) en la SB.



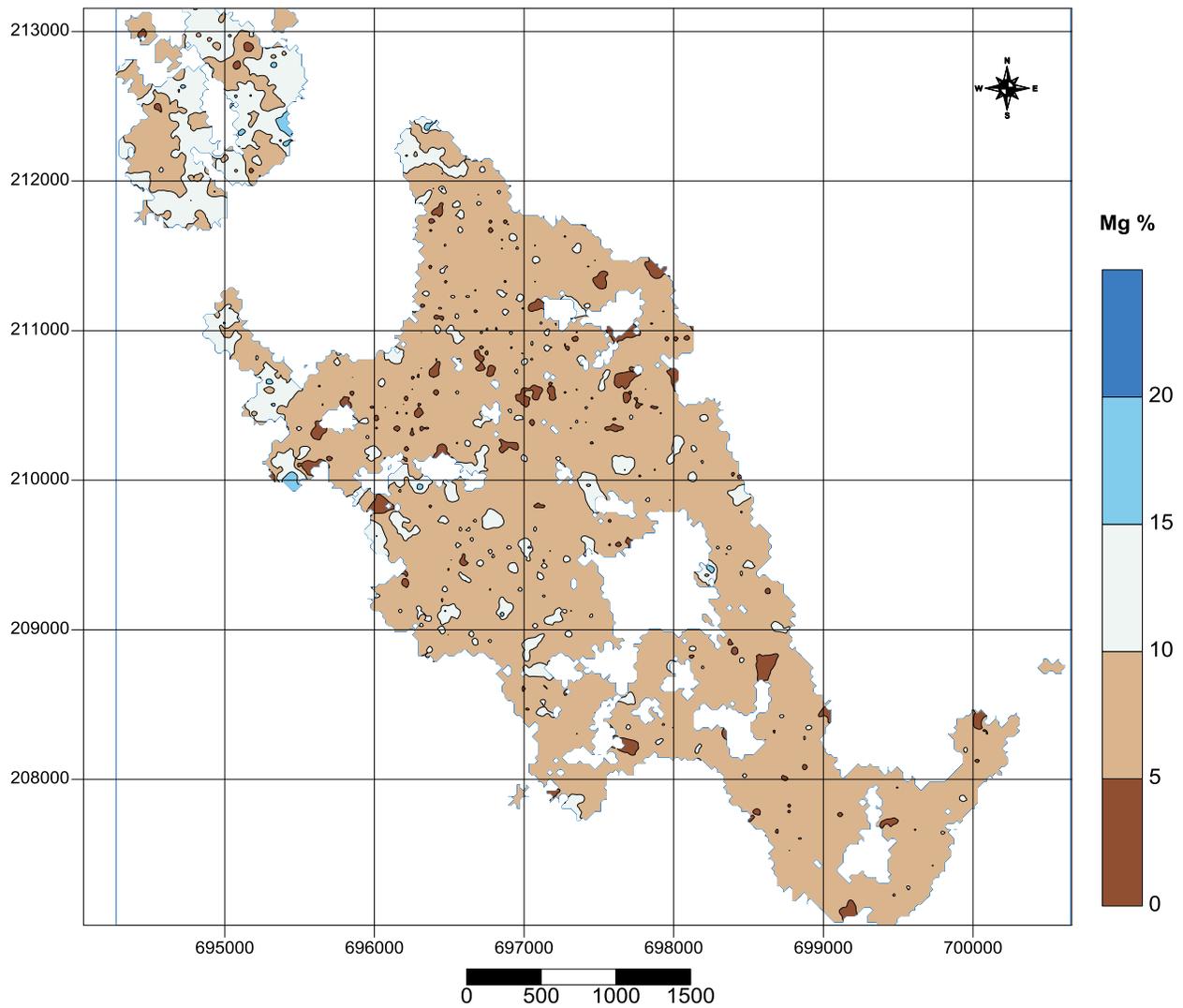
Mapa de isocontenido de óxido de sílice (SiO_2) en la SB



Anexo 12. Mapa de isocontenido de óxido de sílice (SiO_2) en la SB.



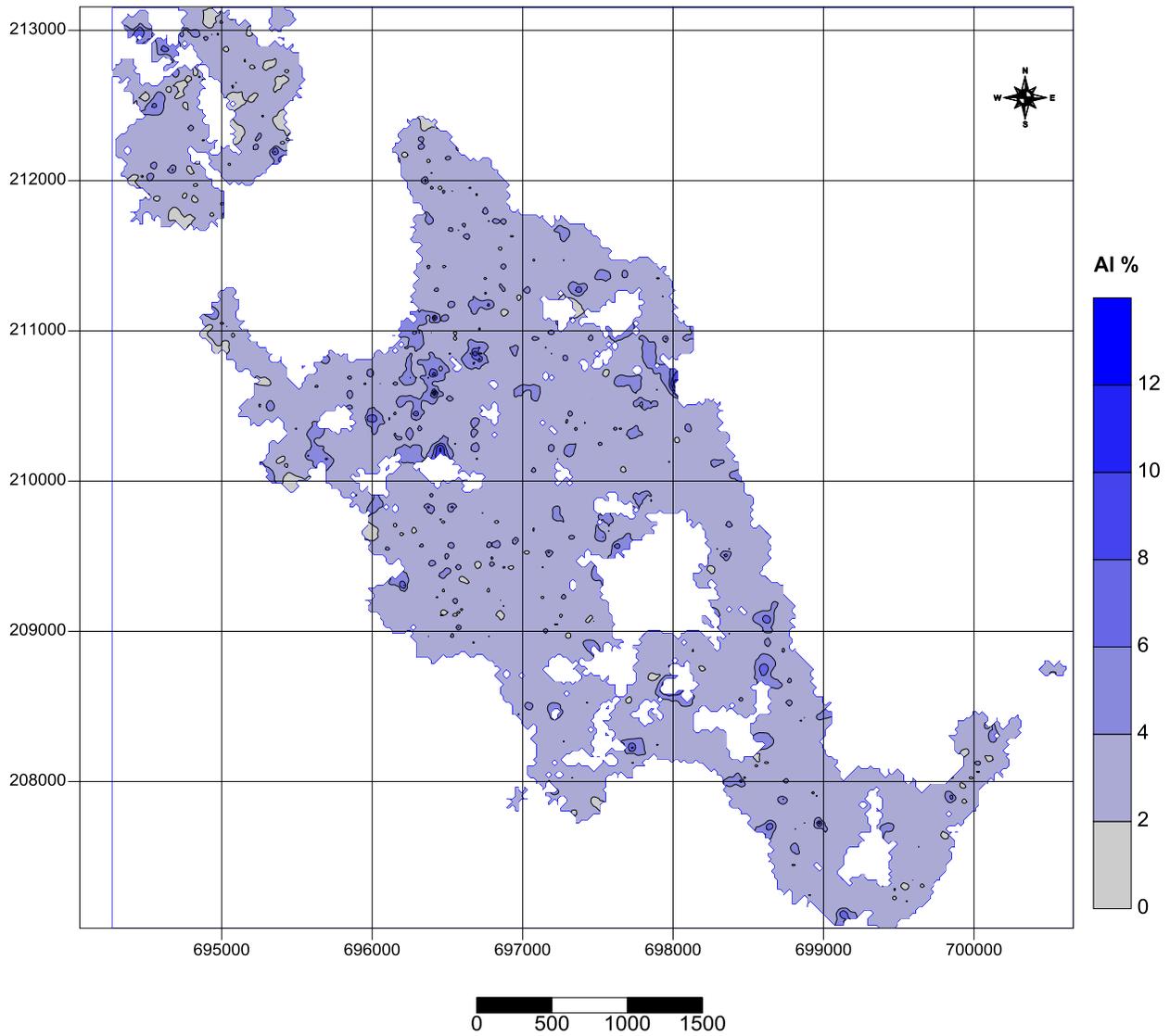
Mapa de isocontenido de Mg en la SB



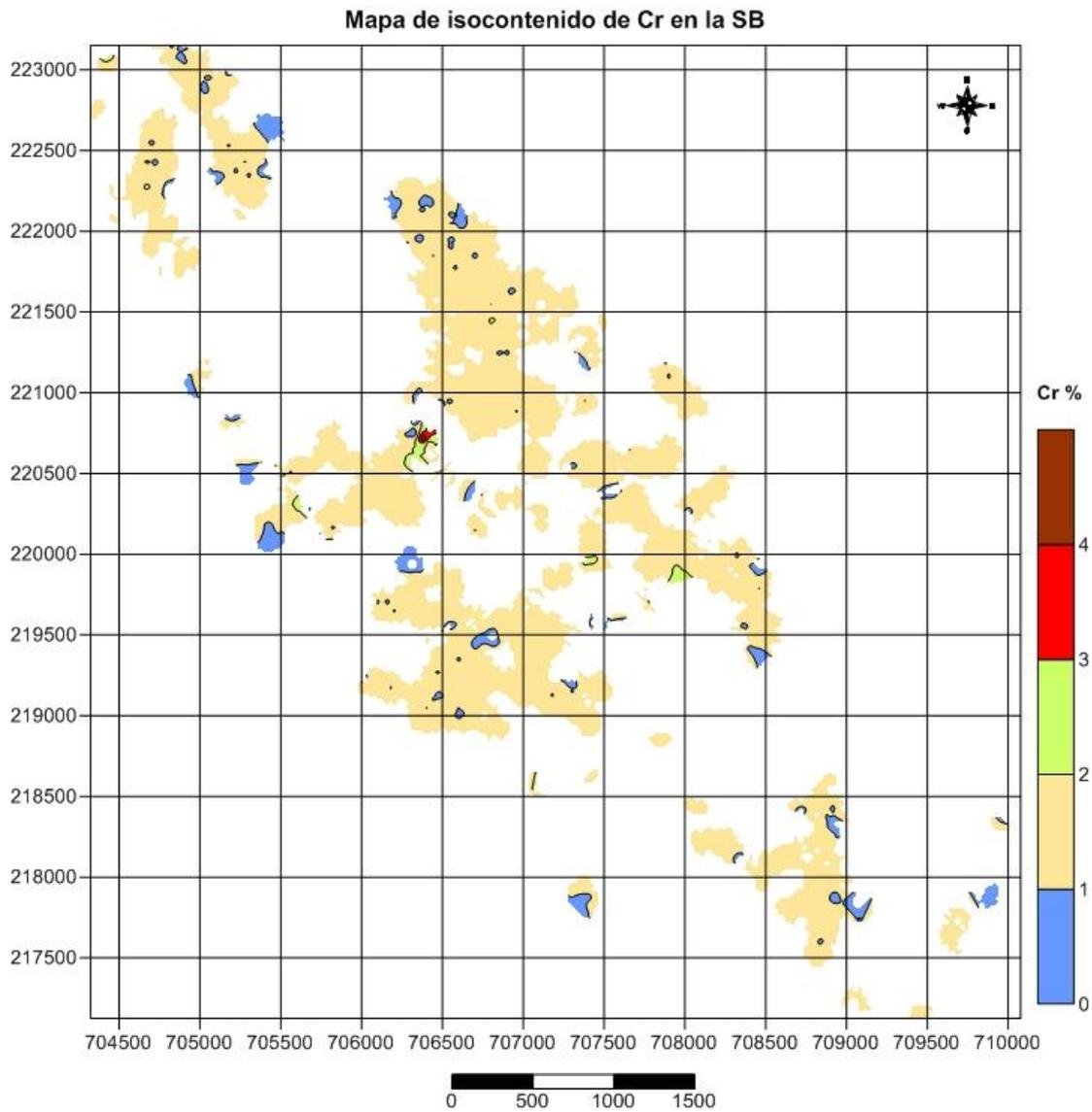
Anexo 13. Mapa de isocontenido de magnesio (Mg) en la SB.



Mapa de isocontenido de Al en la SB



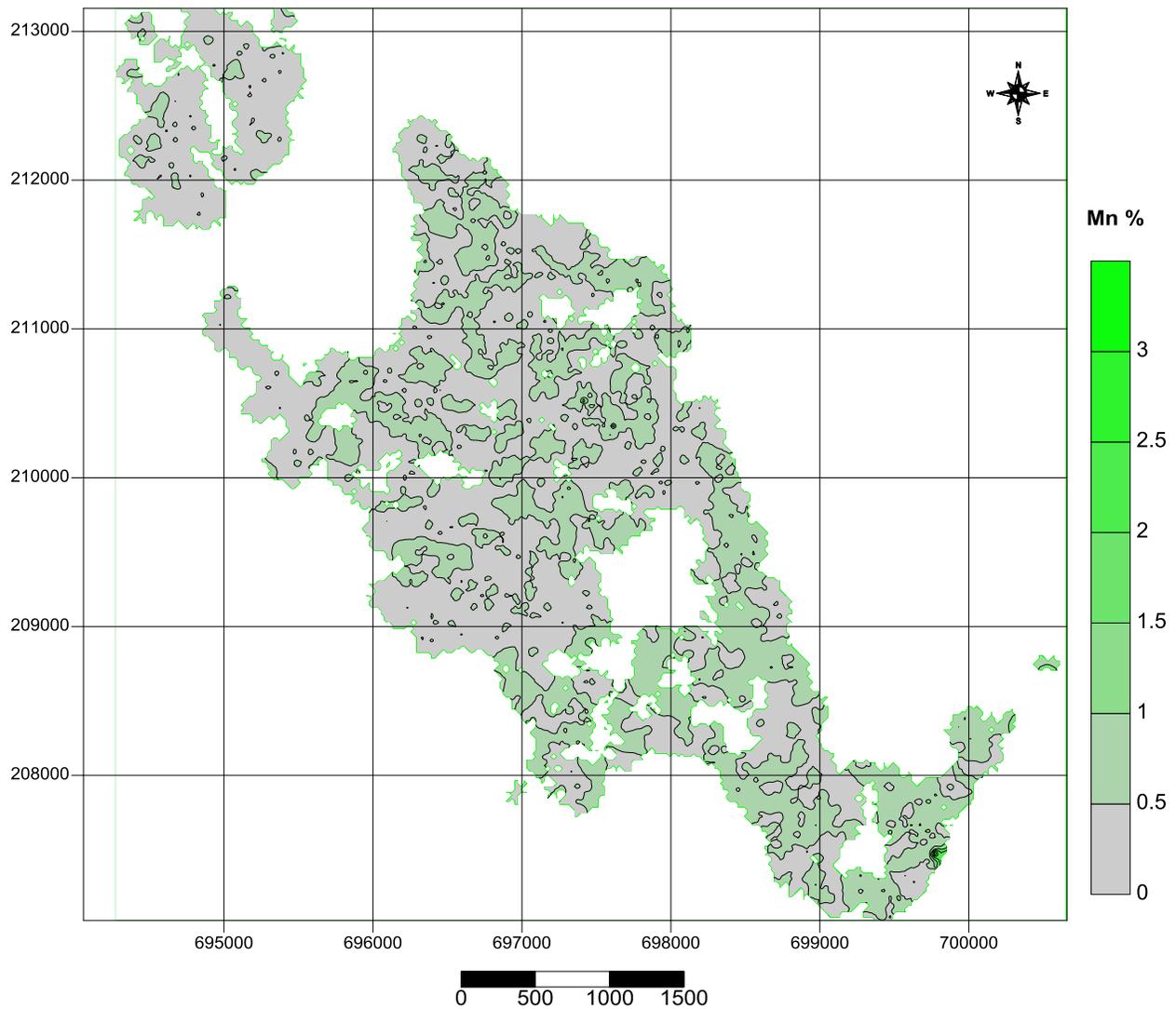
Anexo 14. Mapa de isocontenido de aluminio (Al) en la SB.



Anexo 15. Mapa de isocontenido de cromo (Cr) en la SB.

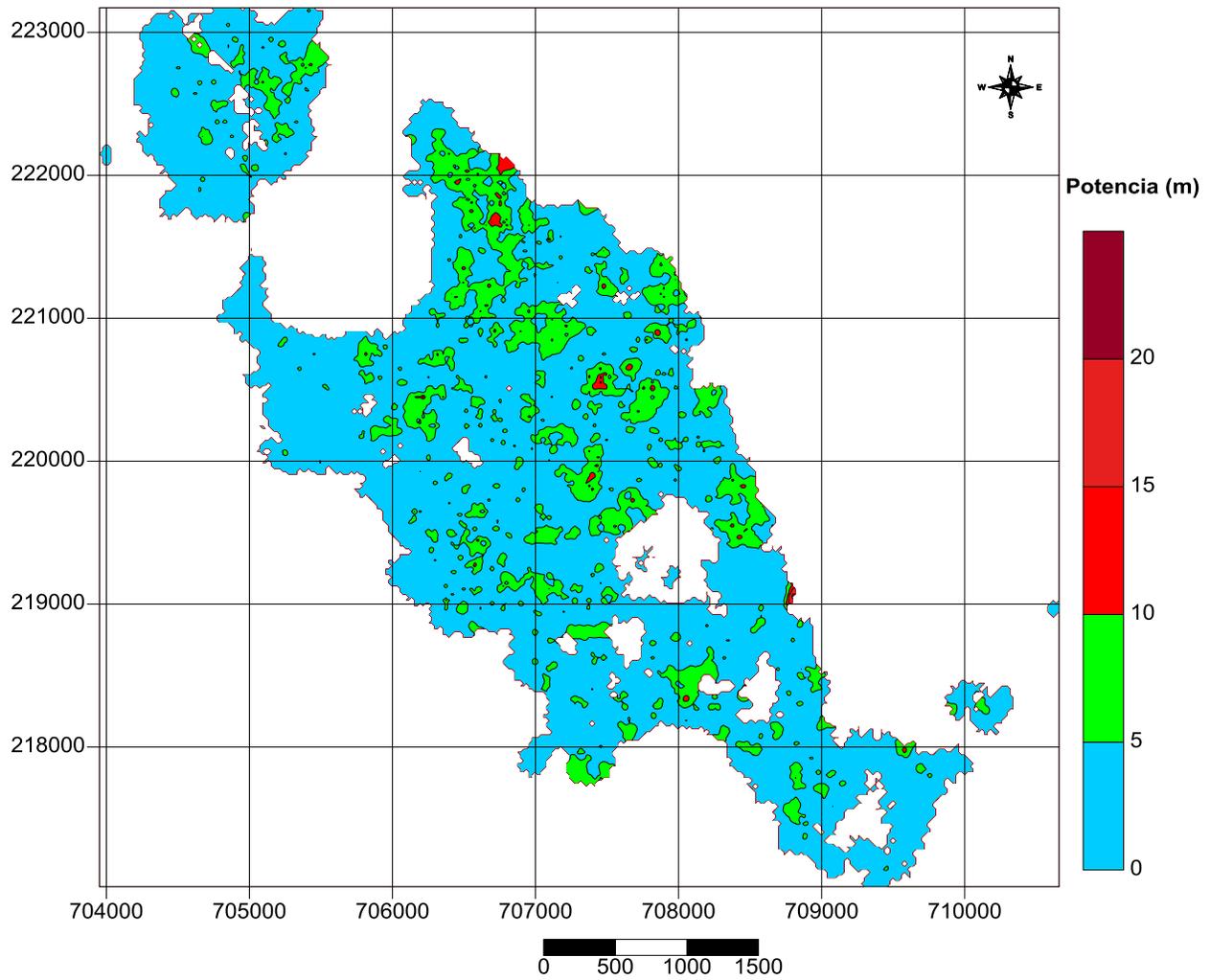


Mapa de isocontenido de Mn en la SB

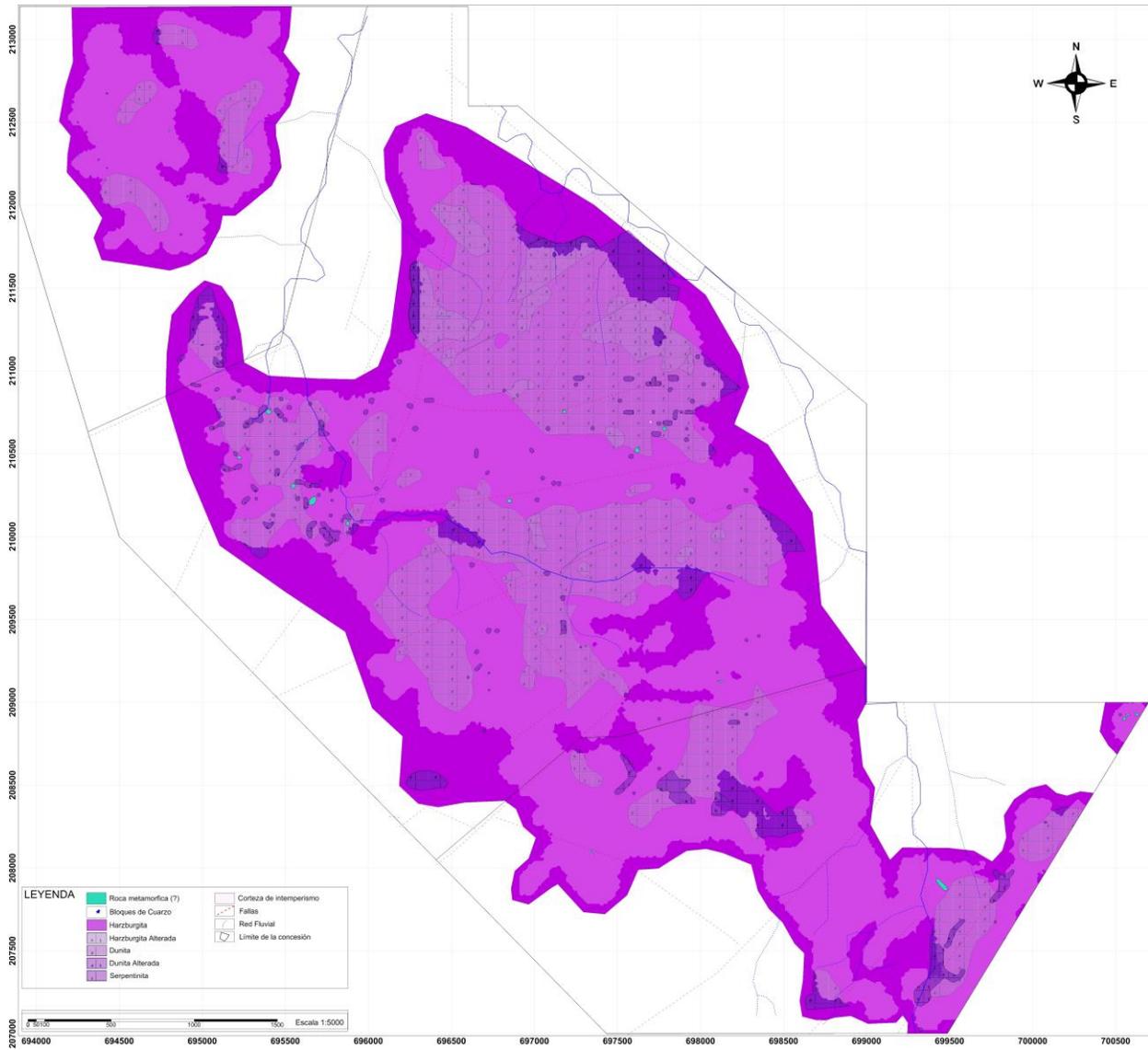


Anexo 16. Mapa de isocontenido de manganeso (Mn) en la SB.

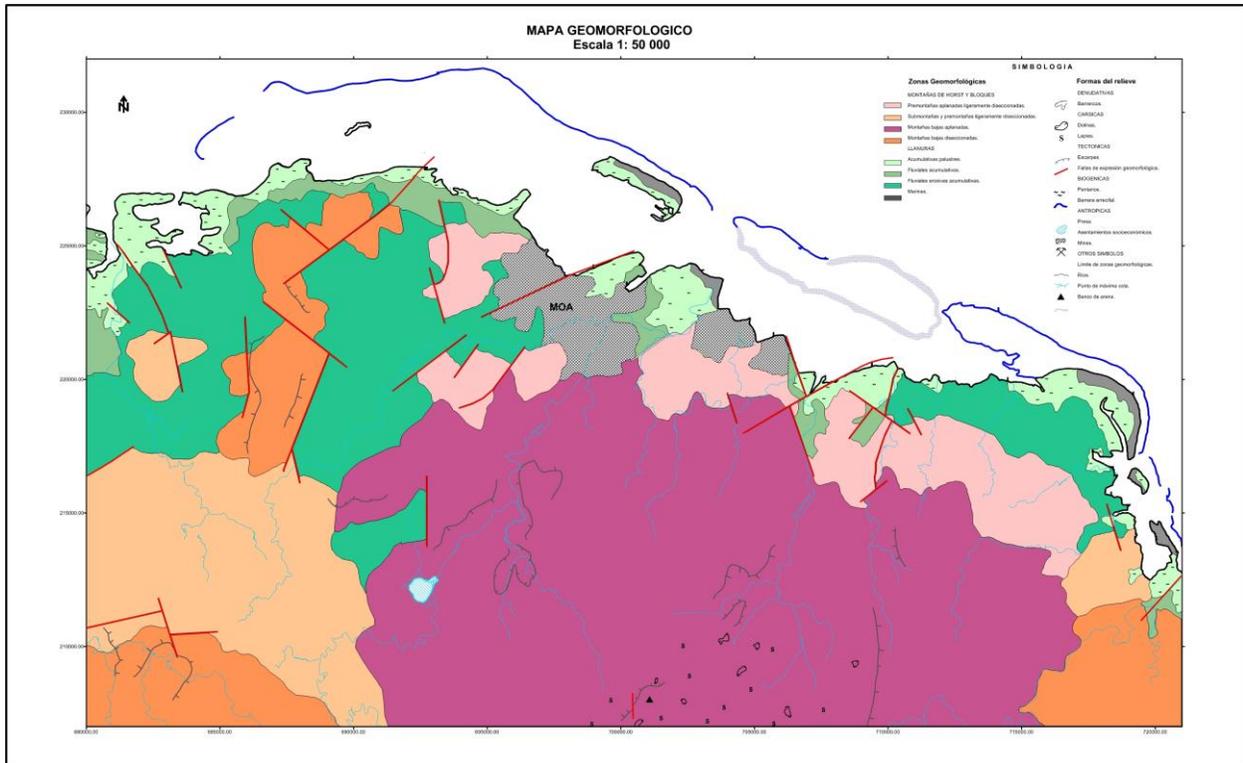
Mapa de potencia para el horizonte de la laterita de balance (LB)



Anexo 17. Mapa de potencia para el horizonte de la laterita de balance (LB).



Anexo 18. Mapa Geológico del yacimiento Camarioca Sur.



Anexo 19. Mapa geomorfológico de la región de Moa.