



ISMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALÚRGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑES JIMENEZ

Trabajo de Diploma

Ingeniería Geológica
Facultad: Geología y Minería

Trabajo de Diploma

Para Optar por el Título de

Ingeniero Geólogo

**Título: Comportamiento Geoquímico de los
Componentes principales y nocivos del Yacimiento
Zona Septentrional.**

Autor: Yoel Pérez Jara

Tutor: Ing. Yurisley Valdés Mariño

Moa, 2013
“Año 55 de la Revolución”



AGRADECIMIENTOS

La confección de esta tesis ha sido gracias a la ayuda incondicional de muchas personas que dieron lo mejor de sí para poder salir adelante, quiero agradecer infinitamente no solo aquellas personas que contribuyeron a la elaboración del mismo, sino también aquellas que de una forma u otra ayudaron a mi formación como profesional:

- Agradecer infinitamente a mi familia por el apoyo que siempre me mostraron a pesar de las dificultades que se presentaron en estos cinco años.
- Agradecer a mi madre, mi padre y mis dos hermanos por la ayuda que me supieron dar en los momentos difíciles de mi carrera.
- Agradecer a mi novia que me supo comprender y compartió los momentos buenos y malos a mi lado.
- Agradecer infinitamente a mi familia en Moa por su apoyo incondicional, porque fue muy importante durante mis cinco años de carrera.
- A mis compañeros que supimos enfrentar tiempos buenos y malos juntos.
- Dar mi eterna gratitud al claustro de profesores que de una forma u otra contribuyeron a mi formación, pero especial a mi tutor Yurislei Valdés y a Iván por su ayuda incondicional para la elaboración de mi trabajo de diploma.

DEDICATORIA

Dedico este Trabajo de Diploma a toda mi familia y a mi novia porque sin su apoyo incondicional de ellos no hubiera sido posible la elaboración y terminación de la misma. Dedicar de forma especial varias personas que fueron muy importante en mi vida y que por ley de la vida no se encuentran a mi lado en estos momentos, pero sé que donde quiera que se encuentren será un orgullo para ellos.

PENSAMIENTO

La ciencia es buena porque nos enseña a distinguir por medio de la acción lo posible y lo imposible, porque nos instruye al respecto de nuestros verdaderos deberes y nos libera de la servidumbre, de la ignorancia y el error.

Anatole.

Resumen

El presente trabajo titulado: Caracterización Geoquímica de los Componentes principales y nocivos del Yacimiento Zona Septentrional, se basa en la caracterización geoquímica de los componentes principales y nocivos del yacimiento zona septentrional mediante las técnicas 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. Las técnicas empleadas arrojan que los elementos útiles presentan variaciones de los contenidos: Níquel Mínimo 0,11%, Máximo 2,81 %, Mediana 1,15 %; Hierro Mínimo 6,72 %, Máximo 52,25 %, Mediana 29,04 % y Cobalto Mínimo 0,008 %, Máximo 0,505 %, Mediana 0,14 %. Los resultados de la investigación demuestran que el yacimiento Zona septentrional presenta alto contenido de los elementos nocivos (Mg, SiO₂, Al) que implica un alto consumo de ácido en el proceso de lixiviación ácida para el tratamiento de las menas cuyas exigencias industriales para las menas de Lateritas de Balance es $Ni \geq 1\%$, $Fe \geq 35\%$ y para SB es $Ni \geq 1,5\%$ y $Fe \leq 35\%$. También se confeccionan los mapas de isocontenidos de los elementos útiles y nocivos del yacimiento zona septentrional y los gráficos de su comportamiento en profundidad con la elaboración de los mapas de contenidos a partir de la información de 698 pozos de control, para un total de 12 255 muestras analizadas.

La importancia de este trabajo radica en la definición de área con mayores perspectivas para la explotación de la LB.

Abstract

The results of the geochemical characterization study of the main and noxious components of the Zona Septentrional 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 0,11 %, Maximum 2,81 %, Median 1,15 %, Fe: Minimum 6,72 %, Maximum 52,25 %, Median 29,04 % and Co: Minimum 0,008 %, Maximum 0,505 %, Median 0,14 %.

The Zona Septentrional 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 $\text{Ni} \geq 1 \%$, $\text{Fe} \geq 35 \%$ and for SB ore is $\text{Ni} \geq 1,5 \%$ and $\text{Fe} \leq 35 \%$.

Isocontent maps of the useful and noxious elements were elaborated for the Zona Septentrional deposit and the graphs of its behavior in the profile.

Índice

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
Estado del Arte.....	3
Marco teórico conceptual de la investigación.....	3
Corteza de Intemperismo.....	9
Tipos de cortezas de intemperismo	9
El Proceso de Lateritización.....	11
Clasificación litológica de los perfiles lateríticos en cuba.....	15
Características de las menas de los yacimientos hipergénicos de níquel y cobalto en Cuba	16
Sobre la terminología de los perfiles y zonas de la corteza de intemperismo laterítica	19
CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y PARTICULARES DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
1.1 Introducción.....	22
1.2 Características geográficas del área de estudio.....	22
1.3 Relieve	23
1.4 Hidrografía	24
1.5 Clima.....	24
1.6 Vegetación	25
1.7 Economía	26
1.8 Características geológicas regionales.....	26
1.9 Geología del área de estudio	37
1.10 Tectónica.....	38
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	41
2.1 Introducción	41
2.2 Etapa preliminar	42
2.3 Trabajos de campo.....	43
2.4 Trabajos de laboratorio	43
2.5 Etapa de gabinete.....	44
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	46
3.1 Introducción.....	46

3.2	Análisis geoquímico de la zona de escombro	47
3.2.1	Comportamiento de los componentes principales del yacimiento; Ni, Fe y Co en el horizonte de escombro (E).....	47
3.2.2	Comportamiento de los componentes nocivos; Si, Mg, Al en el horizonte de escombro (E).	48
3.2.3	Comportamiento del Como (Cr) en el horizonte de escombro (E).....	49
3.3	Análisis geoquímico de la zona de laterita de balance (LB).....	49
3.3.1	Comportamiento de los componentes principales del yacimiento; Ni, Co y Fe en la laterita de balance (LB).	49
3.3.2	Comportamiento de los componentes nocivos; Si, Mg, Al en la laterita de balance (LB). 52	
3.3.3	Comportamiento del Cromo (Cr) en la laterita de balance (LB).....	55
3.4	Análisis geoquímico de la zona de Saprolita de Balance (SB).	56
3.4.1	Comportamiento de Componentes principales Ni, Fe y Co en la saprolita de balance (SB).	56
3.4.2	Comportamiento de componentes nocivos SiO ₂ , Al y Mg en la Saprolita de Balance (SB).57	
3.4.3	Comportamientos del Cromo (Cr) en la saprolita de balance (SB).....	58
3.5	Mapa de potencia del Yacimiento Zona Septentrional.....	58
3.5.1	Mapa de potencia de la Laterita de Balance del yacimiento Zona Septentrional.....	59
3.6	Gráficos del comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en profundidad para las zonas con valores anómalos.	60
3.6	Interpretación de los perfiles realizados a partir de los datos de los pozos perforados.	65
3.6.1	Interpretación del perfil 1.....	66
3.6.2	Interpretación del perfil 2.....	68
	Conclusiones.....	70
	Recomendaciones.....	71
	Bibliografía.....	72

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.

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 y con menor abundancia, aparecen diferentes variedades de gabros y disseminaciones de cromita.

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

PROBLEMA: Necesidad de conocer el comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos en el yacimiento Zona Septentrional asociado a las variaciones litológicas y tectónicas.

OBJETO DE ESTUDIO

Yacimiento Zona Septentrional

CAMPO DE ACCIÓN

Los componentes principales y nocivos de la corteza laterítica.

OBJETIVO GENERAL

Valorar el comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos en las menas lateríticas del yacimiento Zona Septentrional para definir las áreas con mayores perspectivas para la explotación y optimizar los trabajos de minería.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Elaborar los mapas de contenidos de los componentes útiles 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 útiles y nocivos en profundidad para las zonas con valores anómalos.
4. Elaborar perfiles a partir de la información de los pozos perforados.

HIPÓTESIS

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

NOVEDAD CIENTÍFICA

Valorar el comportamiento de los componentes principales y nocivos en el yacimiento zona septentrional a partir de su caracterización geoquímica.

ESTADO DEL ARTE

Marco teórico conceptual de la investigación.

El grado de estudio geológico de la República de Cuba experimentó un incremento considerable a partir de los primeros años de la década de los 60 del siglo XX, cuando fue reorganizado el Servicio Geológico Nacional, y se crean el Instituto Cubano de Recursos Minerales —ICRM— en el Ministerio de Industrias y la Escuela de Geología en la Universidad de La Habana.

Existe una considerable cantidad de información sobre los recursos minerales cubanos. Informes y estudios de yacimientos, manifestaciones y puntos de mineralización, se encuentran en los archivos y fondos geológicos de las principales instituciones geológicas (Oficina Nacional de Recursos Minerales, Instituto de Geología y Paleontología, Uniones Geominera y del Níquel y sus Empresas de Producción), así como en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Esa información es la base inicial necesaria para la sistematización, generalización y confección de los Modelos Descriptivos de Yacimientos Minerales, tarea no desarrollada aún en la República de Cuba.

Las menas lateríticas de cortezas de intemperismo en Cuba, fundamentalmente en su parte oriental, se conocen desde el mismo descubrimiento de la Isla por Cristóbal Colón (Lavaut, 1987). En 1762, durante el desarrollo de la guerra anglo-española, el perdigón fue objeto de atención para obtener hierro (Ariosalznaga, 1977).

De 1901 a 1906 algunos geólogos, entre los que figuraron Hayes, Vaughan y Spencer, realizaron investigaciones sobre las lateritas de Cuba (Lavaut, 1987). Con la construcción, en 1943, de la planta de níquel de Nicaro se incrementó el grado de estudio de las lateritas cubanas; de este período datan los trabajos de la Junta de Seguridad de Recursos Naturales (1950), McMillan (1955), De Vletter (1953, 1955), y Monttoulieu y Abalo (1957) .

Posterior a 1959 se ahonda en el estudio de los recursos niquelíferos y se concluye la construcción de una segunda planta de níquel ubicada en Moa. Hoy suman tres las industrias cubanas procesadoras de menas lateríticas. Desde los primeros años de la década de 1960, los yacimientos lateríticos del nordeste de Cuba fueron objeto de investigaciones geológicas sistemáticas, dirigidas por las empresas geológicas y mineras, los institutos de investigación, la antigua Academia de Ciencias y las universidades, en especial, la de Oriente, y el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, que han contribuido notablemente al incremento del grado de conocimiento sobre estos yacimientos.

En el Congreso de Geología y Minería de 1998, celebrado en La Habana, Cobas y otros, 1998, presentaron un trabajo sobre “Modelos geológicos de yacimientos lateríticos cubanos”. Estos modelos se confeccionaron sobre la base de las descripciones litológicas de testigos de perforación, afloramientos, pozos criollos y canteras, y de la composición química, mineralógica y propiedades físicas (peso volumétrico, humedad natural, y otros) para diferentes condiciones de desarrollo del intemperismo. Éste es el documento más reciente que se conoce sobre modelos de yacimientos de lateritas, mas no llega a constituirse en un modelo descriptivo en la acepción que le damos en la presente investigación, pero es, sin lugar a duda, una contribución notable al grado de conocimiento geológico de este tipo de yacimiento.

Vale recordar que los recursos minerales niquelíferos, identificados en depósitos con una ley de 1 % o más de Ni, ascienden a 130 millones de toneladas. Alrededor del 60 % del Ni se encuentra en los depósitos lateríticos y el restante 40 % en los depósitos de sulfuros magmáticos. La producción minera en el año 2001 fue de 1 260 000 t, en la cual se destacaron la Federación Rusa (265 000 t), Australia (184 000 t), Canadá (183 000 t), Nueva Caledonia (126 000 t), Indonesia (105 000 t) y Cuba (71 500 t).

Las principales reservas de Ni se localizan en Australia, Cuba, Canadá, Nueva Caledonia, Indonesia, África del Sur y Filipinas (Kuck, 2002).

La aplicación de los modelos descriptivos en las tres zonas principales de desarrollo de lateritas en Cuba Oriental (Pinares de Mayarí, Moa y Punta Gorda) contribuiría, entre

otros aspectos, a una mejor delimitación de las concesiones mineras y a una explotación más eficiente de los yacimientos.

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

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

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

En 1972 se inician investigaciones de carácter regional en el territorio oriental cubano por especialistas del departamento de geología de la universidad de oriente, luego el Instituto Superior Minero Metalúrgico estableció en 1976 que la tectónica de sobre empuje afecta también a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas, detectándose en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas

terrágenas 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.

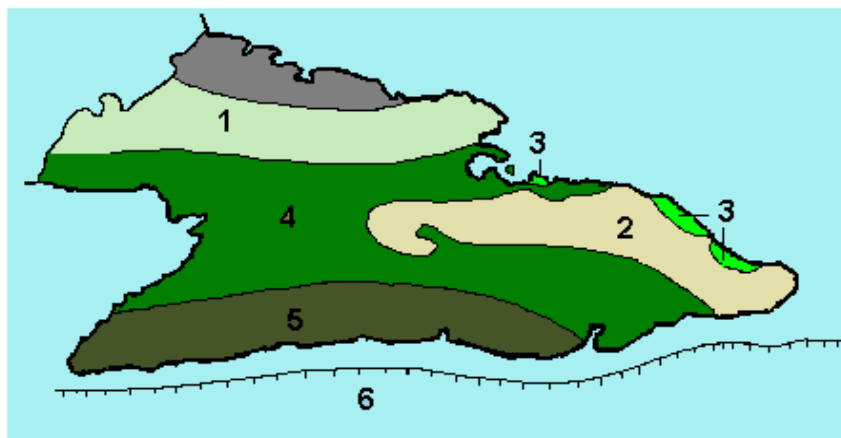


Figura 1: Esquema tectónico según COBIELLA y Rodríguez, (1980) en Vera O, 2001

1- Anticlinorium Camagüey - Holguín; 2- Anticlinal Oriental; 3- Cuenca Nipe - Baracoa;
4- Sinclorium 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 2.

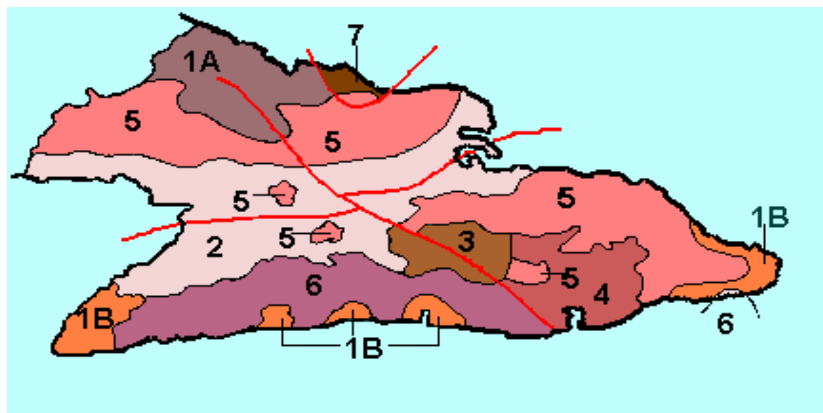


Figura 2: Esquema tectónico según E. Nagy, 1976

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

Al mismo tiempo se desarrollan trabajos fotogeológicos sobre diferentes áreas del territorio por especialistas del Centro de Investigaciones Geológicas, entre los que se encuentran la caracterización de la corteza de intemperismo del sector occidental de las hojas cartográficas de Moa y Palenque desarrollados por Teleguín 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 geológico geomorfológicas.

En 1989 Quintas F., en su tesis doctoral realizó el estudio estratigráfico de Cuba Oriental donde propone las Asociaciones Estructuro Formacionales que constituyen el territorio así como las formaciones que lo integran, realizando la reconstrucción del cretácico al paleógeno, intervalo cronológico de mayor complejidad para la geología de la región oriental.

En 1990 se concluye el levantamiento geológico a escala 1:50 000 en el polígono CAME Guantánamo por especialistas cubanos y húngaros, el cual constituye uno de los trabajos más integrales que sobre la geología de la región se hayan realizado, al abordar todas las vertientes del trabajo geológico con un gran volumen de información textual y gráfica. La edad del emplazamiento tectónico de estos macizos se considera entre el Cretácico Superior (Campaniano) y el Paleoceno Inferior, según las evidencias estratigráficas de los cabalgamientos asociados a las ofiolitas. El macizo Nipe-Cristal está constituido principalmente por rocas del complejo tectonizado y en menor grado, también, del complejo cumulativo máfico y de la zona de transición entre ambos.

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

En el territorio de Cuba Oriental, los macizos de Sierra de Nipe-Cristal y Moa-Baracoa constituyen la mayor parte del segmento oriental del cinturón ofiolítico cubano, siendo considerados porciones alóctonas de corteza oceánica con una extensión de 170 km, un ancho de 10-12 km, aproximadamente 1 000 m de espesor promedio y con una superficie total de 2 700 km² (PROENZA J, et. al., 1998). Los yacimientos minerales de menas residuales de níquel desarrolladas sobre litologías ultramáficas y máficas del complejo ofiolítico, constituyen las principales reservas de menas de hierro, níquel y cobalto en Cuba. Las menas lateríticas residuales se formaron durante el proceso de laterización de las ultramafitas serpentinizadas, como consecuencia de la combinación de factores climáticos, litológicos, estructurales, geomorfológicos; los que originaron potentes cortezas de intemperismo, las cuales poseen horizontes o capas, que difieren entre si desde el punto de vista químico y mineralógico, entre otros parámetros.

Corteza de Intemperismo

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

Tipos de cortezas de intemperismo

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

Lateritas

Later, ladrillo en latín, suelo rojo residual que se desarrolla en regiones tropicales y subtropicales con buen drenaje. La sílice y el magnesio se lixivian, conteniendo concentraciones importante de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, además de manganeso, níquel, cromo y cobalto. Fue estudiado inicialmente por Buchanan (1907) con rocas basálticas alteradas de la india. Es el producto residual de la descomposición de las rocas silicatasferromagnesiales, principalmente, figura 3.



Figura 3. Fotos de corteza lateríticas. A la izquierda foto del área de estudio.

Arcillas

Es una roca o fragmento mineral o detrimento, frecuentemente cristalino, de grano fino, con diámetro menor de 4 micrones o 0,00016 pulgadas, puede mostrar propiedades coloidales, sedimento natural, terroso, muy fino, roca blanda compuesta por partículas finas a coloidales de minerales arcillosos, con alta plasticidad; puede tener cuarzo, feldespatos, carbonatos, material ferruginoso. Una arcilla debe poseer más del 50 % de partículas arcillosas, caolinita, dickita, y nacrita, Twenhofel (1937), figura 4.



Figura 4. Foto de corteza caolinítica.

Bauxita

Roca compuesta por óxidos e hidróxidos de aluminio y material amorfo arcilloso de alúmina hidratada. De color grisáceo, blanco, marrón, amarillo o pardorrojizo. Formado por gibbsita, principalmente, boehmita y diáspora; puede tener sílice libre, hidróxidos de hierro, minerales arcillosos. Es una laterita con alto contenido de aluminio.

Se pueden presentar según concreciones, terrosa, pisolítica o compacta. Es la principal fuente comercial de AL. Debe su nombre a la localidad francesa de Les Baux de provence, cerca de Arless, sur de Francia, figura 5.

Bauxitas



Figura 5. Foto de la Bauxita.

El Proceso de Lateritización

Una de las fases fundamentales del escenario geomorfológico en la superficie de la Tierra es la destrucción y descomposición de las rocas por los procesos del intemperismo. El 14 % de la superficie terrestre experimenta el intemperismo físico o mecánico y el 86 % está afectada por los procesos químicos (Pedro, 1968). El intemperismo implica una fuerte dependencia de los procesos asociados con la hidrosfera, atmósfera y biosfera (White and Brantley, 1995), ya que la cristalización y disolución de los minerales a partir de las soluciones acuosas son los procesos principales en la cinética de este fenómeno. De acuerdo con Ollier (1975), el intemperismo es “la destrucción y alteración de minerales y rocas cerca de la superficie de la tierra dando lugar a productos más estables en las nuevas condiciones físico-químicas”.

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

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

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

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

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

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

TABLA 1. FACTORES DETERMINANTES DE LA PROFUNDIDAD DEL INTEMPERISMO (THOMAS, 1974)	
Factores climáticos	Temperatura: el aumento de ésta incrementa la velocidad de las reacciones químicas endotérmicas. Precipitación: el agua constituye el agente principal del proceso de intemperismo.
Factores bióticos	Cubierta vegetal: una cubierta densa protege a la superficie de los procesos de lavado y proporciona los ácidos orgánicos que son capaces de alterar ciertos minerales de las rocas, movilizándolo especialmente el Fe por quelación. Por el contrario, la vegetación de sabana abierta favorece la inmovilización del Fe y propicia el escurrimiento superficial.
Factores geomorfológicos	Estabilidad de la superficie del terreno: la penetración del intemperismo se favorece con una baja velocidad de la denudación donde prevalecen las pendientes suaves. Presencia de paleosuperficies: la estabilidad prolongada de las antiguas superficies permite que se desarrollen perfiles profundos.
Factores locales	Drenaje libre: los lugares hipsométricamente elevados posibilitan el movimiento hacia abajo y la renovación frecuente del agua subterránea, que es esencial para la rápida descomposición de las rocas. Las zonas de captación-recepción: la combinación del incremento de la cantidad de agua en las zonas de convergencia del escurrimiento con un pobre drenaje provoca la formación de cortezas lateríticas poco profundas.
Factores geológicos	Tipo de roca: la presencia de minerales particularmente susceptibles a la alteración, incrementa la velocidad de penetración del intemperismo y puede provocar la desintegración temprana de la roca. Textura de la roca: Las rocas cristalinas de textura gruesa se desintegran más rápidamente que las de textura fina. La textura en las rocas sedimentarias afecta la permeabilidad y la velocidad de la penetración del intemperismo. Fisibilidad de la roca: las fallas, grietas y bordes de granos fracturados facilitan la penetración del intemperismo especialmente en las rocas cristalinas. Alteración hidrotermal: las rocas que han sido sometidas previamente a las distintas formas de la actividad hidrotermal pueden ser más susceptibles al intemperismo.
Factores cronológicos	Cambios climáticos: las variaciones de vegetación y clima alteran con el tiempo el balance de intemperismo y erosión. Las condiciones pluviales en las zonas áridas durante el Terciario y el Pleistoceno han conducido a la presencia de un intemperismo relictico profundo. Cambios tectónicos: las variaciones de la estabilidad cortical afectan la estabilidad de la superficie del terreno y el tiempo disponible para la penetración del intemperismo.

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

La intensidad del intemperismo está determinada por una serie de factores que afectan la velocidad y naturaleza de los procesos. Estos factores se agrupan en dos categorías: intrínsecos y extrínsecos. Los primeros incluyen a los poros, fracturas de las rocas y su mineralogía básicamente. Los extrínsecos comprenden la temperatura, el quimismo de

las soluciones de-terminado básicamente por su índice de acidez, y la hidrodinámica de las soluciones intemperizantes.

La medida de la intensidad del intemperismo puede obtenerse por la relación de alúmina en el material intemperizado con respecto al de la roca fresca. También existe una relación entre la suma de los óxidos de Na y K / sílice del horizonte intemperizado con respecto al del material original, que se denomina factor de lixiviación (Birkeland, 1974).

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

Esta biota alcanza valores considerables de hasta 89 kg por cm de espesor del suelo, pero esta cantidad así como su composición varían en función del clima, uso del suelo, adición de fertilizantes y materia orgánica, y otros factores. Los diferentes grupos en la microflora utilizan para su nutrición los compuestos de C y N de las plantas y animales muertos, y al hacerlo producen humus. También utilizan el O₂ del suelo e incrementan su contenido en CO₂.

Los principales procesos biológicos (Barker et al., 1997) que incrementan el intemperismo de los minerales son:

- a) El crecimiento de las raíces y la acción de los hongos producen la desintegración física de los minerales, exponiendo nuevas superficies frescas a la acción de los agentes del intemperismo.
- b) La estabilización del suelo incrementa la re-tención del agua, lo que favorece la ocurrencia de las reacciones del intemperismo.
- c) La producción de ácidos, en primer término el ácido carbónico a partir del CO₂, así como también otros ácidos orgánicos e inorgánicos, acelera la velocidad del intemperismo.

d) Los ligandos orgánicos atacan directamente la superficie de los minerales o forman complejos con iones en solución, cambiando el estado de saturación.

e) Los polímeros extracelulares complejos moderan el potencial de agua, mantienen los canales de difusión, actúan como ligandos o quelatos y sirven como puntos de nucleamiento para la formación de minerales autógenos.

f) La absorción, primeramente de K, Fe y P, disminuye el estado de saturación de la solución y favorece el intemperismo.

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

Clasificación litológica de los perfiles lateríticos en Cuba

La clasificación de tipos litológicos de perfiles de intemperismo, aplicada actualmente en Cuba (Lavaut, 1998), agrupa los perfiles primeramente en tres grandes familias que se subdividen entre ellas en ocho dominios, a saber:

a) Perfiles lateríticos, con cuatro tipos de perfiles litológicos: 1) inestructural completo; 2) inestructural incompleto; 3) estructural completo, y 4) estructural incompleto;

b) Perfiles laterítico-saprolíticos, con dos tipos de perfiles: 5) estructural completo, y 6) estructural incompleto;

c) Perfiles saprolíticos, con dos tipos de perfiles: 7) estructural completo, y 8) estructural incompleto.

En Cuba, el 60 % de las reservas de menas Fe-Ni-Co se relacionan con el tipo de perfil litológico laterítico-saprolítico, y el 35 % con el perfil litológico laterítico.

La descripción concisa de las zonas litológicas de la clasificación cubana (Lavaut, 1987) se expone a continuación, con los términos equivalentes más apropiados (entre paréntesis y en cursivas) del ámbito anglo-francés:

1. Zona de ocre inestructurales con concreciones ferruginosas: Se caracteriza por una gran abundancia (usualmente 30-70 %) de globulaciones goethítico-hematíticas que no conservan los rasgos de la fábrica estructural de la roca madre; su cantidad y tamaño disminuyen con la profundidad hasta 0,5-1 mm de diámetro, y adquieren una forma prácticamente esférica hasta desaparecer en la masa ocrea inestructural de la base de esta capa.

En algunos lugares se observa la cementación de las concreciones ferruginosas, formando bloques o pseudoestratos con tabiques ferruginosos de unión entre ellos en cortezas típicas de ultramafitas, lo que testimonia su génesis infiltrativa por removilización parcial del hierro en medios superficiales con pH ácidos.

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 2 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

yPinares 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 2. 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	-
Esmectitas	-	-	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 (clinochloro, 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 cristaloquímicas 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.

Sobre la terminología de los perfiles y zonas de la corteza de intemperismo laterítica

Existe una gran diversidad de criterios y términos para la clasificación de la zonalidad y perfiles de la corteza de intemperismo. Basta decir que sólo la definición del término laterita ha mantenido una controversia que se dilata ya a más de ciento cincuenta años, a pesar de que es indispensable para una correcta clasificación de los productos del intemperismo definir como laterita a los productos del intenso intemperismo, compuestos principalmente por hierro (no inferior a 35-40 %) y aluminio, los cuales forman óxidos e hidróxidos.

Estos criterios y términos adolecen que engloban más de un tipo de litología en una misma zona litológica o bien desmiembran las zonas litológicas naturales en

subconjuntos amarrados a determinados intereses particulares (aplicación de criterios composicionales, como el quimismo o la mineralogía o según un fin práctico determinado, tal como la estimación del peso volumétrico, subdivisión por color, granulometría, textura, etc.). Esto conduce a la pérdida de información geológica, lo cual obstaculiza las interpretaciones y deducciones geólogo-genéticas, así como la captación y representación de la información geológica en su estado natural.

Así, son conocidos los criterios siguientes sobre la zonalidad vertical de las cortezas de intemperismo, definida según la profundidad (de arriba hacia abajo).

a) División del corte en tres zonas litológicas: laterita, saprolita y roca madre, con diversas denominaciones y subdivisiones (Buchanan, 1907; Webber, 1972; Trescases, 1975, 1986; Tardy, 1992; Golightly, 1981; Nahon et al., 1992 y otros de las escuelas inglesa y francesa).

b) División del corte en cuatro zonas litológicas: Ocre inestructural, ocre estructural, serpentinita lixiviada nontronitizada y serpentinita desintegrada (Smirnov, 1982, y otros de la ex Unión Soviética).

c) División introducida por geólogos norteamericanos en las minas cubanas, que establece en el corte 12 litotipos: hierro A, hierro B, hierro C, hierro D, hierro E, hierro F, hierro G, serpentina A, serpentina B, serpentina C, serpentina D, serpentina E (Lavaut, com.pers., 2002).

d) División del corte en cuatro zonas geo-químicas: hidrólisis final, hidrólisis parcial y lixiviación final; hidratación e hidrólisis inicial; hidratación inicial y lixiviación de la roca madre por grietas (Nikitina y otros, 1971).

e) División del corte en cuatro zonas mineralógicas: ocre, nontronita, kerolita y desintegración de la roca madre (Nikitina y otros, 1971).

f) División del corte en cinco zonas minera-lógicas: ocre, nontronita, ferrisaponita, kerolita y desintegración de la roca madre (Vitovskaya, 1989).

g) División del corte en seis zonas litológicas: zona de ocre inestructurales con concreciones ferruginosas (OICC); zona de ocre inestructurales sin concreciones ferruginosas (OI); zona de ocre estructurales finales (OEF); zona de ocre estructurales iniciales (OEI); zona de rocas madres lixiviadas (RML), y zona de rocas madre agrietadas (RMA) (Lavaut, 1998).

Las denominaciones de los tipos de perfiles de intemperismo se realizan sobre la base de criterios mineralógicos y por criterios litológicos. La clasificación mineralógica (Nikitina y otros, 1971; Vitovskaya, 1982, 1989) establece tres tipos de perfiles:

a) completo: con las cuatro zonas geoquímicas indicadas más arriba (hidrólisis final, hidrólisis parcial y lixiviación final, hidratación, y lixiviación, desintegración);

b) reducido: si le faltan zonas intermedias entre la zona de hidrólisis final y de desintegración de las rocas madre;

c) incompleto: si le faltan las zonas geoquímicas superiores y esto no ha sido consecuencia de la erosión. Por su parte, la clasificación litológica establece tipos de perfiles de intemperismo en dependencia de la cantidad y combinación de las zonas litológicas arriba indicadas, encontradas en un punto dado del terreno, lo cual es asequible a simple vista y favorable para la documentación geológica por cualquier persona versada en la materia (geólogo, edafólogo, geógrafo, agrónomo, y otros).

Mena

Concepto muy empleado en los contenidos de la génesis, prospección, exploración y evaluación económica de los yacimientos minerales sólidos, e inclusive, durante la explotación de los recursos minerales.

Cuando nos referimos al concepto de mena estamos hablando de rocas y minerales de los cuales, a través de tecnologías de beneficio, podemos extraer componentes útiles, bien sea metales (oro, plata, cobre, zinc) o materias primas no metálicas (calizas, azufre, barita, fluorita) de forma tal que su extracción y beneficio resulten económicamente rentables a las empresas mineras y por ende a la economía nacional.

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

1.1 Introducción

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

1.2 Características geográficas del área de estudio

Ubicación geográfica

Como se muestra en la figura 6, el área de estudio se encuentra ubicada en las proximidades de la costa atlántica del nordeste de la región de Moa-Baracoa; en el municipio de Moa. Es una pequeña área que se localiza al Norte el río Cabaña, ubicada en las coordenadas: X693 249.27, Y 223 010.91



Figura 6. Mapa de ubicación del área de estudio

1.3 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, 1989). Para la región se han determinado dos zonas geomorfológicas: llanuras y montañas (Rodríguez, 1998).

Las llanuras fluviales, acumulativas y abrasivo – acumulativas presentan un desarrollo limitado a algunas cuencas fluviales de la zona. Por su parte, la llanura litoral que se dispone como una estrecha franja paralela a la costa, es de tipo acumulativa marina, apareciendo ligeramente diseccionada con alturas que pueden alcanzar hasta los 20 – 25 metros. Hacia la parte sur predominan las montañas bajas y premontañas de cimas aplanadas o ligeramente diseccionadas. El área de emplazamiento del yacimiento se corresponde a la zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas, que conforman la transición gradual de las llanuras fluviales acumulativas y erosivo-acumulativas a las montañas bajas. Esta zona se caracteriza por presentar elevaciones de poca altura que llegan en el área a valores máximos de 182 m (140 para el yacimiento) y cimas aplanadas por los propios procesos denudativos, dentro de los cuales predominan la erosión por arrastre de las aguas superficiales y la meteorización que se hace intensa debido al dinamismo de las aguas subterráneas, aún cuando la conservación del eluvio sólo se hace posible en las cimas aplanadas como en Playa la Vaca, predominando para el resto de la zona suelos redepositados de carácter temporal. En las hondonadas y microcuencas es típica la repetición de capas de perdigones, intercaladas con material arcilloso, lo que evidencia su carácter deluvial.

Para esta zona las pendientes llegan hasta los 12° mientras la disección vertical alcanza 100-150 m/km². Este tipo de relieve en algunos sectores del municipio, como ocurre en las áreas de los yacimientos Playa la Vaca y Zona septentrional, aparece bordeado por llanuras fluviales, y ocupado parcialmente por obras de la actividad socioeconómica.

1.4 Hidrografía

La red hidrográfica en la zona se encuentra bien desarrollada, representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Aserrío, Cabañas, Moa, Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guam, Semillero, El Medio, Cupey, Yamanigüey y parte de su curso del Jiguaní, los que en su mayoría corren de Sur a Norte, desembocando en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles. En general predomina la configuración fluvial de tipo dendrítica, aunque debido al control tectónico del relieve, pueden observarse sectores fluviales con red enrejada. 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.

1.5 Clima

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

temperatura media anual oscila entre 22.26 y 30.5 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los más fríos enero y febrero, siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los meses más secos marzo, julio y agosto.

1.6 Vegetación

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

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

Pluvisilvas: Es la formación vegetal más vigorosa y puede alcanzar hasta 40m de altura. Especies más representativas: Majagual azul, Ocuje colorado, Roble y Yagruma.

Carrascales: Son formaciones de bosques siempre verde o matorrales bajos siempre verde. Alcanzan una altura de 6 y 8 m. Especie más representativa *Jaracanda arbórea*.

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

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

Especies características: Mangle Rojo, Mangle Prieto, Patabán, Yana. Esta formación vegetal resulta extremadamente importante no solo económica y biológicamente sino

desde el punto de vista ecológico ya que funciona como la barrera principal en la interacción de todos los acontecimientos entre los ecosistemas marinos y terrestres

1.7 Economía

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

Además existen otras industrias y empresas relacionadas con la actividad minero metalúrgica tales como: La Empresa Mecánica del Níquel, Las Camariocas (en construcción), la Empresa Constructora y Reparadora de la Industria del Níquel (ECRIN) y el Centro de Proyecto del Níquel (CEPRONIQUEL) y otros organismos de los cuales depende la economía de la región como son: Empresa Geólogo-Minera, la EMA y diferentes instalaciones de apoyo social, tales como: la presa Nuevo Mundo (la más profunda del país), el Tejar de Centeno, y el Combinado Lácteo.

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

1.8 Características geológicas regionales

El sector de estudio se encuentra enmarcado 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 neoa autóctono (Iturralde-Vinent, 1996 a, 1996 b, 1998. En el macizo montañoso Sagua-Moa afloran principalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas y a los arcos de islas volcánicas del Cretácico y el Paleógeno (Cobiella, 1988, 1997, 2000; Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999c). A continuación se hace una breve descripción de las principales unidades estructuro-formacionales mencionadas anteriormente.

Ofiolitas

Estas rocas afloran como una serie de cuerpos alargados en la mitad septentrional de la isla de Cuba lo largo de una franja discontinua de más de 1000 km de largo y hasta 30 km de ancho, entre la localidad de Cajalbana al oeste y Baracoa al este, ocupando una extensión superior a los 6500km² (Figura 7). Desde el piso hasta el techo estos complejos rocosos se encuentran divididos estratigráficamente en las siguientes zonas fundamentales: a) una zona de harzburgitas con textura de tectonitas; b) una zona de harzburgita que contiene principalmente cuerpos de dunitas, peridotitas “impregnadas” (con plagioclasa y clinopiroxeno), sills y diques de gabros y pegmatoidesgabroicos, así como cuerpos de cromititas. Esta zona correspondería a la denominada Zona de Transición de Moho (MTZ-siglas en inglés); c) una zona de gabros, y d) el complejo vulcano-sedimentario. La zona correspondiente al complejo de diques paralelos de diabasas aún no ha sido identificada en este macizo.

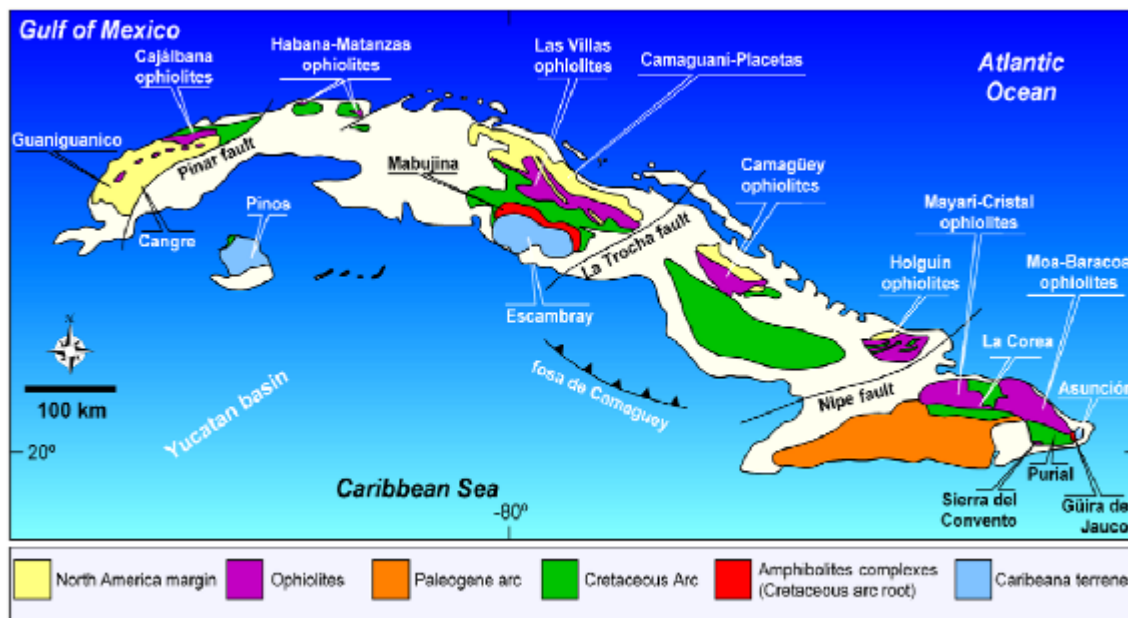


Figura 7. Mapa esquemático que muestra la extensión superficial del Cinturón ofiolítico cubano. (Blanco-Quintero, 2010) en informe preliminar Fase 1, 2011.

El Complejo Peridotítico (tectonitas), se caracteriza por presentar harzburgitas, en menor grado websteritas y lherzolitas, con bolsones aislados de dunitas, todas serpentinizadas

(Iturralde, 1998). La zona de gabros forma grandes cuerpos incluidos en el complejo de tectonitas. Las dimensiones de estos cuerpos oscilan entre 1 y 3 km. de ancho, por 10 a 15 km de longitud (Fonseca, et al., 1985). El contacto entre el complejo de tectonitas y el de gabros es mayoritariamente tectónico.

La parte inferior del complejo de gabros se caracteriza por presentar un marcado bandeamiento, mientras que la parte superior es isótropa. En este macizo también existen numerosos cuerpos de cromititas y sills de gabros, así como diques de gabros y de pegmatoidesgabroicos (Fonseca et al., 1985; Proenza, et al., 1998). Los sills de gabros y las cromititas se localizan en la parte más alta de la secuencia mantélica, en la zona de transición entre las peridotitas con texturas de tectonitas y los gabros bandeados.

El Complejo Transicional (MTZ) se constituye principalmente de harzburgitas, lherzolitas y websteritas con bolsones y bandas duníticas, todas serpentinizadas, a veces con cromititaspodiformes, diques de gabroides y diques aislados de plagiogranitos. En ocasiones se observan complejos de haces entrecruzados de diques sonados de plagioclasitas, gabroides y pegmatitas, impregnando una masa de serpentinitas brechosas, probables representantes de antiguas cámaras magmáticas colapsadas. (Iturralde, 1998).

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

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

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

Arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco)

El arco se compone de depósitos volcánicos que datan desde el Aptiense hasta el Campaniense Medio, estas rocas volcánicas están situadas mediante contacto tectónico bajo las ofiolitas del cinturón septentrional. Según Iturralde Vinent (1994, 1996a), el basamento del arco volcánico es una corteza oceánica de edad pre– Aptiense. Las rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias del arco Cretácico están ampliamente desarrolladas en la región de estudio y representadas por las rocas de las formaciones Quibiján, Téneme, Santo Domingo y el Complejo Cerrajón.

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

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

geoquímica que varía entre toleítas de arco pobres en Ti y boninitas (Proenza et al., 2006).

La Fm. Santo Domingo (Albiense -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. Los materiales de la Fm. Santo Domingo se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas de la Faja Mayarí-Baracoa. Muchas veces los contactos coinciden con zonas que presentan una mezcla de bloques de vulcanitas pertenecientes al arco y de ofiolitas (Iturralde-Vinent, 1996).

El complejo Cerrajón (Aptiense-Turonense) está compuesto por diques subparalelos de diabasas y gabrodiabasas (Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990; Gyarmati y otros, 1997). La actividad volcánica se extendió desde el Aptiense al Campaniense Medio (Iturralde-Vinent, 1996) y ha sido interpretado como el resultado de una subducción intraoceánica.

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. Mícara, La Picota y Gran Tierra. Todas con un gran componente terrígeno, con clastos de la asociación ofiolítica y rocas pertenecientes al arco.

La Fm. Mícará 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 LeyéO'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 (referencia).

La Formación Gran Tierra, se compone de calizas brechosas, conglomerados vulcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas organo-detríticas, areniscas vulcanomícticas con cemento calcáreo, lutitas y tufitas (Cobiella, 1978; Quintas, 1989). En algunas localidades los depósitos Maestrichtiense-Daniense de tipo olistostrómico-flyschoides (formaciones Mícará y La Picota) transicionan a la secuencia del Daniense-Eoceno Superior (formaciones Gran Tierra, Sabaneta, Charco Redondo y San Luis) (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella, 2000). La formación Gran Tierra es una secuencia terrígeno-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la Sierra Cristal. En las rocas arcillosas y margosas de esta formación se han registrado los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

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

Arco volcánico (Arco volcánico terciario)

Entre el Paleoceno y el Eoceno Medio-Inferior, se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla, y en nuestra zona se considera como materiales distales del vulcanismo paleogénico. Estas secuencias están compuestas por tobos vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, lutitas, margas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos 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 Mícaro y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas Cretácicas (Nagy y otros, 1983). Esta formación aflora en los flancos septentrional y meridional de la Sierra Cristal, en la cuenca de Sagua de Tánamo, en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey.

Cuencas Postvolcánicas

Estas cuencas desarrolladas hasta el Eoceno Superior están formadas en sus inicios por rocas carbonatadas de mares profundos, las que van transicionando a rocas terrígenas. Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por las formaciones Puerto Boniato, Charco Redondo, Sagua, Sierra de Capiro, Cilindro, Mucaral, y Maquey.

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

La Fm. Sagua está compuesta por margas y calizas (Albear y otros, 1988; Quintas, 1989, 1996).

La Fm. Charco Redondo (Eoceno Medio) está compuesta por calizas compactas organodetríticas, fosilíferas, de color variable. En la parte inferior del corte son frecuentes

las brechas. En esta parte predomina la estratificación gruesa, mientras que en la superior la fina (Cobiella, 1978; Quintas, 1989,1996; Gyarmati y LeyéO'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 LeyéO'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 areníticapolimíctica, conteniendo carbonato (Quintas, 1989; Gyarmati y LeyéO'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 LeyéO'Conor, 1990).

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

Neoautóctono

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

La Fm. Cabacú (Oligoceno Medio-Mioceno Inferior) está compuesta por gravelitas, areniscas y lutitas polimícticas (proveniente principalmente de ultramafitas y vulcanitas) de cemento débilmente arcilloso-calcáreo y a veces algunos lentes de margas arcillosas en la parte inferior (Nagy y otros, 1976; Quintas, 1989; Gyarmati y LeyéO'Connor, 1990).

La Fm. Yateras (Mioceno Inferior) se compone de alternancia de calizas biodetríticas y detríticas y calizas biogénicas de granos finos a gruesos, duras, de porosidad variable y a veces aporcelanadas (Iturralde-Vinent, 1976; Nagy y otros, 1976; Cobiella, 1978; Gyarmati y LeyéO'Connor, 1990; Manso, 1995; Crespo, 1996).

La Fm. Jagüeyes (Mioceno Medio Temprano) se compone de lutitas, areniscas, gravelitas polimícticas de matriz arenácea y arcillosa, con escaso cemento carbonático y margas arcillosas y arenáceas. Esta formación, se caracteriza por ser fosilífera, en la cual alternan calizas biodetríticas, biohémicas, calcarenitas y arcillas. Las arcillas y lutitas, pueden ser yesíferas (Nagy y otros, 1976; Albear y otros, 1988; Manso, 1995).

La Fm. Júcaro (Mioceno Superior-Plioceno) está compuesta por calizas generalmente arcillosas, calcarenitas, margas, lutitas, a veces con gravas polimícticas y arcillas yesíferas (Nagy y otros, 1976; Gyarmati y LeyéO'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 recrystalizadas, las calizas

frecuentemente están dolomitizadas. El contenido de arcillas, es muy variable (Nagy y otros, 1976; Gyarmati y LeyéO'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 LeyéO'Connor, 1990).

Tectónica regional

Desde el punto de vista tectónico, el área analizada se ubica dentro del denominado Bloque Oriental Cubano, el mismo constituye el más oriental de los tres grandes bloques tectónicos en que ha sido subdividida la estructura geológica del territorio cubano (Meyerhoff y Hatten, 1968). Sus límites se encuentran definidos por los siguientes sistemas de fallas regionales:

- Sistema de fallas Cauto-Nipe.
- Sistema de fallas rumbo-deslizantes Bartlett-Caimán.
- Falla de sobrecorrimiento Sabana.

El Bloque Oriental Cubano se encuentra muy cerca del límite de contacto entre las placas norteamericana y Caribe (Figura 8), lo cual lo hace muy vulnerable a los movimientos sísmicos.

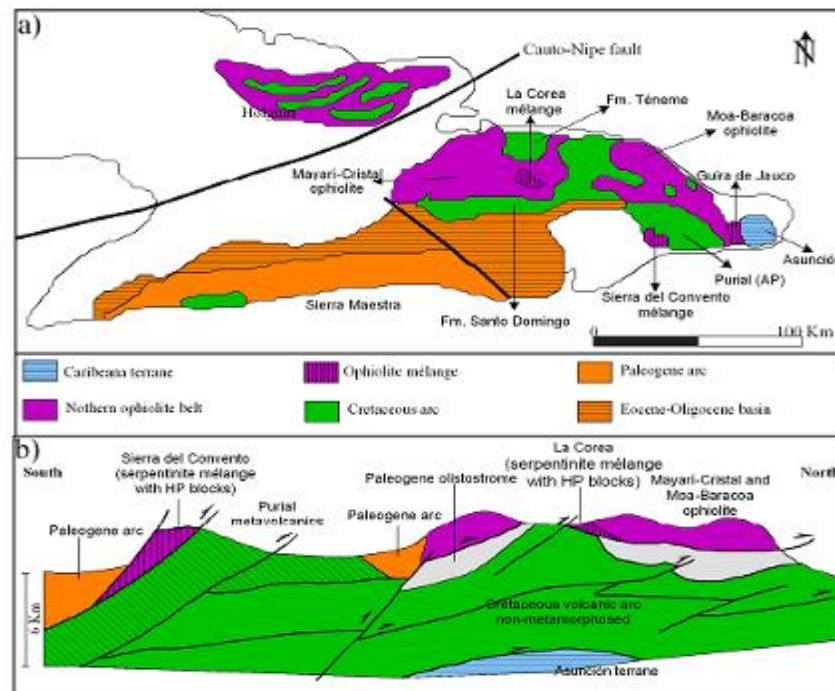


Figura 8. Foto del mapa geológico esquemático que muestra las principales unidades geológicas, **b)** perfil esquemático generalizado del Oriente de Cuba (después de Iturralde-Vinent, 1998) mostrando las relaciones entre los principales complejos geológicos en la región.

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 (Campos, 1983, 1990), también se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983, 1990). En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste-suroeste; noroeste-sureste y norte-sur, esta última, característica para las vulcanitas de la parte central del área. Las deformaciones más complejas, se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos, 1983, 1990). A fines del Campaniano Superior – Maestrichtiano ocurre la extinción del Arco Volcánico Cretácico

Cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico, según un sistema de escamas de sobrecorrimientos con mantos tectónicos altamente dislocados, de espesor variable y composición heterogénea. Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas. En las rocas Paleogénicas y Eocénicas la dirección de plegamiento es este-oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinal u horizontal (Campos, 1983, 1990).

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

1.9 Geología del área de estudio

En toda el área que ocupa el yacimiento zona Septentrional afloran las rocas del complejo ofiolítico, predominando las rocas ultrabásicas serpentinizadas, aun cuando hacia el extremo noroeste afloran rocas básicas, presentando contactos alineados, presumiblemente tectónico con las rocas serpentínicas. Como se observa en la figura 9, se muestran las serpentinitas pertenecientes a la asociación ofiolítica, que limitan al noroeste con los gabros, con poca aflorabilidad en el área de estudio, hacia el noreste con la edad cuaternario (Holoceno) aparecen los sedimentos fluviales representados por cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial. Hacia el norte son cubiertas por depósitos palustres de edad Cuaternario (Holoceno) asociados al borde costero y representado por sedimentos no consolidados, friables y fragmentarios como aleurolitas calcáreas y organodetríticas, arena margosa y arcillosa a

veces con gravas pequeñas de color castaño grisáceo. La intensa meteorización de las rocas presentes bajo condiciones de altas temperaturas y humedad ha dado origen a una corteza de intemperismo del tipo laterítica muy rica en óxidos de Hierro y Aluminio, con espesores variables, compuesta por suelos eluviales y deluviales generalmente de granulometría fina. Sobre las serpentinitas y peridotitas de base aparecen los sedimentos de la corteza de intemperismo o cobertura, formados por suelos lateríticos finos y gruesos con densidades y consistencias variables compuestos por arcillas, arcillas limosas, arcillas limo arenosas, arenas arcillosas, gravas areno arcillosas entre otras.

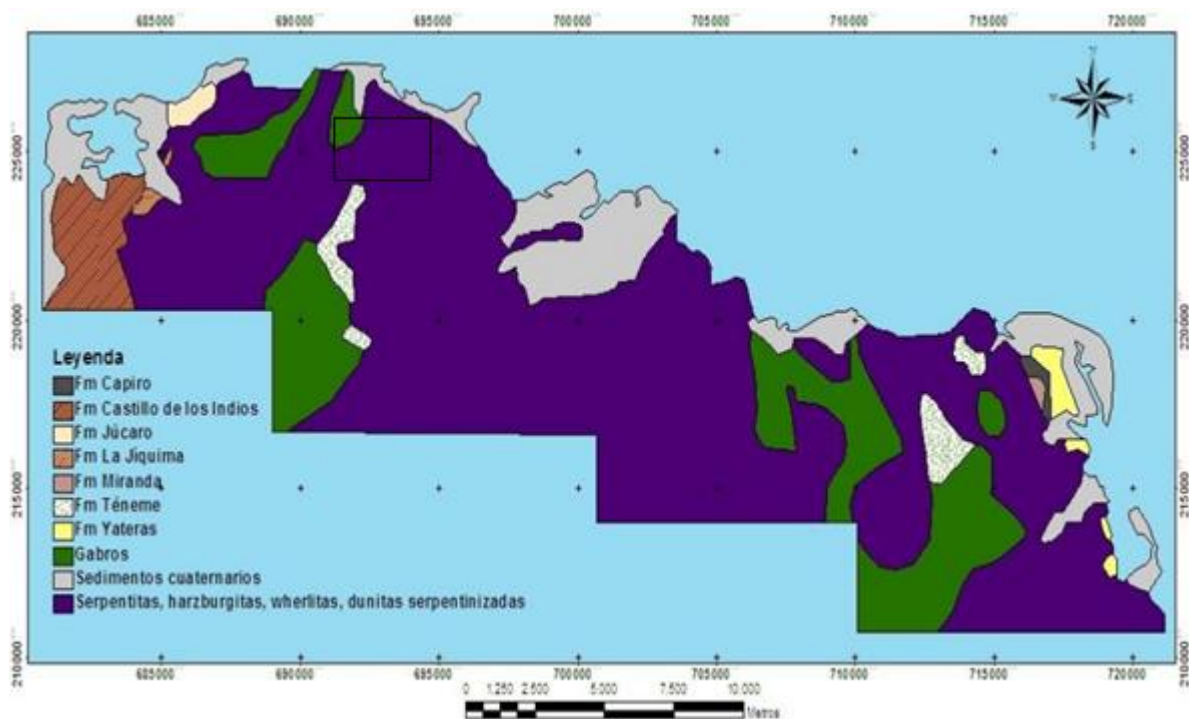


Figura9. Mapa Geológico. Escala 1: 50 000 (Modificado de Rodríguez, A. 1998 a)

1.10 Tectónica

Las principales estructuras que afectan las rocas del yacimiento son fracturas y fallas de dirección noreste, de forma subordinada noroeste, el extremo sureste es atravesado por la falla Cabaña, a la cual se encuentra asociada la mineralización hipergénica de

composición silicatada típica del Río Cabaña y que determina las elevadas concentraciones de sílice en la corteza de intemperismo desarrollada sobre las rocas ultrabásicas. Al sur de Zona Septentrional se ubica también la falla transcurrente Cananova.

Falla cananova:

Presenta un rumbo NW-SE cartografiada a escala 1:25 000 desde la bahía de Yaguaneque hasta el poblado de Jucaral, presentando un rumbo predominante N 53° W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras sudmeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta. Según el análisis de los métodos aplicados se pudo determinar que a través de la falla cananova ocurre un desplazamiento horizontal máximo de 1500 m hacia el noroeste del bloque norte con respecto al sur y un movimiento rotacional izquierdo –antihorario- calculado en un valor medio de cuarenta grado de ese bloque norte. Hacia el sudeste los criterios de falla en superficie se pierden bruscamente al penetrar esta la meseta serpentinitica de potentes espesores de corteza que constituye el yacimiento Moa, ver figura 7.

Falla Cabañas:

Se extiende desde el extremo centro occidental del área al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta en norte de la ciudad de Moa, cortando barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Callo Moa Grande. En su parte meridional presenta una orientación de N70°E hasta la zona de Zambumbia, donde es truncada por un sistema de falla sudmeridionales aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado, donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova, tomando una orientación de N70°E la cual se mantiene hasta penetrar el Océano Atlántico.

Rodríguez, (1998b) plantea que desde el punto de vista tectónico la región de Moa en general y el área de estudio en particular es muy compleja, perteneciendo al sud-bloque morfoestructónico norte perteneciente al Bloque Cabaña, ver figura 10.

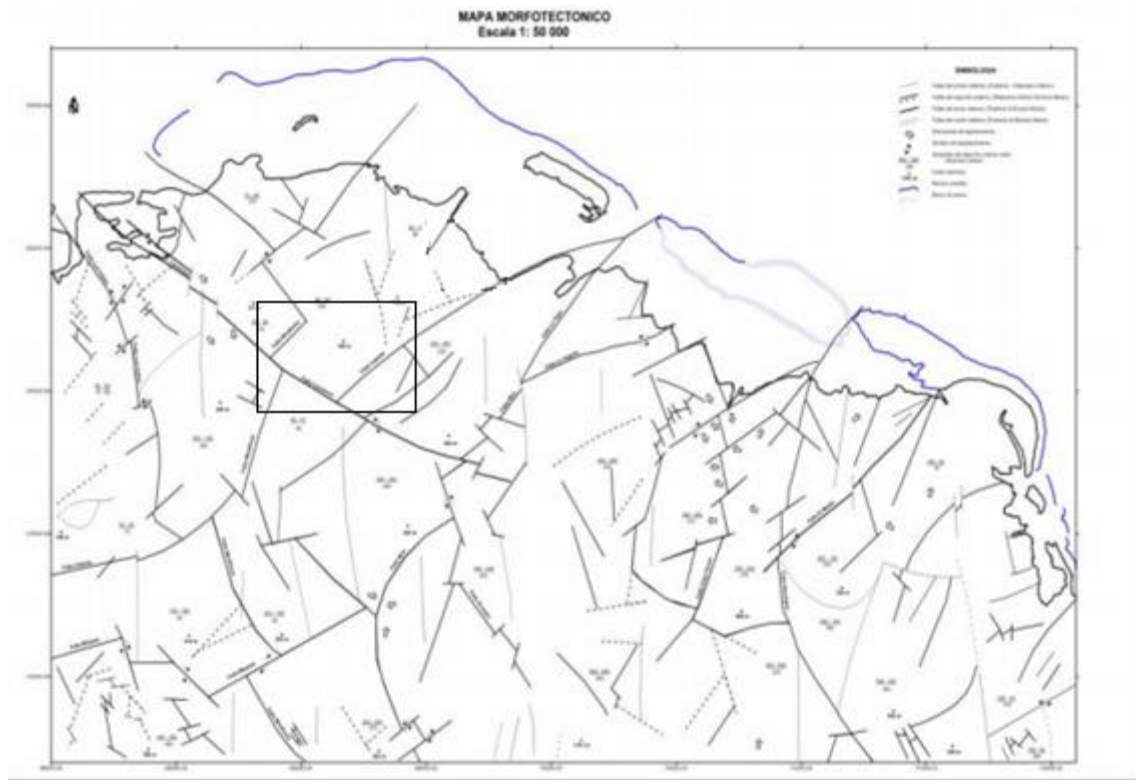


Figura10. Mapa morfotectónico (Modificado de Rodríguez. A)

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación, según las etapas principales. Se parte de la revisión de la información de los trabajos precedentes donde se adquiere la información base. Se describe el método y procedimiento utilizado para la caracterización geoquímica de los componentes principales y nocivos; y así valorar el comportamiento geoquímico de los mismos en el Yacimiento Zona Septentrional.

La investigación en el área del yacimiento zona septentrional, se realizó en cuatro etapas fundamentales (ver Figura 11).

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

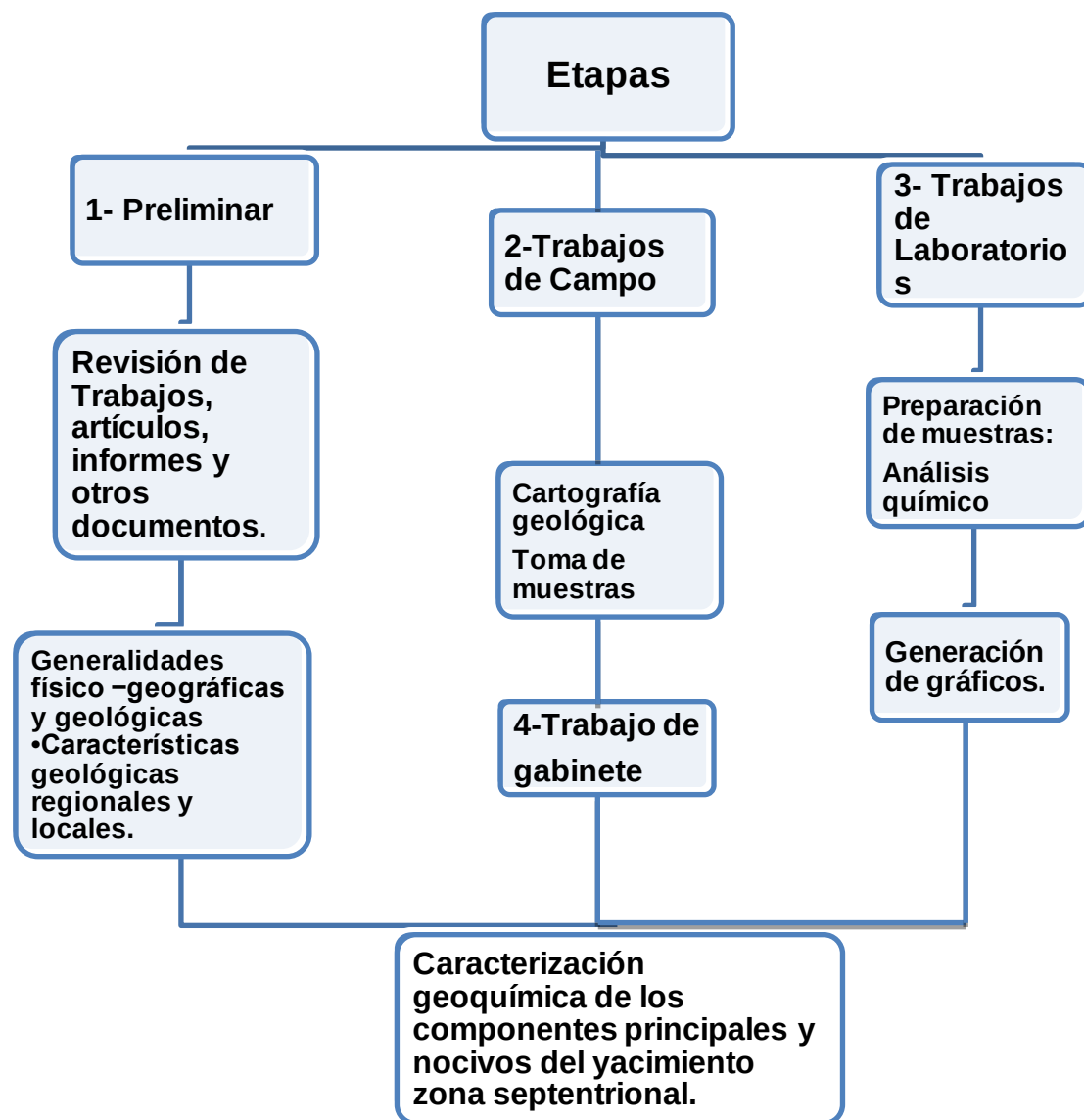


Figura 11.Organigrama que resume la metodología de la investigación.

2.2 Etapa 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 zona septentrional. Luego de haber desarrollado la búsqueda bibliográfica de dicha información, se comenzó a procesar e interpretar los datos obtenidos previamente para

posteriormente ser llevados a formato digital como parte de la memoria escrita del trabajo y también como documentos gráficos incluidos.

2.3 Trabajos de campo

El trabajo de campo se desarrolló en varias campañas de corta duración, donde se pudo observar afloramientos en la zona de estudio, los itinerarios geológicos realizados durante el período de levantamiento fueron ejecutados según las redes de perforación 33,33 m x 33,33 m con el objetivo de documentar afloramientos y tomar muestras de las litologías principales que afloran en el área de estudio. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de Santiago de Cuba para hacerles análisis químicos.

2.4 Trabajos de laboratorio

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 embazadas 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), ver figura 12 y 13. Fueron tomadas un total de 12 255 muestras entre los pozos pretéritos y los gemelos del 2011 y luego se enviaron un total de 12 255 muestra para el análisis químico realizado.



Figura 12. Fundición de las muestras para análisis químico en el laboratorio “Elio Trincado” de Santiago de Cuba.



Figura 13. 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.

2.5 Etapa 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, Al, Cr y SiO₂ 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 Software para generar los mapas; los programas Microsoft Access 2010, Microsoft Excel 2010 y Surfer 11 para la confección de los mapas de isocontenidos. 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.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

3.1 Introducción

En el presente capítulo se exponen los resultados de la investigación, en la cual se realiza la caracterización geoquímica de los componentes principales y nocivos de los diferentes horizontes de la corteza laterítica, a través de los mapas de isocontenidos elaborados con los valores promedios de los elementos principales y nocivos en los gemelos y pretéritos del yacimiento Zona Septentrional, 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. Ver figura 14.

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

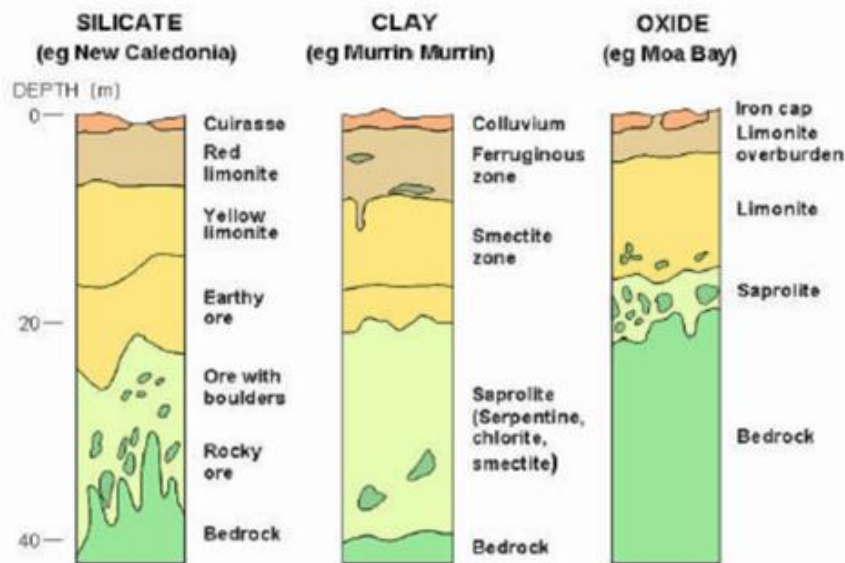


Figura14. Principales tipos de perfiles lateríticos. (Tomado de José N - Muñoz, 2004).

3.2 Análisis geoquímico de la zona de escombros

3.2.1 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 0,05 % hasta 0,95 %. Se puede apreciar el predominio de contenidos de níquel que oscilan entre 0,45 % y 0,65 %. La distribución de los mayores valores de níquel se distribuyen de forma irregular y diseminada en todo el yacimiento para este horizonte y llegan a alcanzar hasta un 0,95 % de este elemento químico. En este horizonte el Níquel se comporta normalmente y la parte noroeste del área de estudio se encuentra más desarrollada la corteza laterítica. Ver anexo 1.

Cobalto

Los contenidos de cobalto varían desde valores de 0,01 % hasta 0,25 %. Hay predominio de valores muy bajos de cobalto en todo el horizonte del yacimiento, que oscilan entre 0,05 % y 0,09 %, el cual aparece bordeando los cuerpos de menor concentración representados por los contenidos de 0,01 % hasta 0,05 % de Co, las mayores concentraciones se encuentran diseminadas en el yacimiento que alcanzan hasta un 0,13 % del elemento. Los valores de cobalto en el horizonte de escombros son muy pobres, ver anexo 2.

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 39 % hasta 47 % en la parte noroeste del yacimiento. Los mayores contenidos de hierro llegan a alcanzar valores superiores de 51 % en la parte NE y SE del yacimiento, los menores de contenido para este elemento químico se manifiestan de forma dispersa en el horizonte, las concentraciones del hierro son muy altas por lo que tiene valor industrial, ver anexo 3.

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

Sílice

La sílice varía desde 2 % hasta 26 %, predominando el contenido de la sílice entre 5 % a 11 % en el yacimiento. Los bajos contenidos de sílice hasta un 6 % se distribuyen por todo el yacimiento. Los valores superiores a 11 % se manifiestan en la parte SE y oriental del yacimiento alcanzando valores muy puntuales de hasta 17 % y en la parte norte que llega a alcanzar hasta 23 %, El extremo sureste es atravesado por la falla Cabaña, a la cual se encuentra asociada la mineralización hipergénica de composición silicatada típica de Río Cabaña y que determina las elevadas concentraciones de sílice en la corteza de intemperismo desarrollada sobre las rocas ultrabásicas, 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 0,16 % hasta 0,72 %. Predomina el contenido de magnesio de 0,32 % a 0,40 % en toda la parte oriental de yacimiento. En la región central del yacimiento los contenidos de magnesio alcanzan hasta 0,72 %, también en el extremo norte alcanzan contenidos que sobrepasan el 0,72 %. Los valores de magnesio en este horizonte del yacimiento son bajos, donde los valores máximos del elemento se encuentran de manera dispersa en el área de estudio, ver anexo 5.

Aluminio

Los valores de aluminio varían desde 4 % hasta 9 %. Predomina el contenido de aluminio de 6,5 % a 7 %. En la parte central y norte del yacimiento, los contenidos de aluminio varían en el rango de 4 % a 5,5 % que son los valores mínimos del elemento en el horizonte. Los sectores que presentan altos contenidos de aluminio se localizan en el sector central y sureste del yacimiento donde se alcanzan valores para este elemento químico de hasta 9 %, ver anexo 6.

3.2.3 Comportamiento del Cromo (Cr) en el horizonte de escombros (E).

Cromo

En el área de estudio el contenido de cromo varía desde 1,45 % hasta 5,62,47 %. Predominan los contenidos de 1,93 % hasta 2,17 % que ocupa la mayor área del yacimiento. Sin embargo en la parte noroeste y sureste del yacimiento de forma irregular y diseminada se encuentran los más altos contenidos de cromo, que oscilan entre 2,29 % y 2,47 %, los contenidos más bajos del elemento se encuentran al noroeste del yacimiento y varían desde 1,45 % a 1,87 % ver anexo 7.

3.3 Análisis geoquímico de la zona de laterita de balance (LB).

3.3.1 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 2,20 %. En la figura 15 se observan sectores donde los valores sobrepasan el 1 % Ni, llegando a alcanzar valores de hasta 2,20 % Ni. Hay un predominio de valores de 1 % a 1,4 % de Ni distribuido espacialmente por todo el yacimiento.

En la parte central del yacimiento de forma diseminada se alcanzan valores mayores de 2 % de Ni. Los valores de alta concentración se encuentran donde hay corteza de meteorización sobre rocas ultramáficas serpentinizadas. Los contenidos del elemento son buenos para su explotación,

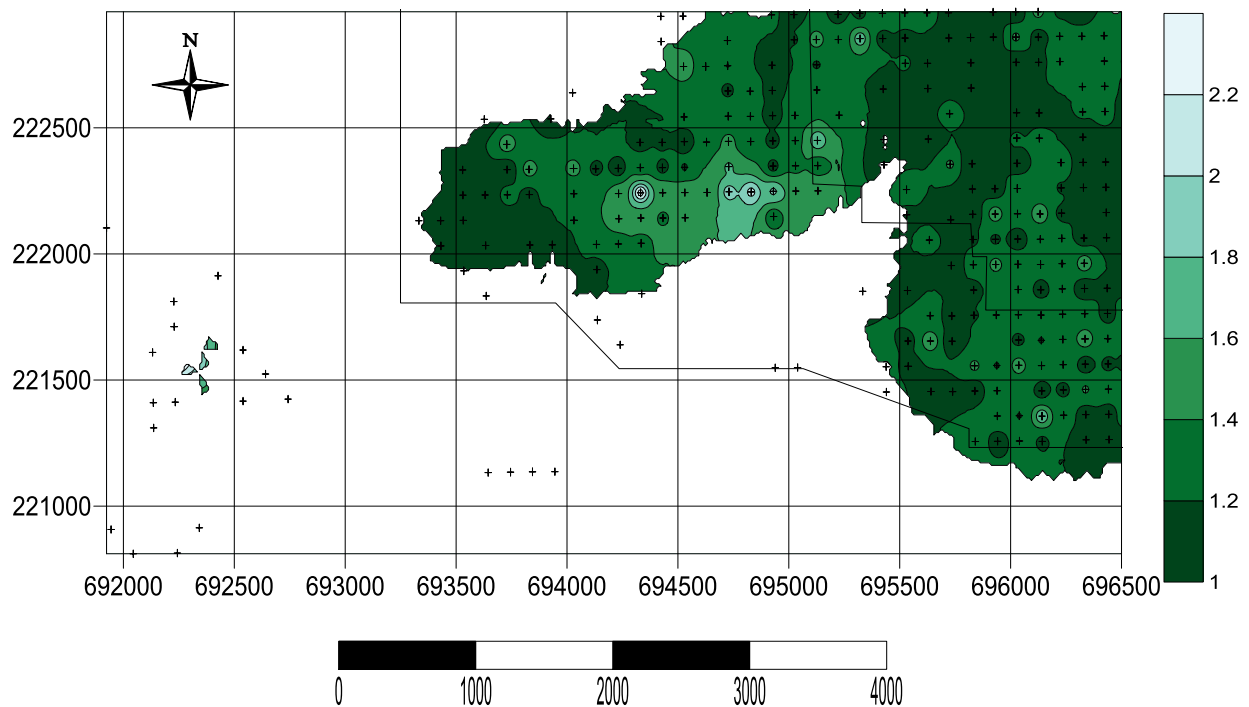


Figura 15. Mapa de contenido de Níquel (Ni) en la Laterita de balance (LB)

Cobalto

Los valores de cobalto en el horizonte de LB en el yacimiento varían desde valores muy cercanos a 0 % hasta 0,40 %. Se puede destacar que la distribución del cobalto en el horizonte de laterita de balance del yacimiento Zona Septentrional es bastante apreciable, donde hay un predominio de valores de 0,1 % a 0,15 %. Es característico para el yacimiento los contenidos de Cobalto, los cuales se deben tener en cuenta como valor agregado de la mena laterítica. Los valores más altos se encuentran dispersos por el yacimiento y llega alcanzar hasta un 0,38 % de Cobalto, ver figura16.

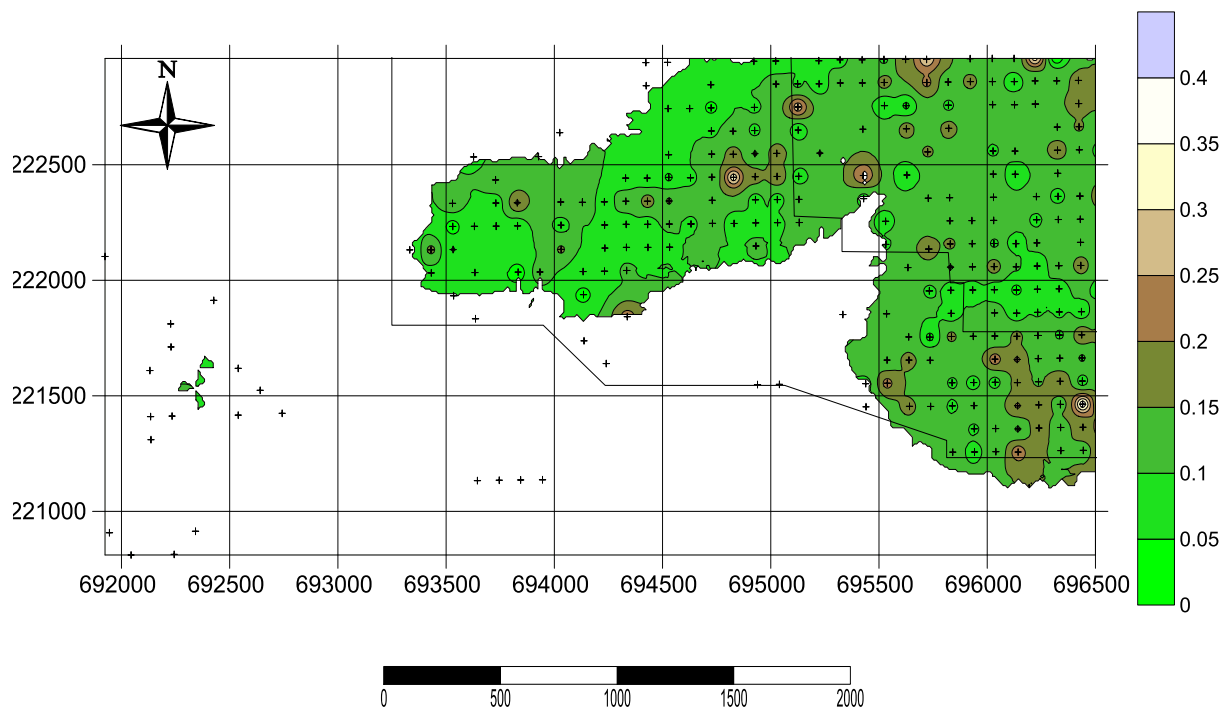


Figura 16. Mapa de contenido de Cobalto (Co) en la Laterita de Balance (LB)

Hierro

En el área de estudio el contenido de hierro en la Laterita de Balance (LB) varía desde 35 % hasta 51 %. Se puede apreciar que los valores de 47% a 51 % Fe están diseminados en la parte sureste y noroeste del yacimiento muy dispersos.

Se observa, además, un predominio del contenido de Fe superior a 39 % hasta un 47 %, distribuido en todo el área, donde alcanza valores de hasta 51 % 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. Los valores mínimos son se encuentran principalmente en la parte central del yacimiento y hacia el noroeste, ver figura17.

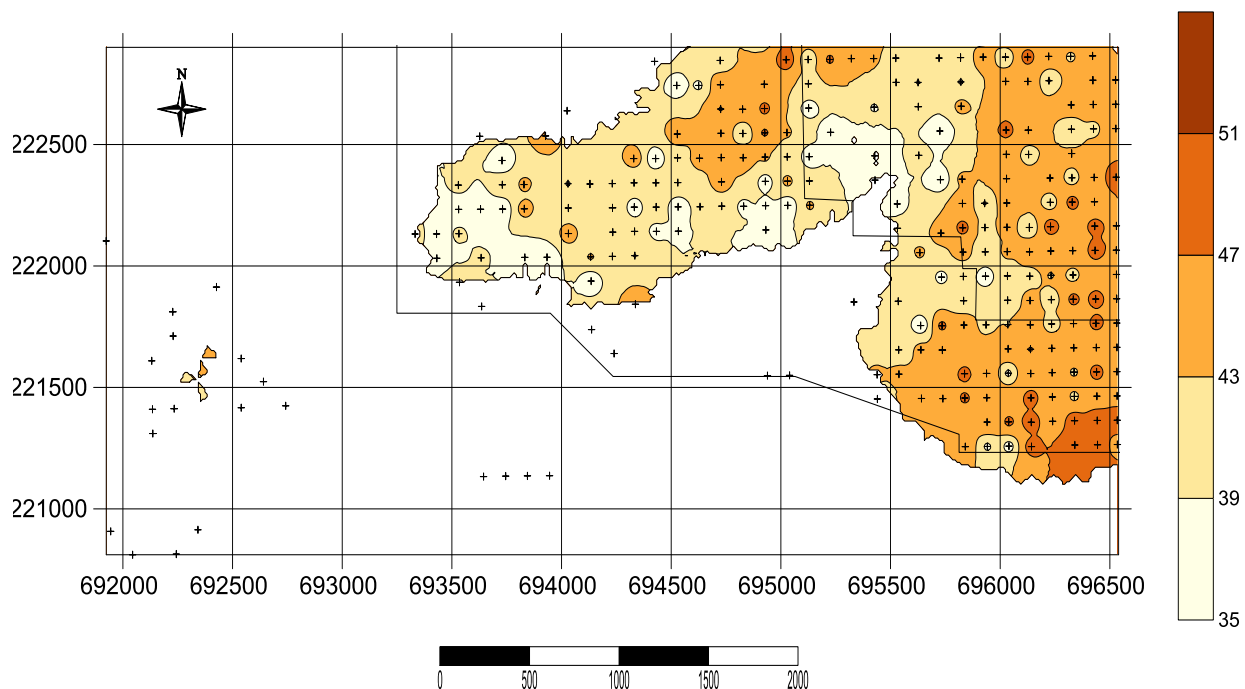


Figura 17. Mapa de Contenido de Hierro (Fe) en la Laterita de Balance (LB)

3.3.2 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 2 % hasta 26 %. En la figura 18 se aprecia la distribución espacial del contenido que oscila entre 2 % y 26 % de (SiO_2). Los sectores que presentan menor contenido de sílice se localizan hacia el sureste (SE), y en la parte noroeste (NW) del yacimiento. Hay un predominio de valores entre 8 % hasta 14 % de forma general en toda el área del yacimiento para este horizonte. Los altos contenidos de sílice se manifiestan en la parte sureste distribuidos de manera irregular y en la zona norte occidental del yacimiento, llegando a alcanzar valores de hasta 26 %, asociado a zonas de sistemas de fallas. Los valores más elevados se encuentran de forma diseminada en el yacimiento. Los valores se mantuvieron estables con respecto al horizonte de escombros y se puede apreciar que los valores más elevados de sílice se manifiestan en la misma parte de yacimiento para

ambos horizontes, con una diferencia que los valores que más predominan en la zona de escombros varían de 5 % a 8 % y en la LB va a ser de 8 % hasta un 14 % de sílice.

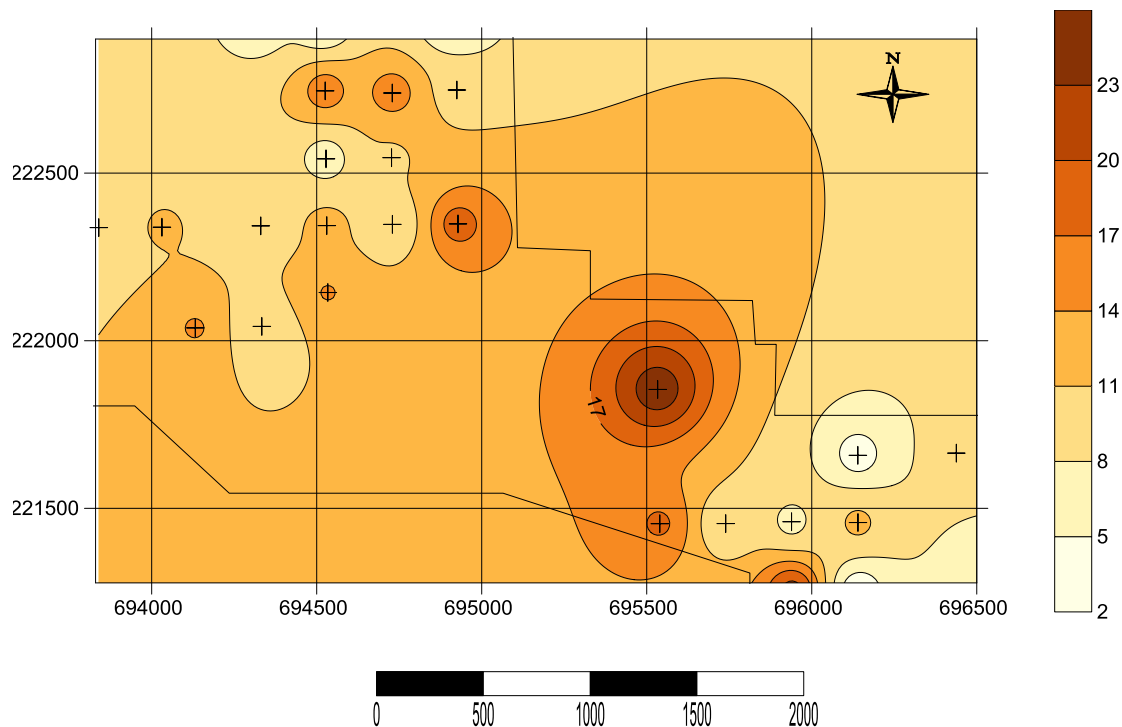


Figura 18. Mapa de contenido de Sílice en la Laterita de Balance (LB)

Magnesio

Los valores de magnesio (Mg) varían desde 0,2 % hasta 6 %. En la figura se aprecia la distribución espacial de magnesio, donde los menores contenidos predominan hacia el sureste (SE) del área.

Hay un predominio de contenidos con valores desde 0,8 % hasta 2 % de Mg, los que aparecen en este horizonte en todo el yacimiento.

Hacia el norte 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. Se puede apreciar de forma dispersa los valores mínimos de magnesio para este horizonte, ver figura 19.

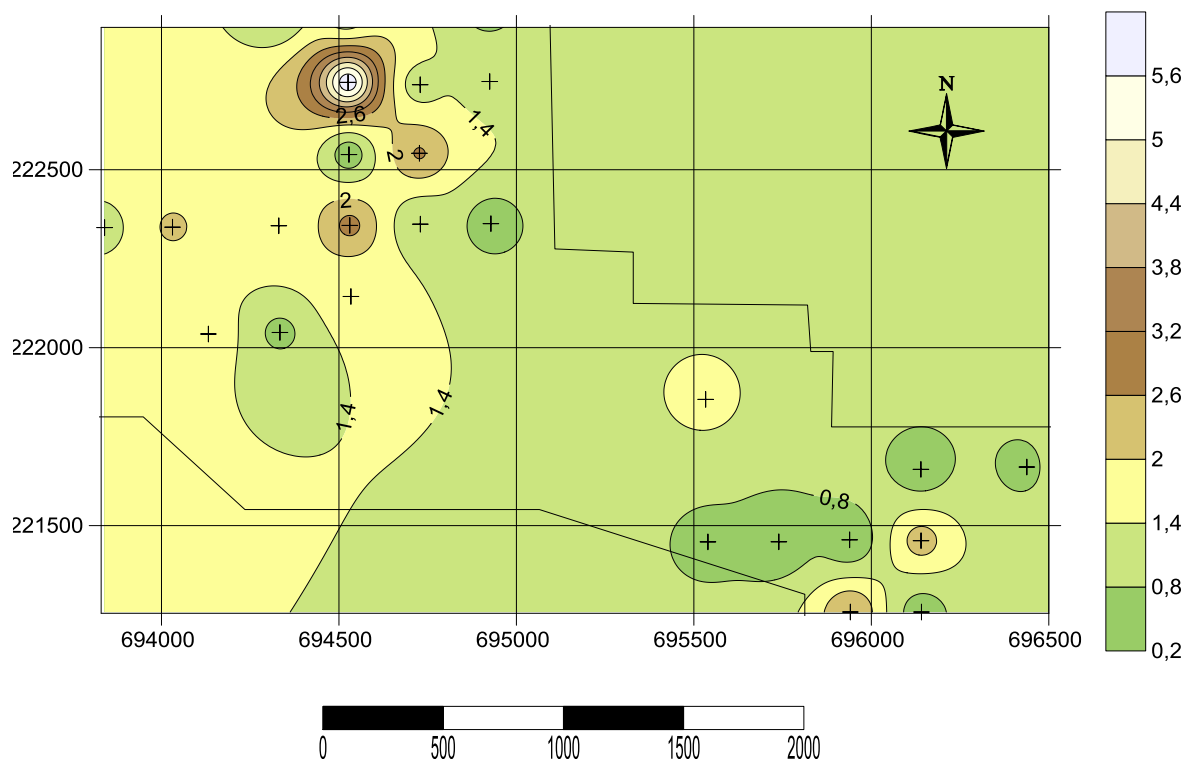


Figura 19. Mapa de contenido de Magnesio en la Laterita de Balance (LB)

Aluminio

Los valores de aluminio (Al) oscilan en el rango de 2,8 % hasta 6,7 % como se observa en la figura donde se puede apreciar el predominio de contenidos que oscilan entre 3,7 % y hasta 4,3 % 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 6,7 % de Al, los cuales se distribuyen hacia la parte central y norte del yacimiento. Los valores mínimos de elemento se encuentran diseminados en el yacimiento, ver figura20.

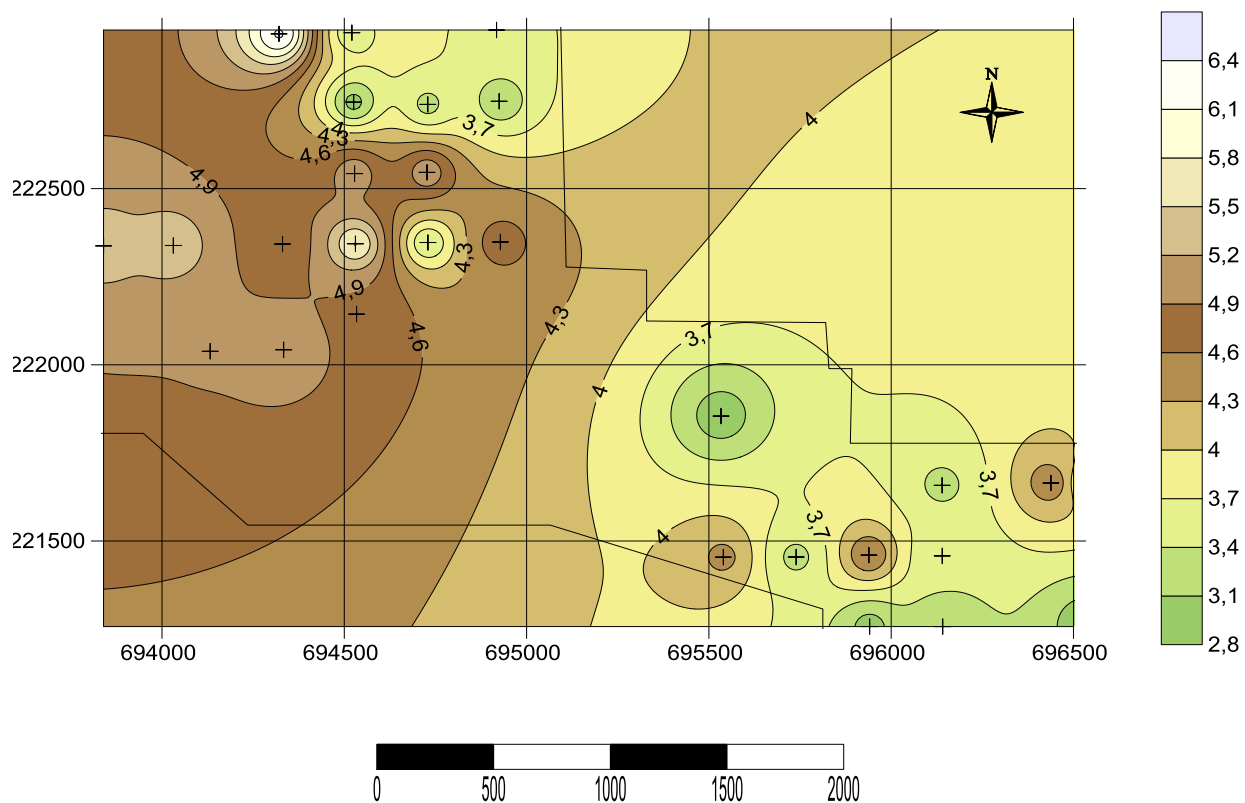


Figura 20. Mapa de contenido de aluminio en la Laterita de Balance (LB)

3.3.3 Comportamiento del Cromo(Cr) en la laterita de balance (LB).

Cromo

Los contenidos de cromo para este horizonte menífero oscilan en el rango de 1,5 % a 2,38 %. Se encuentran sectores con altas concentraciones pero de forma muy diseminada, con la excepción de un área en la zona occidental del yacimiento donde se evidencian los mayores valores de concentración para este elemento químico probablemente asociados a cuerpos de espinelas cromíferas diseminadas (2,38 %) también se puede ver que las mayores concentraciones del elemento para los tres horizontes se manifiestan para la parte occidental del mapa, los valores mínimos del elemento se puede apreciar que se concentran principalmente en la parte sureste (SE) y en menor grado en el noroeste (NW) que oscilan entre los 1,5 % hasta 1,82 %, ver figura 21.

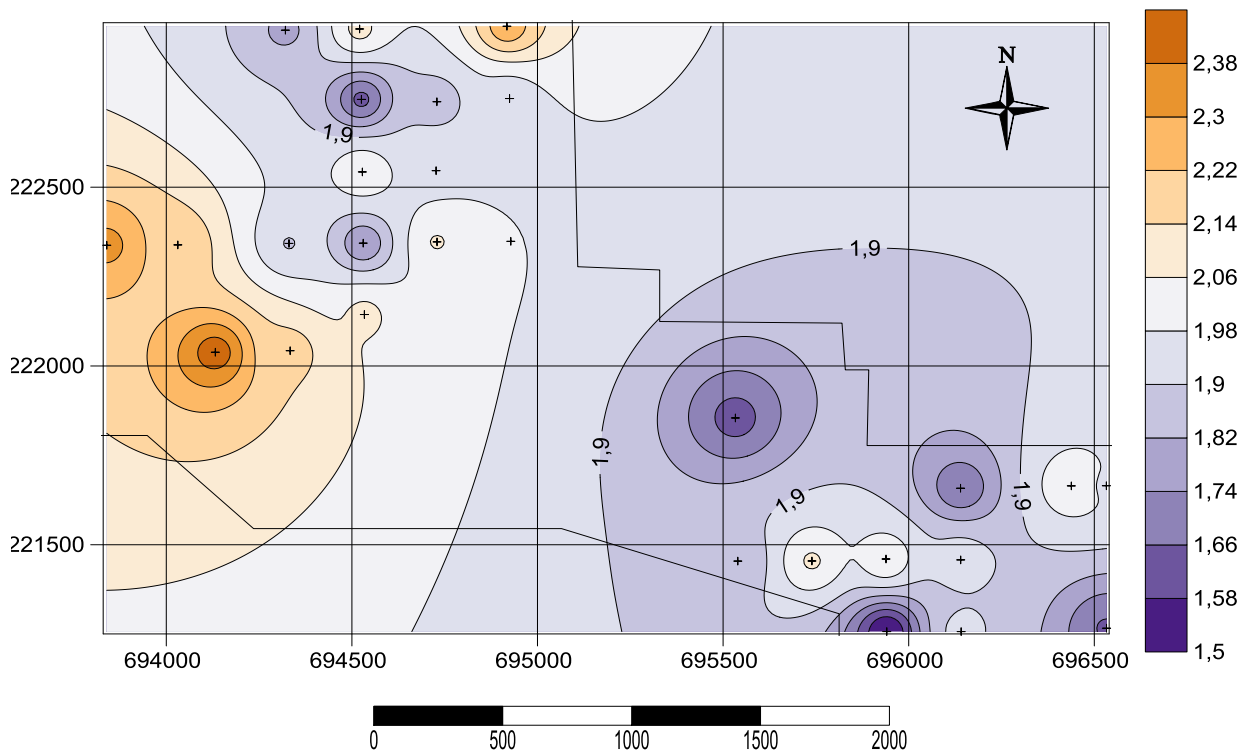


Figura 21. Mapa de contenido de cromo en la Laterita de Balance (LB)

3.4 Análisis geoquímico de la zona de Saprolita de Balance (SB).

3.4.1 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 2,2 %. Se aprecia un predominio de contenidos que oscilan entre 1 % y 1,8 % de Ni.

Se observan además sectores de contenidos elevados y de formas diseminada, que alcanzan en algunos casos hasta 2,2 % de Ni, los cuales se localizan en la parte noroeste del yacimiento.

La concentración del contenido de níquel aumenta hacia el noroeste donde hay mayor corteza laterítica, ver anexo 8.

Cobalto

Los valores de cobalto (Co) en la Saprolita de Balance en el área de estudio varía desde 0,01 % hasta 0,13 %. Hay un predominio de contenidos de cobalto que oscilan entre 0,01 % hasta 0,09 %. Se observan pequeños sectores de forma redondeadas con valores de contenidos más elevados hasta 0,13% de Co, los cuales se localizan principalmente en la parte norte del yacimiento, el contenido de Cobalto con respecto a los horizontes anteriores disminuyó, ver anexo 9.

Hierro

En el área de estudio el contenido de hierro (Fe) varía desde 6 % hasta 33 % en el horizonte de Saprolita de Balance del yacimiento.

Se puede apreciar un predominio de contenidos elevados de Fe, los que oscilan entre 15 % hasta 33 %, distribuidos uniformemente en toda el área, los valores mínimos de hierro se encuentran de forma dispersa en el horizonte, que son muy pocos y varían de 6 % hasta 15 % de elemento, ver anexo10.

3.4.2 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 20 % hasta 47 %. Se aprecia un predominio de contenido que oscila entre 29 % y 38 %, la que está distribuida de manera bastante uniforme en toda el área. Hay contenidos elevados difundidos en la parte norte del área de estudio, pero en pequeñas áreas muy localizadas, que llegan a alcanzar hasta un 47 % del elemento, los valores mínimos se encuentran hacia el centro del yacimiento que alcanza los 20 % de Sílice, ver anexo11.

Magnesio

Los contenidos de magnesio (Mg) varían desde 2,5 % hasta 16,5 %. Se aprecia un predominio de contenido entre 6,5 % hasta 10,5%. La concentración de contenidos de 2,5 % hasta 6,5% se manifiesta en menor cantidad, principalmente en la parte central del área y en pequeñas zonas dispersas. En el extremo norte (N) y sureste hay contenidos superiores que sobrepasan el 14,5 % 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 12.

Aluminio

En el área de estudio el contenido de aluminio (Al) varía desde 0,5 % hasta 8,5 %. Se aprecia un predominio de contenidos de Al que oscilan entre 2,1 % y 4,5 %, bien distribuidos en toda el área. También en forma diseminada aparecen contenidos mayores de 6 % de Al en la parte norte del yacimiento que llegan a alcanzar hasta un 8,5 % de Aluminio en el horizonte de la SB, ver anexo 13.

3.4.3 Comportamientos del Cromo (Cr) en la saprolita de balance (SB).

Cromo

En el área de estudio el contenido de cromo (Cr) varía desde 0,5 % hasta 1,54 %. Se aprecia un predominio de contenidos de cromo que oscilan entre 0,9 % y 1,22 % para todo el horizonte del yacimiento, los valores máximos del elemento químico se concentran en la parte occidental del mapa, llegando a alcanzar hasta un 1,54 % del mismo, las menores concentraciones se encuentran en la parte sureste y noroeste del mapa, ver anexo 14.

3.5 Mapa de potencia del Yacimiento Zona Septentrional

Como se muestra en la figura 22, la potencia de las menas del Yacimiento Zona Septentrional varía de 0 m hasta 66 m. Los valores que más predominan son desde 18 m hasta 24 m. Hay sectores dentro del yacimiento que alcanzan hasta 66 m como se muestra en el sector sureste y noroeste del mapa, los valores mínimos de potencia se

encuentran de forma dispersa por toda el área de estudio y sus valores van desde los 0 m hasta los 18 m.

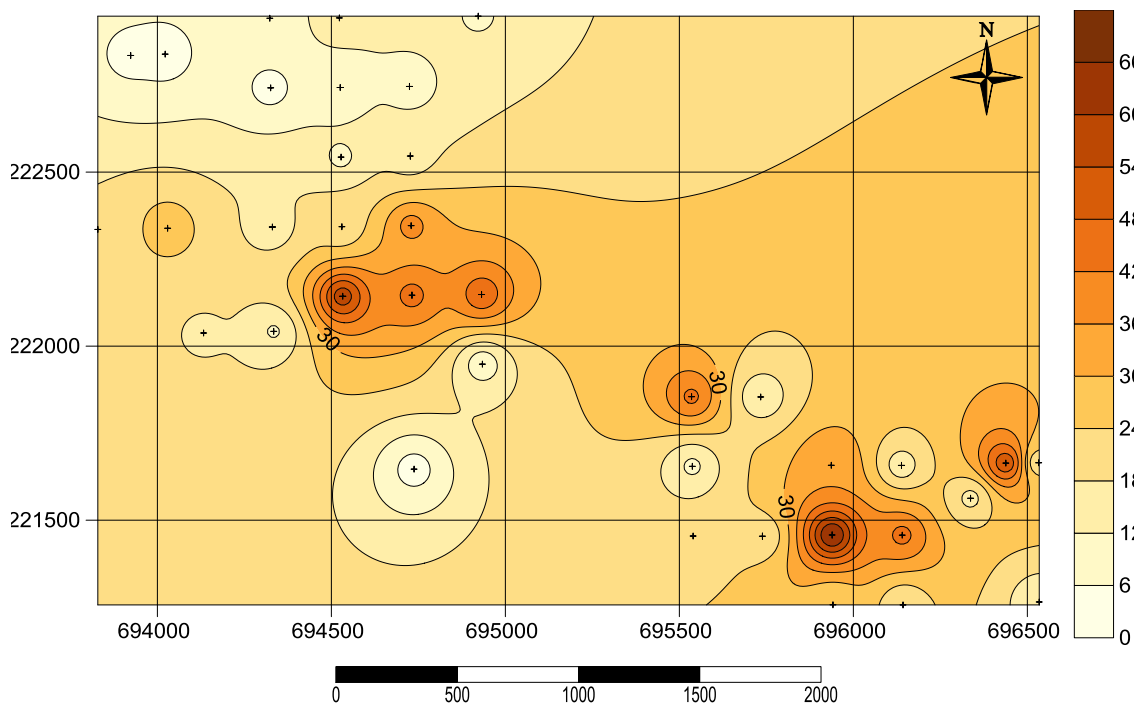


Figura 22. Mapa de potencia de la corteza de intemperismo del Yacimiento Zona Septentrional.

3.5.1 Mapa de potencia de la Laterita de Balance del yacimiento Zona Septentrional.

Como se muestra en la figura 23, la potencia de la mena Laterita de Balance varían desde 1 m hasta 8 m. Los valores que más predominan en el área de estudio se encuentran entre los 2,5 m y los 3 m. los valores mínimos del sector de estudio se encuentran de forma aislada por todo el yacimiento, principalmente al sureste y noroeste del mapa. Los valores máximos de potencia en la zona de estudio llegan a alcanzar hasta los 8 m, pero se encuentran principalmente localizados en el noroeste del yacimiento.

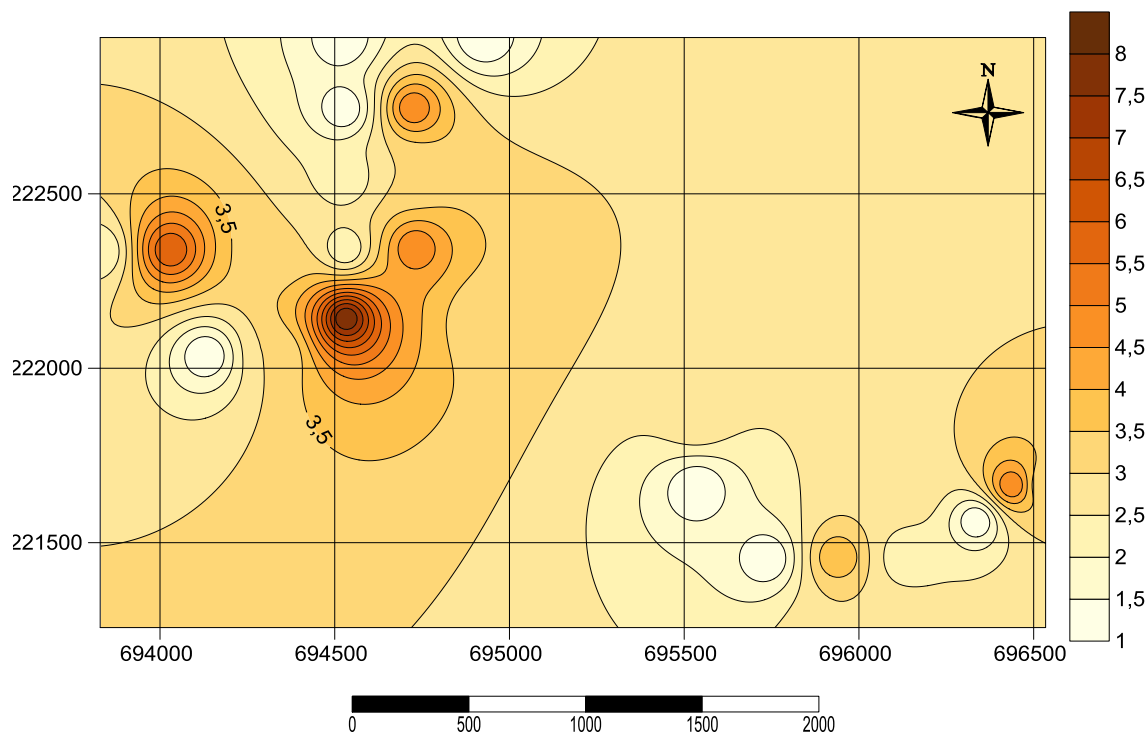


Figura 23. Mapa de potencia de la Laterita de Balance.

3.6 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 Zona Septentrional se confeccionaron 4 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).

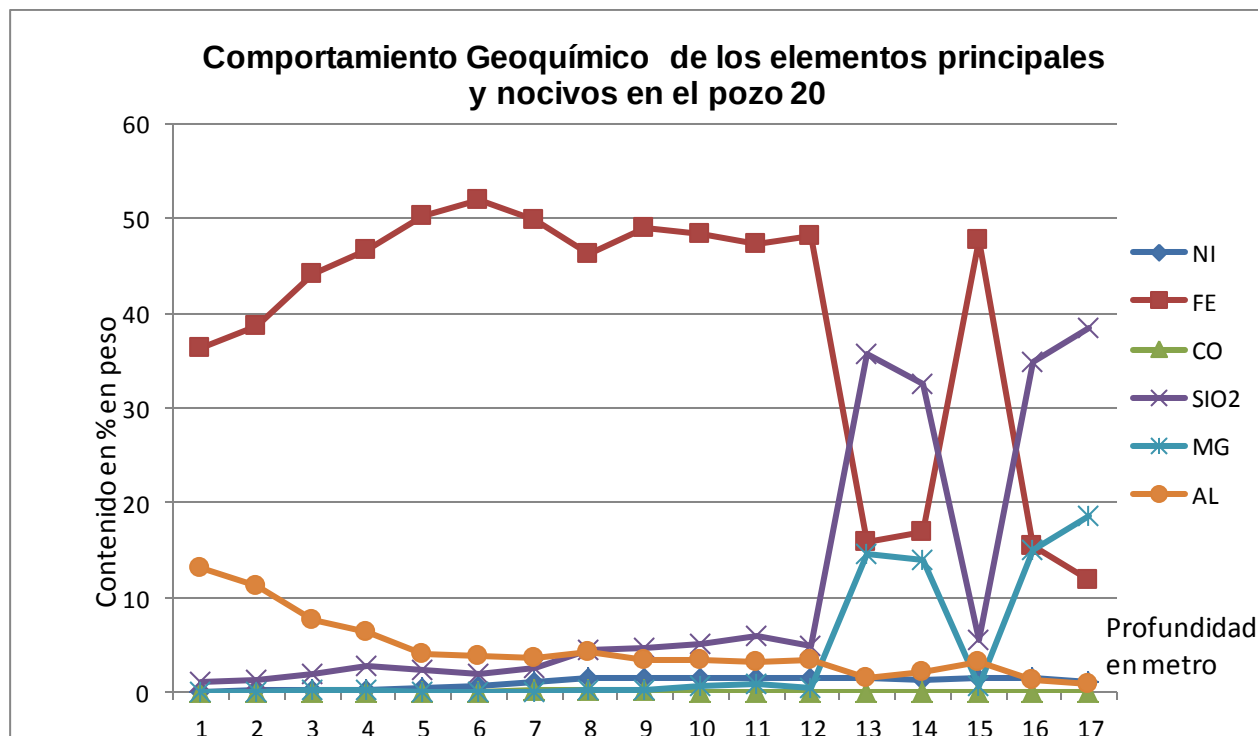


Figura 24. Grafico de comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos del pozo 20.

Como se aprecia en la figura 24 el pozo 20 reveló un comportamiento anormal para los elementos principales y nocivos, primeramente hay un comportamiento normal para todos los elementos, los elementos principales aumentan y disminuyen exponencialmente y los elementos nocivos van aumentando a medida que aumenta la profundidad, al llegar a los 12 metros de profundidad en el pozo hay una disminución brusca del hierro y un aumento elevado de los elementos perjudiciales, esto indica que podemos estar en la presencia de la saprolita de balance (SB), hasta la profundidad de 14 metros se comportan estables y a partir de esa profundidad hay un aumento brusco del hierro y una disminución de la Sílice y el Magnesio, lo que indica según los contenidos en % que es Laterita de Balance y que está por debajo de la (SB) este comportamiento indica la redeposición de la corteza de intemperismo en algunos sectores del yacimiento. Los valores de Cobalto se mantienen bastante estables para todo el pozo, ver anexo 16.

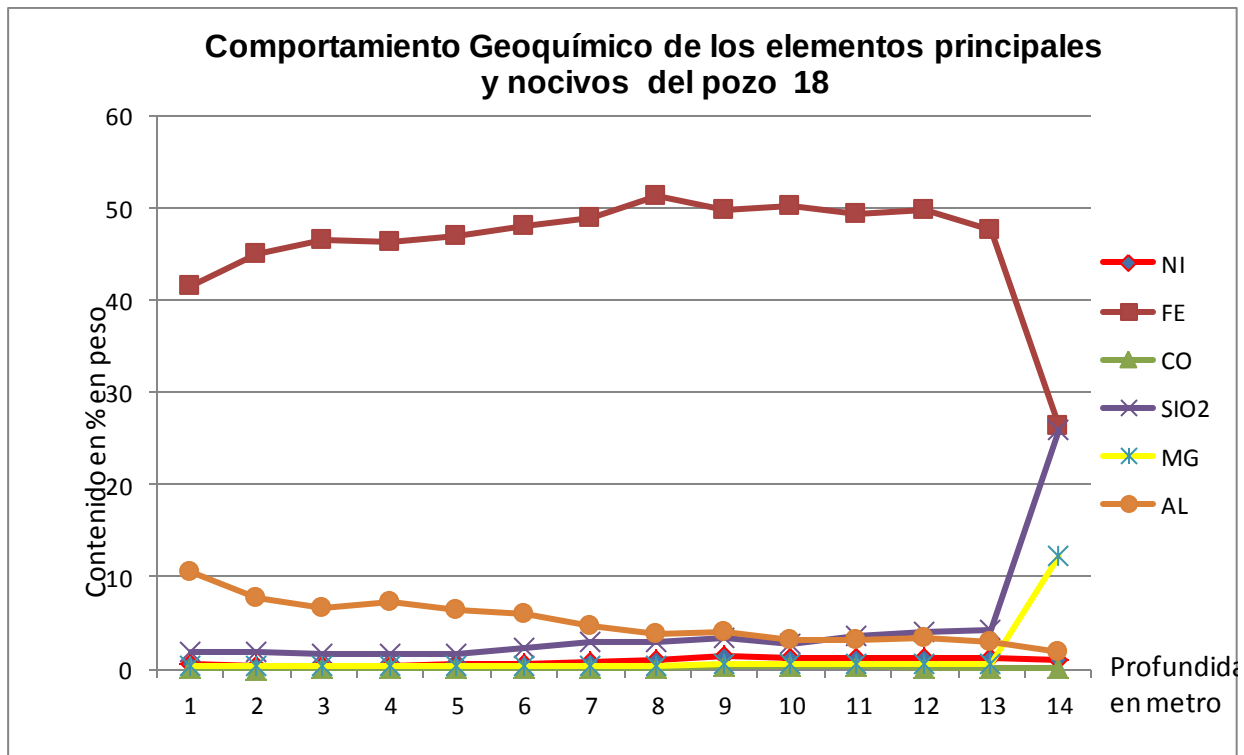


Figura. 25. Comportamiento Geoquímico de los elementos principales y nocivos del pozo 18.

Como se aprecia en la figura 25 el pozo reveló un comportamiento típico para los elementos útiles. El hierro se manifiesta correctamente para los tres horizontes, primero contenidos altos cerca de la superficie y luego con la profundidad disminuye, el Níquel también se comporta normalmente. Al llegar a los 13 metros de profundidad el Hierro disminuye y los elementos nocivos aumentan por lo que podemos estar en presencia de la (SB), el Cobalto se mantiene bastante estable para los tres horizontes. Tanto el magnesio como la sílice tienden a aumentar con la profundidad, lo que indica una tendencia normal para estos elementos en el yacimiento, este comportamiento normal de los contenidos de los elementos indica que en este sector donde se perforó el pozo la corteza de intemperismo se encuentra in-situ, ver anexo 18.

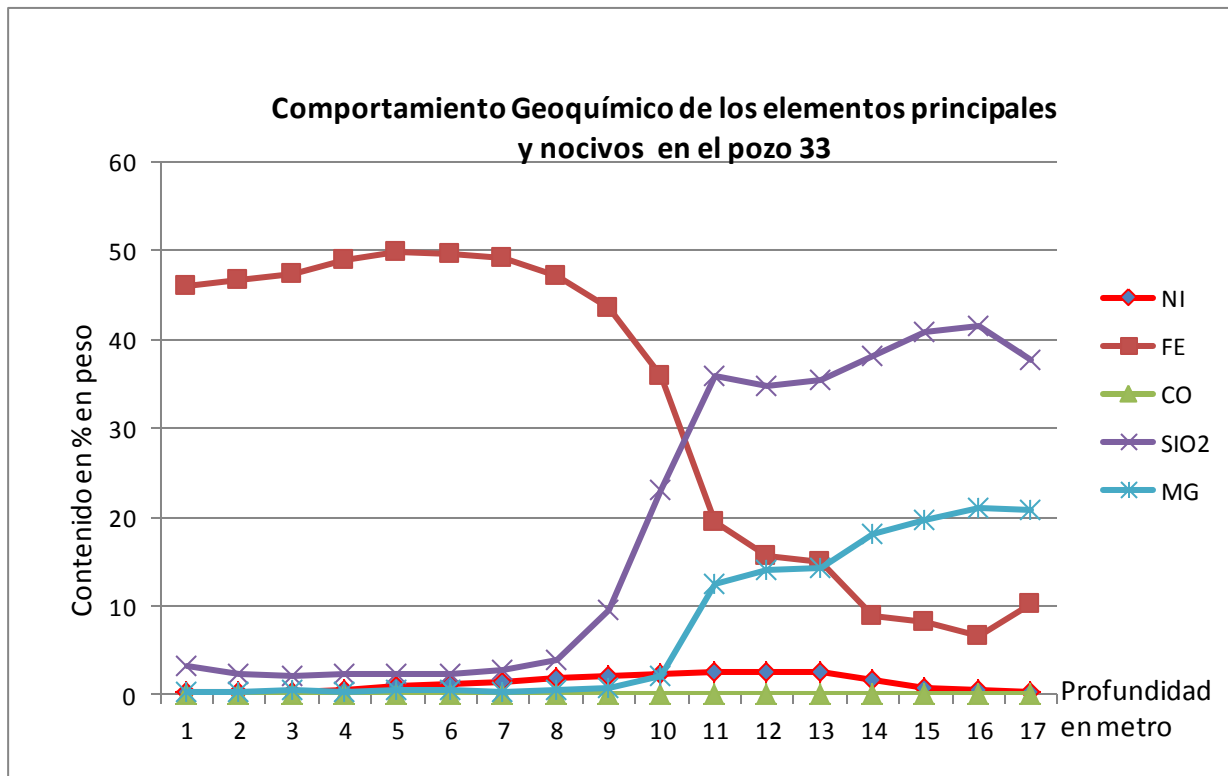


Figura26. Comportamiento Geoquímico de los elementos principales y nocivos en el pozo 33.

Como se aprecia en la figura 26 el pozo revelo un comportamiento normal para los diferentes elementos en los diferentes horizontes. El Hierro se comporta normalmente, contenidos elevados cerca de la superficie y a medida que aumenta la profundidad disminuye su contenido, el Níquel se comporta también correctamente, con contenidos bajos en el escombros y aumenta hacia la (LB). Los elementos nocivos tienden a aumentar con la profundidad, por lo que se aprecia en el gráfico se comportan normalmente, el Cobalto se mantiene estable para todo el pozo, es decir no varía mucho su contenido, podemos concluir que según el comportamiento de los contenidos de los elementos principales y nocivos estamos en presencia de una corteza de intemperismo in-situ, ver anexo 17.

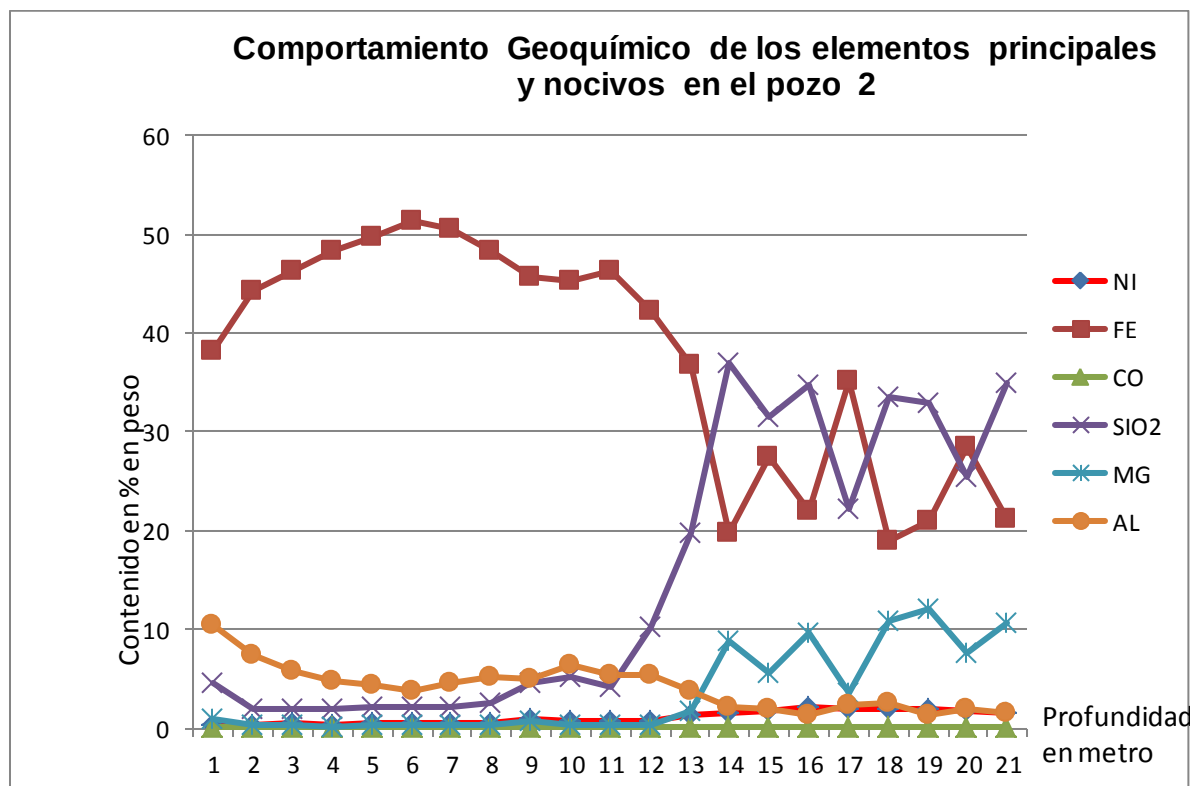


Figura. 27. Comportamiento Geoquímico de los elementos principales y nocivos en el pozo 2.

Como se muestra en la figura 27 hay un comportamiento extraño para los elementos principales y nocivos de este pozo. En los primeros 11 metros de profundidad todo se comporta normalmente, el contenido de Hierro en la superficie es elevado y a medida que aumenta la profundidad va disminuyendo, el Níquel es pobre en el escombro y aumenta hacia la LB y SB, y los elementos nocivos aumentan con la profundidad, pero a partir de los 17 metros de profundidad hay un comportamiento anormal, el contenido de Hierro aumenta y los contenidos de los elementos nocivos disminuyen, según los contenidos de Fe y Ni podemos afirmar que estamos en presencia de LB por debajo de la SB, por lo que podemos afirmar que estamos en presencia de una corteza laterítica redepositada. El cobalto se mantiene sin mucha variación para todo el pozo, ver anexo 15.

3.6 Interpretación de los perfiles realizados a partir de los datos de los pozos perforados.

Para la realización de los dos perfiles se tomaron los datos de los pozos gemelos, en la dirección Este-Oeste, con el objetivo de abarcar más área en la zona de estudio. Para la confección de los dos perfiles se tomaron los datos de los análisis químicos realizados a las muestras de los pozos seleccionados, en la figura 28 se muestra la dirección en que se tomaron los pozos.

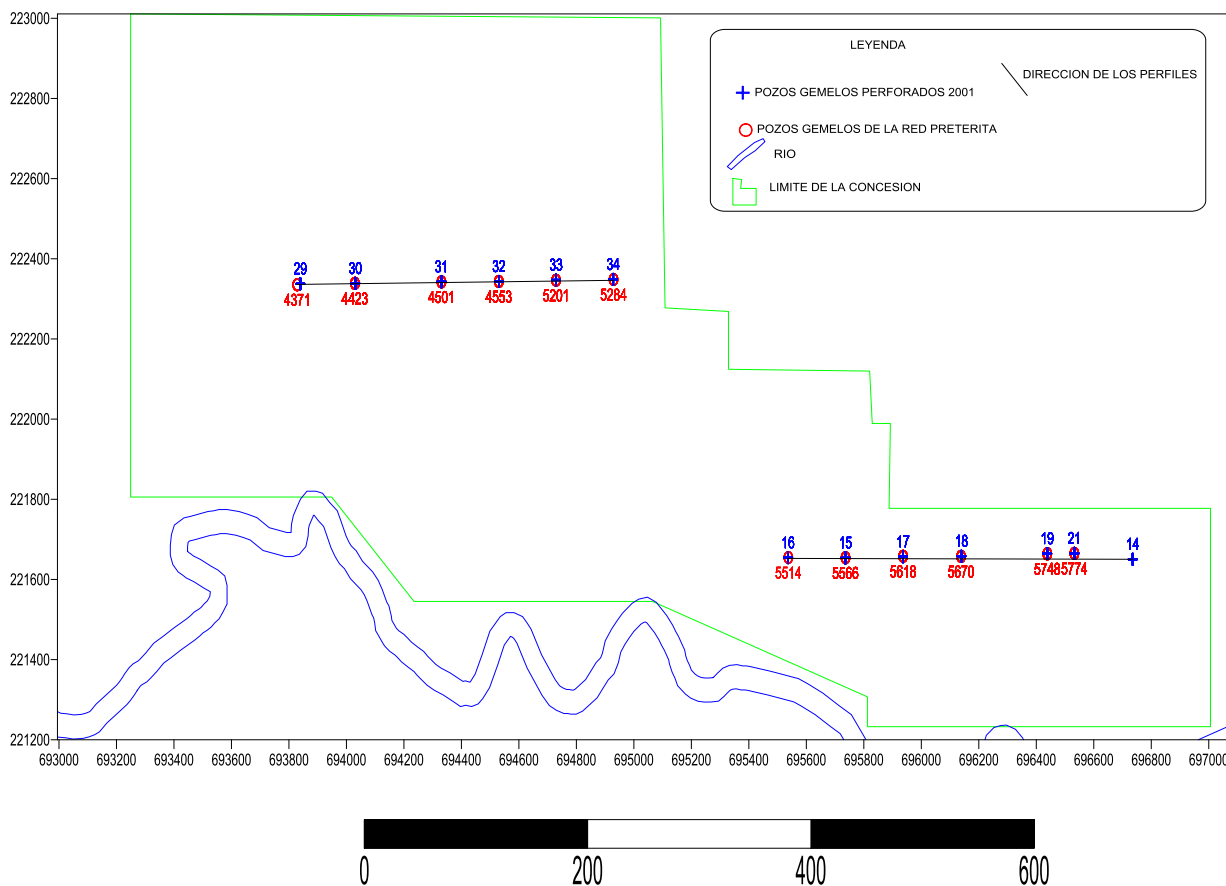


Figura28. Mapa de ubicación de los perfiles.

3.6.1 Interpretación del perfil 1

Interpretación del perfil realizado según los pozos gemelos:

Como se observa en la figura 29, el perfil realizado en el sector oeste de la concesión minera Zona Septentrional ubicado en dirección este-oeste con el objetivo de cubrir una mayor área de la concesión y lograr una mayor representatividad de la mineralización en este sector se caracteriza por la variabilidad de la potencia del horizonte limonítico con acuñamientos del horizonte menífero en los diferentes sectores del perfil, de igual forma los pozos gemelos perforados en campañas pretéritas muestran un comportamiento similar del horizonte menífero dejando bien marcada la variabilidad de la potencia para la concesión.

La potencia promedio para el perfil realizado según los pozos perforados en el 2011 es de 3.1 metro sin embargo en las campañas pretéritas el promedio de la potencia es de 2.5 ligeramente menor. Hay que destacar la presencia de sectores de la corteza donde se observa con claridad los índices de redeposición sustentados en el cambio de quimismo de la corteza y en la sucesión de los horizontes meníferos que en ocasiones no responden a una corteza de perfil in-situ. Esto se puede corroborar en los pozos perforados en el año 2011 (31, 32, 33) así como en las anteriores campañas de perforación (4553, 4501, 4423) fundamentalmente.

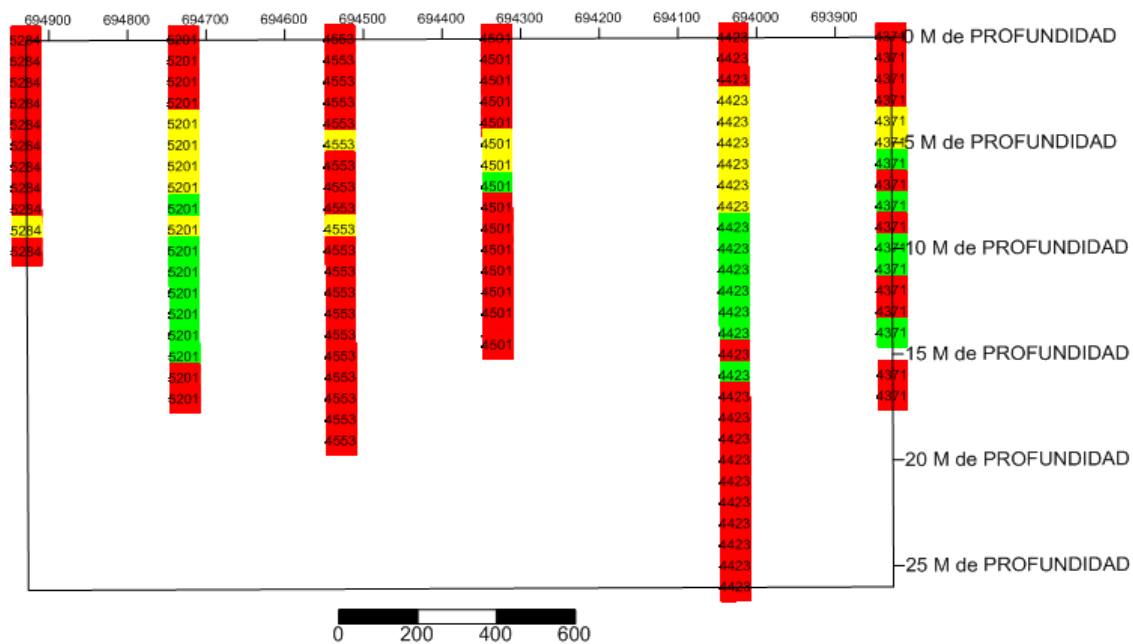
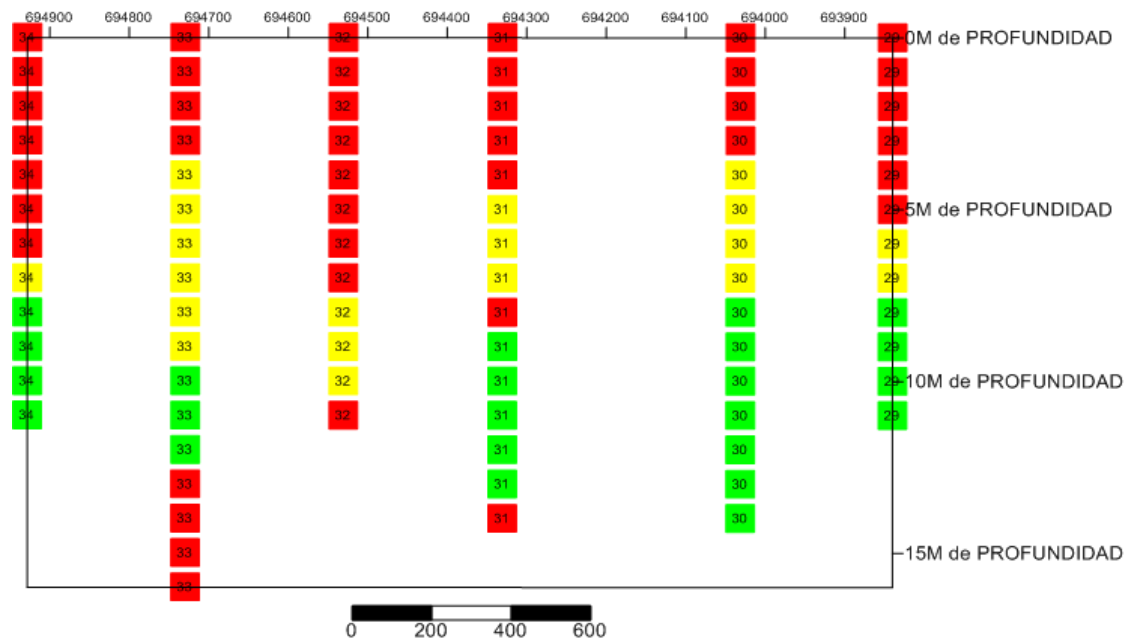


Figura29.Perfil realizado a partir de los pozos gemelos, en la dirección E-W.

3.6.2 Interpretación del perfil 2

Interpretación del perfil realizado según los pozos gemelos:

Como se muestra en la figura 30, el segundo perfil realizado en la concesión Zona Septentrional comprende un total de siete pozos perforados en el 2011 y seis en las campañas pretéritas, según el comportamiento geoquímico de los elementos Fe, Ni, Co los diferentes horizontes meníferos se comportan de forma similar al perfil uno; hay que destacar que la potencia promedio en los pozos perforados en el 2011 según el perfil es de 4.8 metros sin embargo para los pozos pretéritos es de 2.8 metros, algo inferior.

Se corrobora en este sector del yacimiento la presencia de perfiles redepositados revelados en los pozos (19, 15) fundamentalmente para la red de pozos perforada en el 2011 y en los pozos (5774, 5748, 5870 y 5566) para la red de pozos pretéritos.

Es fundamental destacar que la concesión se caracteriza por presentar continuidad en el horizonte limonítico, salvo en algunos sectores; así como el desarrollo de perfiles in-situ y redepositados ambos en sectores locales.

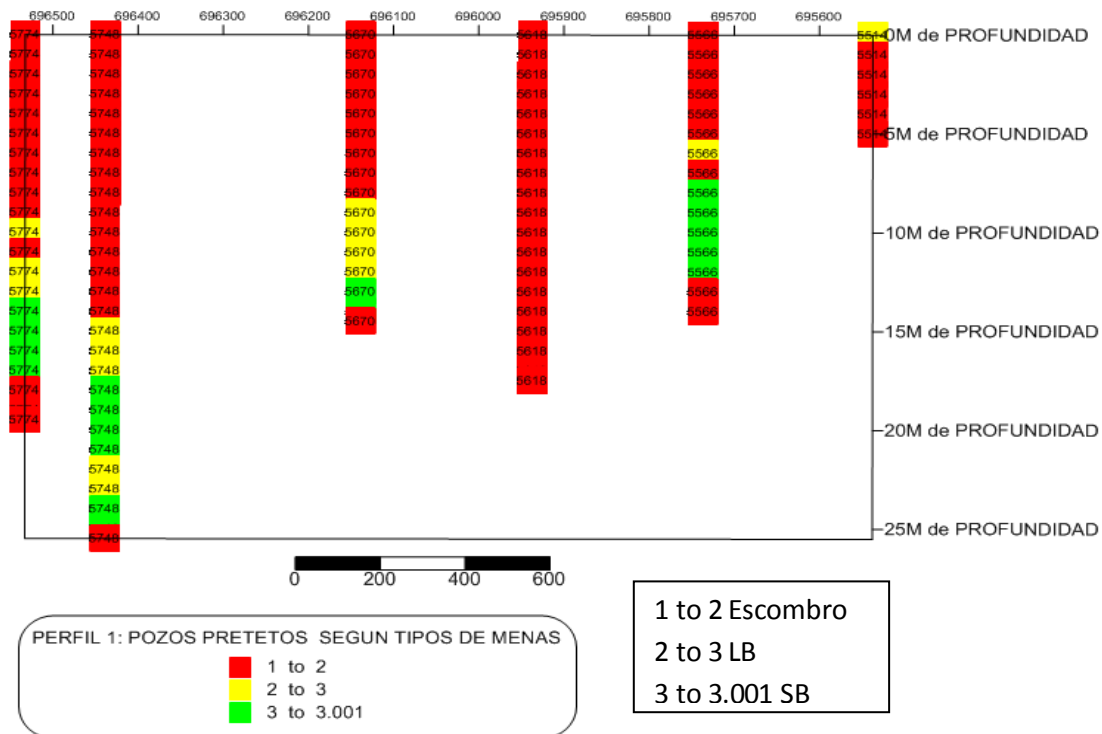
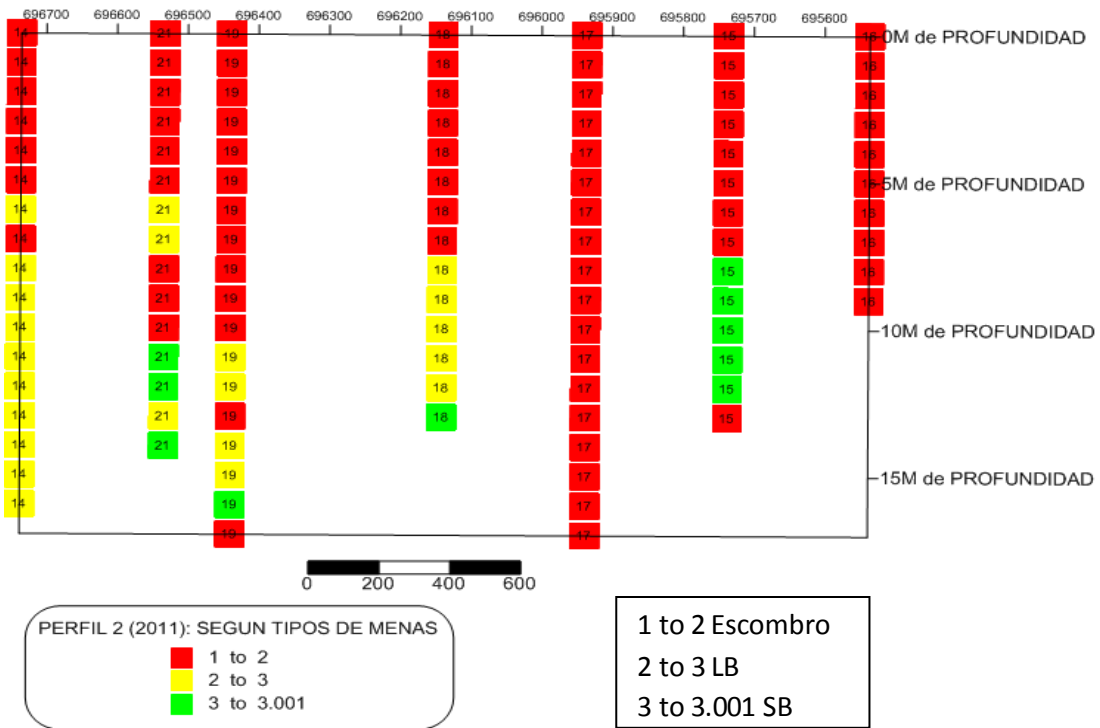


Figura30. Perfil realizado a partir de los pozos gemelos y preteritos, en la dirección E-W.

Conclusiones

1. El yacimiento Zona Septentrional 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) de la empresa Pedro Soto Alba.
2. Los mayores contenidos de elementos útiles (Ni y Co) se pueden observar hacia la zona central y sur 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), lo que implicaría un alto consumo de ácido en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión para el tratamiento de las menas.
4. Los altos contenidos de sílice registrados en los pozosmanifiesta una posible influencia hidrotermal de la estructura tectónica que corta dicho yacimiento.
5. Los valores elevados de magnesio (Mg) para el yacimiento Zona Septentrional 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

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. Albear, J; I. Boyanov; K. Brezsnianszky; R. Cabrera; V. Chejovich; B. Echevarría; R. Flores; F. Formell; G. Franco; I. Haydutov; M. Iturralde-Vinent; I. Kantchev; I. Kartashov; V. Kostadinov; G. Millán; R. Myczynski; E. Nagy; J. Oro; L. Peñalver; K. Piotrowska; A. Pszczolkowski; J. Radoczj; Rudnicki; M.L. Somín. 1988: Mapa geológico de Cuba. Escala 1: 250 000.
3. 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.
4. CAMPOS, M. 1983: Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. Minería y Geología, 2: 51-76.
5. CAMPOS, M. 1990: Tectónica y minerales útiles de la asociación ofiolítica y de los complejos vulcanógenos del arco insular Cretácico de Cuba oriental. Inédito.
6. COBIELLA, J.L. 1978: Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.
7. COBIELLA J.; Rodríguez J. 1978: Algunos rasgos de la geología de Cuba oriental. Ciencias Técnicas, Serie Geodesia y Geofísica No.3.
8. COBIELLA, J .L. 1988: El vulcanismo paleogénico cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. Revista tecnológica, 18)4),25-32.
9. COBIELLA, J.L. 1997: Zonación estructural facial del corte Paleoceno Eoceno Medio de Cuba. Minería y Geología, 14(1): 3-12.
10. COBIELLA, J. L. 2000: Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. International Geology Review, 42: 594-616.
11. COBIELLA, J.L. 1978: Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.

12. CRESPO, E. 1996: Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMM, 79 p.9.
15. Cobiella J; Rodríguez J. 1978: Algunos rasgos de la geología de Cuba Oriental. Ciencias Técnicas, Serie Geodesia y Geofísica No.3.
13. 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.
15. 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.
16. 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.24.
17. Iturralde, M. A. 1976: Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. La Minería en Cuba, 5: 9-23.
18. Gyarmati, P.;I. Méndez; M. Lay. 1997: Caracterización de las rocas del arco de islas Cretácico en la zona Estructuro-Facial Nipe-Cristal-Baracoa. En:G.F.
19. Gali, S., Proenza, J..A., Labrador, M. Melgarejo, J.C., Tauler, E., Muñuz, N., Rojas-Purñon, A., Orozco-Melgar, O. 2006: Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos tipo óxidos: Yacimiento Punta Gorda (Cuba Oriental). /Macla/a,6,197-199.
20. ITURRALDE, M. 1996: Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. Contribución Especial No. 1. IGCP Project W364. Miami. USA. 265 pp.
21. ITURRALDE, M.1994: "Introduction to Cuban Geology and Tectonics". En Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO, International CorrelationProgram. Project 364. Ciudad de la Habana. Pp3-47.
22. ITURRALDE, M. 1998: Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. En Acta Geológica Hispánica.

23. Iturralde-Vinent, M. A. 1994: Geología de las ofiolitas. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.) Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO. International geological correlation program. Project 364. Ciudad de la Habana. Pp. 83-120.
24. Iturralde-Vinent, M. A. 1996: Geología de las ofiolitas de Cuba. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special contribution n.1, p. 83-120.
25. Introduction to Cuban Geology and Geophysics. In Iturralde-Vinent, M. A., ed. Cuban ophiolites and volcanic arcs. Miami, int. Geol. Correlation Prog. 364: 83-120.
26. Iturralde-Vinent, M. A. 1998: Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana, 33(1-4):9-56.
27. Iturralde-Vinent, M. A., Díaz Otero, C., Rodríguez Vega, A., Díaz Martínez R (2006) Tectonic Implications of Paleontologic dating of Cretaceous-Danian sections of Eastern Cuba. Geol Acta 4:89-102
28. LAVAUT COPA W: Clasificador para modelación litológica de lateritas Key – Guide for lithological mapping of laterites.
29. 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.
30. MUÑOZ, J.N. 2004: Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co. PDF-Files. ICT. ISMMM, 22p.
31. Manso, A. 1995: Estudio Generalizado del Oligo-Mioceno en el sector Frank País. Trabajo de Diploma. Centro de información. ISMMM, 73p.
32. Muñoz, J.N. 2004: Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co. PDF-Files. ICT. ISMMM, 22p.
33. Nagy, E., K. Brezsnianszky; A. Brito; D.P. Countin; F. Formell; GAL. Franco; P. Gyarmati; P. Jakus; G. Radocz. 1983: Contribución a la geología de Cuba Oriental. La Habana; Editorial Científico Técnica, 273p.

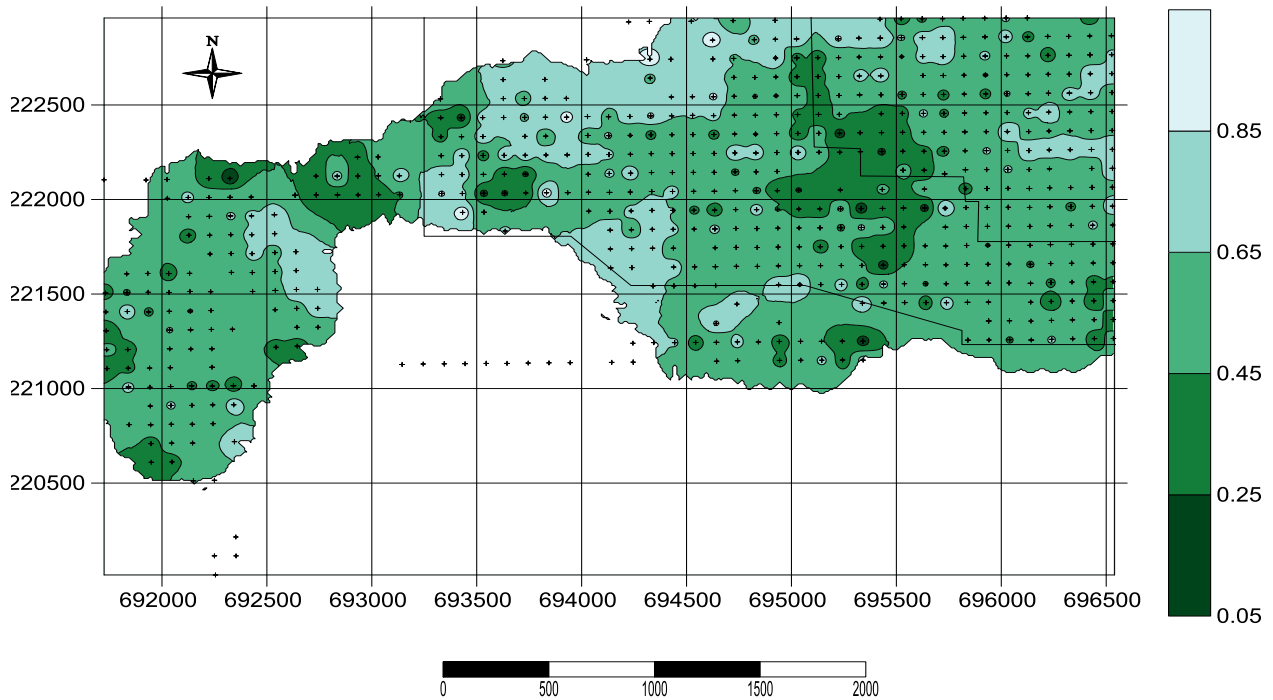
34. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Oliva G. Instituto de Geografía, ACC, 1989.
35. NAGY, E.; K. BREZSNYANSZKY; A. BRITO; D.P. COUTIN; F. FORMELL; G.L. FRANCO; P. GYARMATI; P. JAKUS; G.Y. RADOCH. 1976: Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba.
36. 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.
37. NAGY N, 1983: Ensayo de las zonas estructuro faciales de Cuba oriental, contribución geológica de Cuba oriental. Editorial Ciencia y Técnica, ACC.
38. PÉREZ R.: Levantamiento Geológico de Farallones escala 1: 50 000, 1976.
39. 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.
40. 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.
41. 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.
42. PROENZA, J 1998: Mineralizaciones de cromita en la Faja Ofiolita Mayarí Baracoa (Cuba). Ejemplo del Yacimiento Mercedita, Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, España.
43. 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.
44. 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.

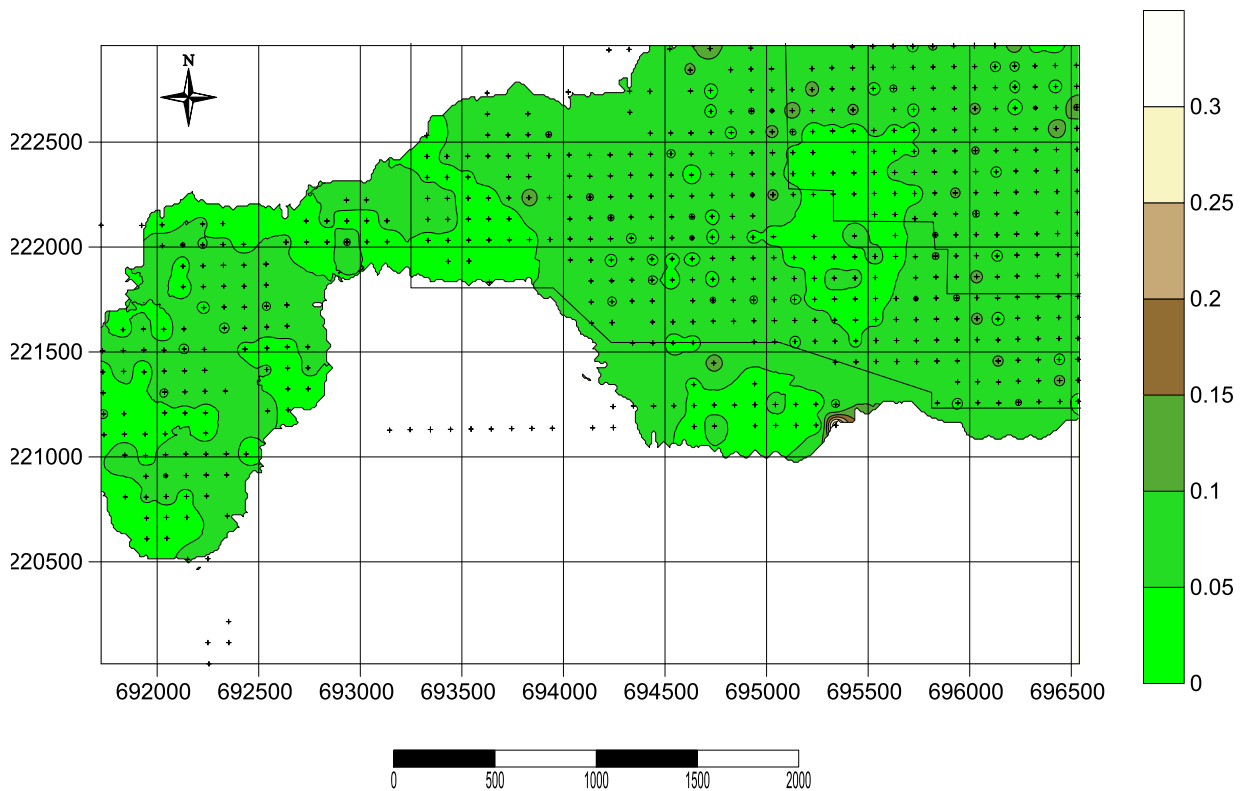
45. Proenza J. 1997: Mineralización de Cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del Yacimiento Merceditas. Tesis Doctoral, ISMMM.
46. Proenza, J.; F. Gervilla; J.C. Melgarejo; J.L. Bodinier. 1999: Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 547-566.
47. Quintas, F.1989: Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del paleógeno de la provincia de Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, ISMM.
48. 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.
49. QUINTAS, F. 1996: Bioestratigrafía del corte Meso-Cenozoico del extremo oriental de Cuba. *Minería y Geología*, 13(1): 3-8.
50. 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.
51. Rodríguez infante A., 1998: Estudio Morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación del riesgo de génesis tectónicas. Tesis doctoral, Academia de Ciencias de Cuba. Departamento de Geología, ISMMM
- 52.ROJAS-PURÓN, A.: Principales fases minerales portadores de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa ,1994. Tesis doctoral. 73p.
53. STRECKEISEN, A. 1975: To each plutonic rock its proper name. *Earth Science. Reviews* 12(1976) 1-33

Anexos

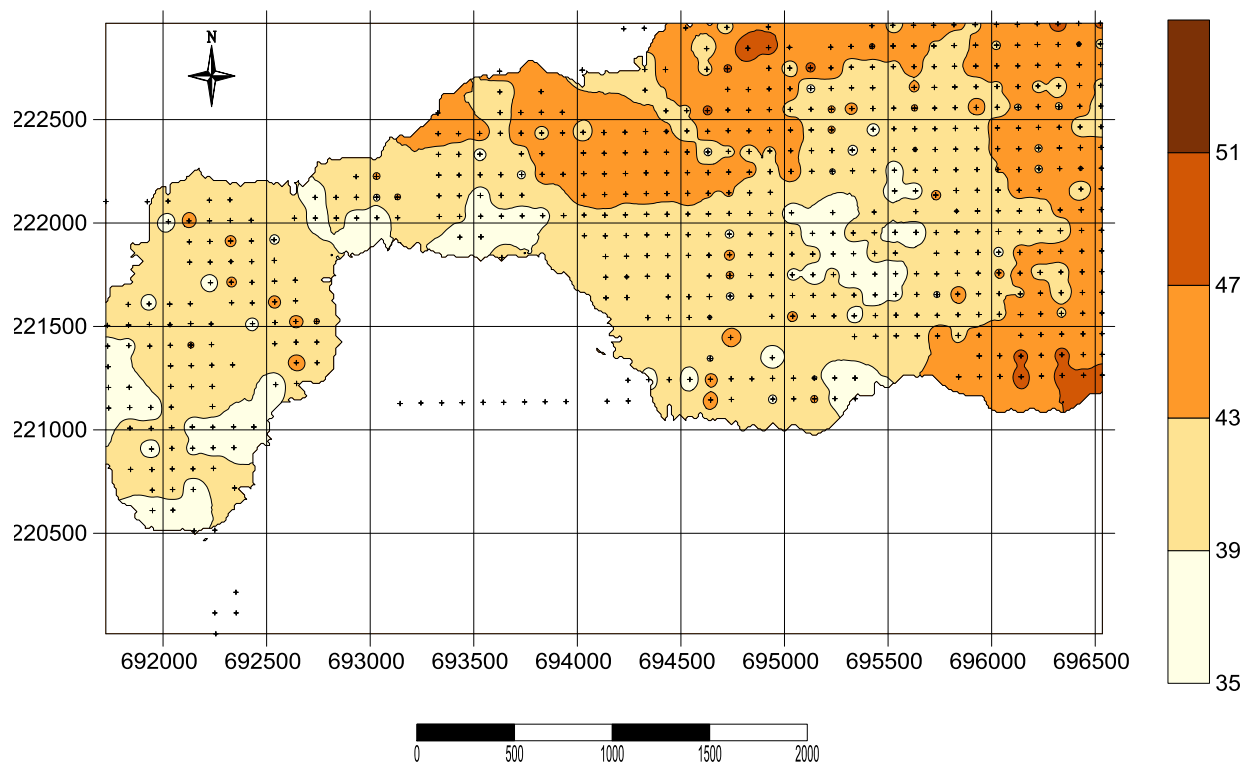
Anexo 1 Mapa de contenido de Níquel en el horizonte de escombro.



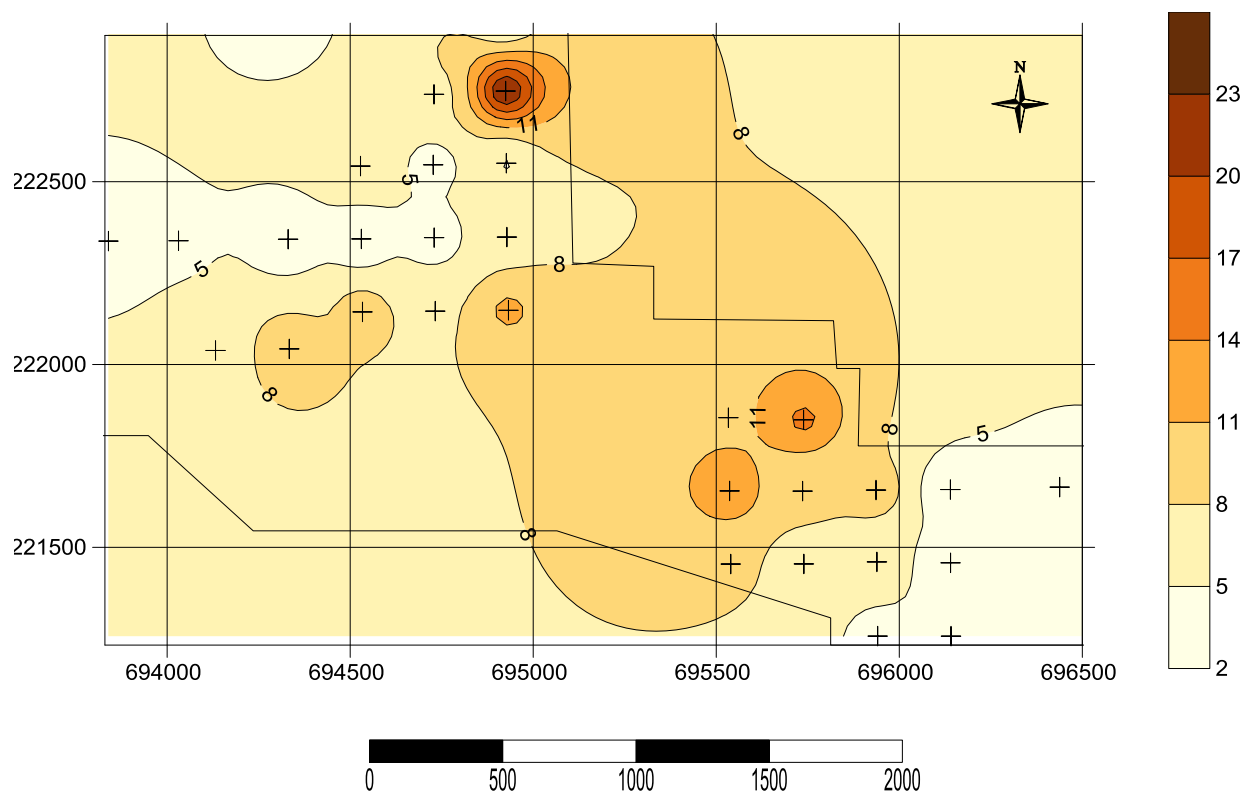
Anexo 2 Mapa de contenido de Cobalto en el horizonte de escombro



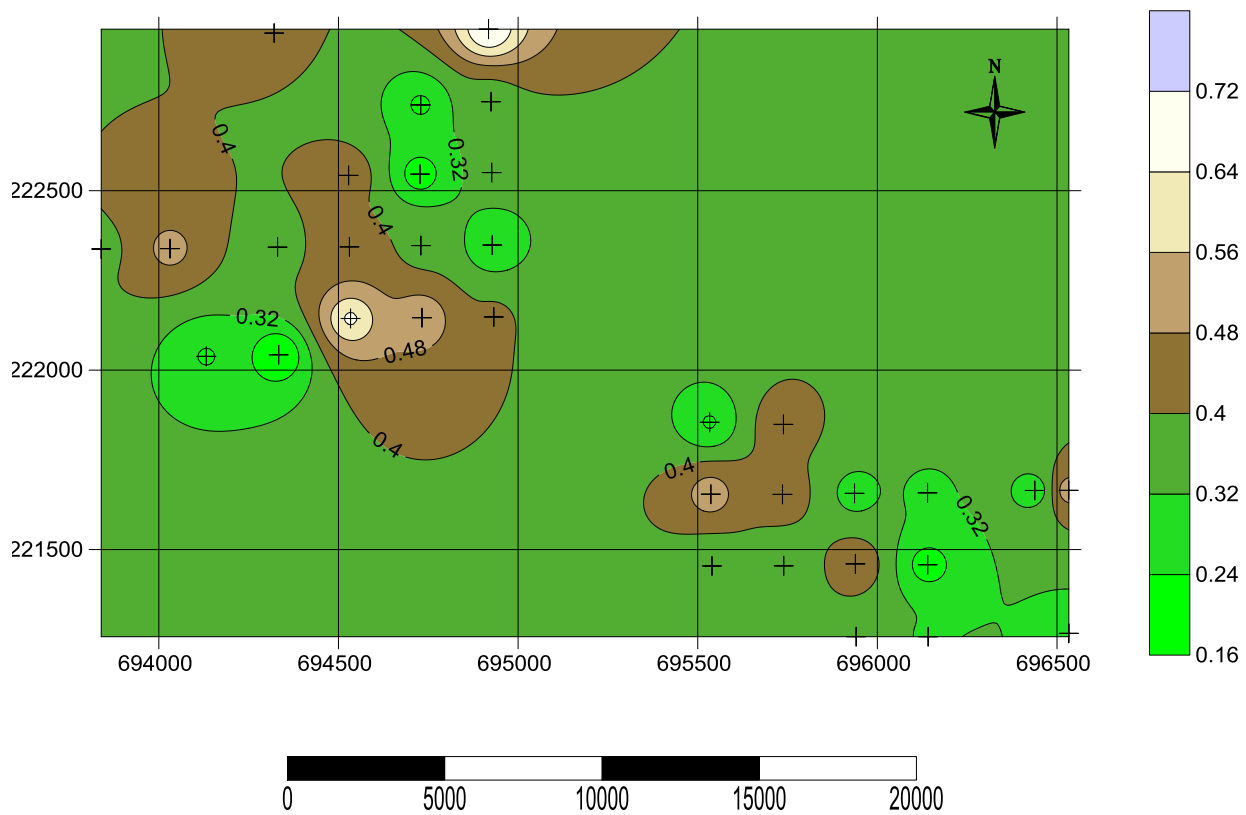
Anexo 3 Mapa de contenido de Hierro en el horizonte de escombro.



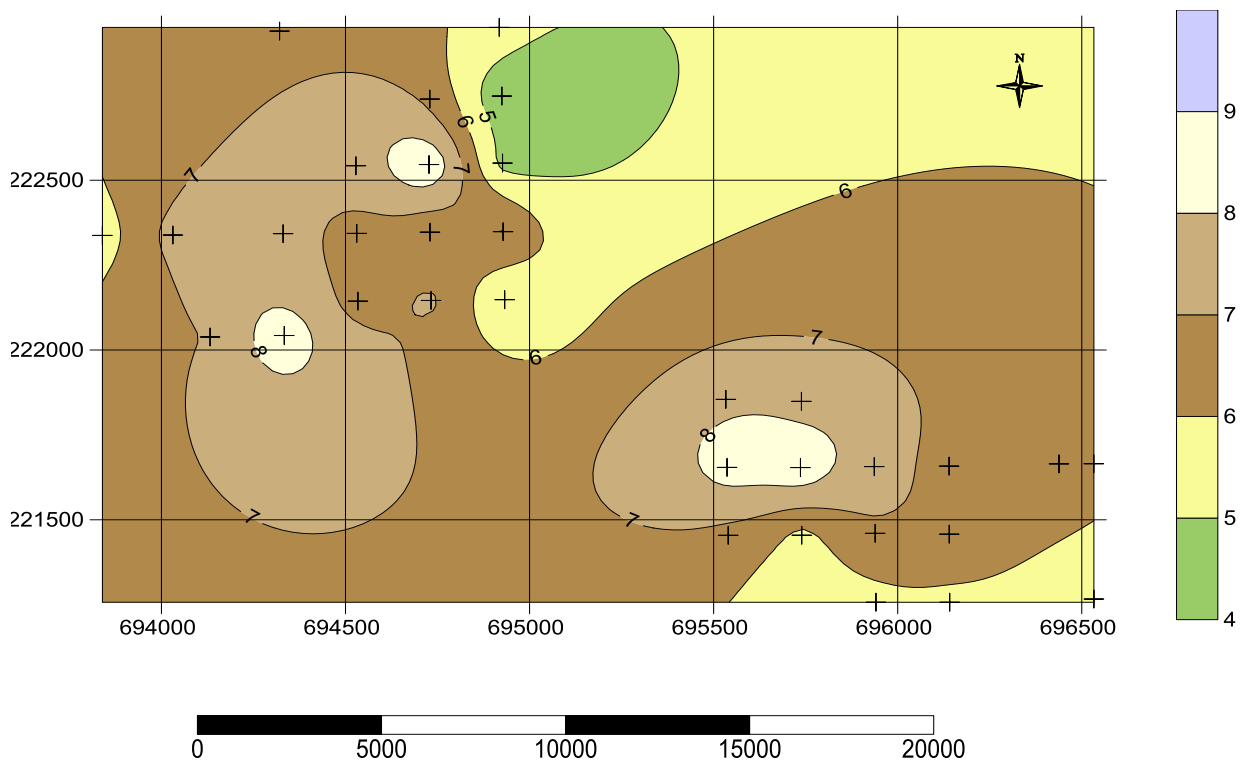
Anexo 4 Mapa de contenido de Sílice en el horizonte de escombro.



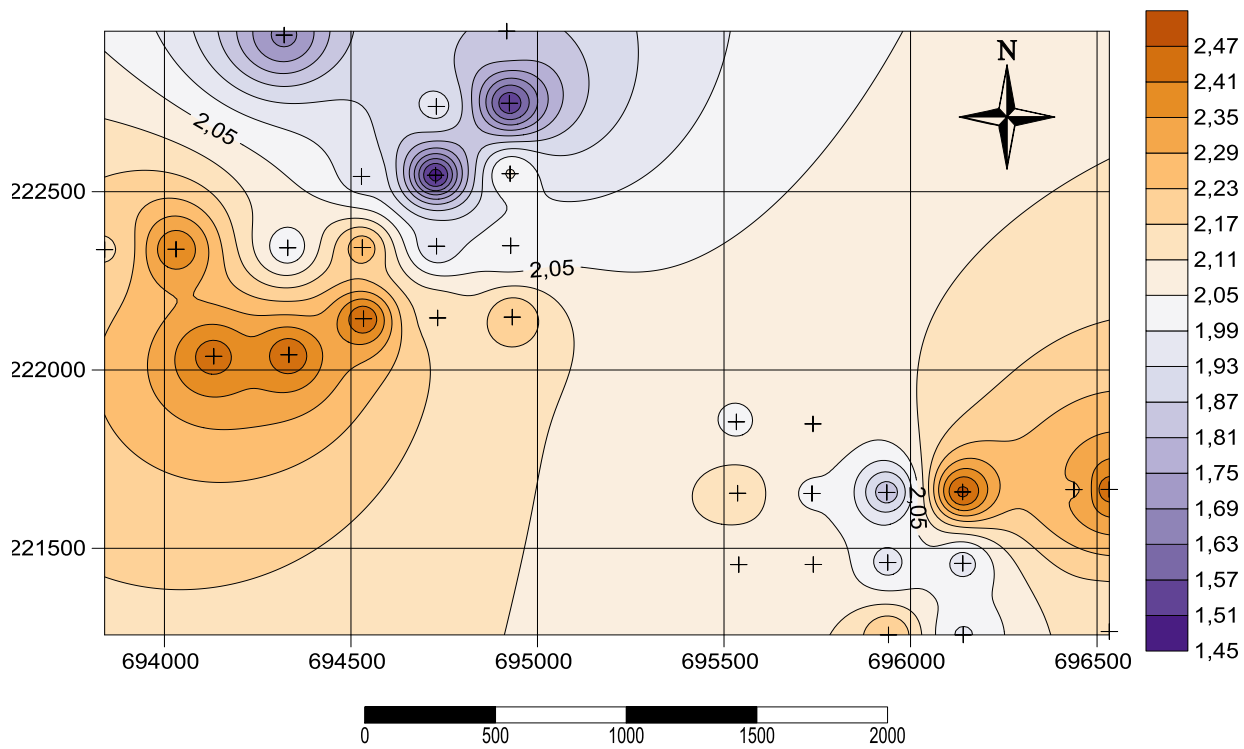
Anexo 5 Mapa de contenido de Magnesio en el horizonte de escombro.



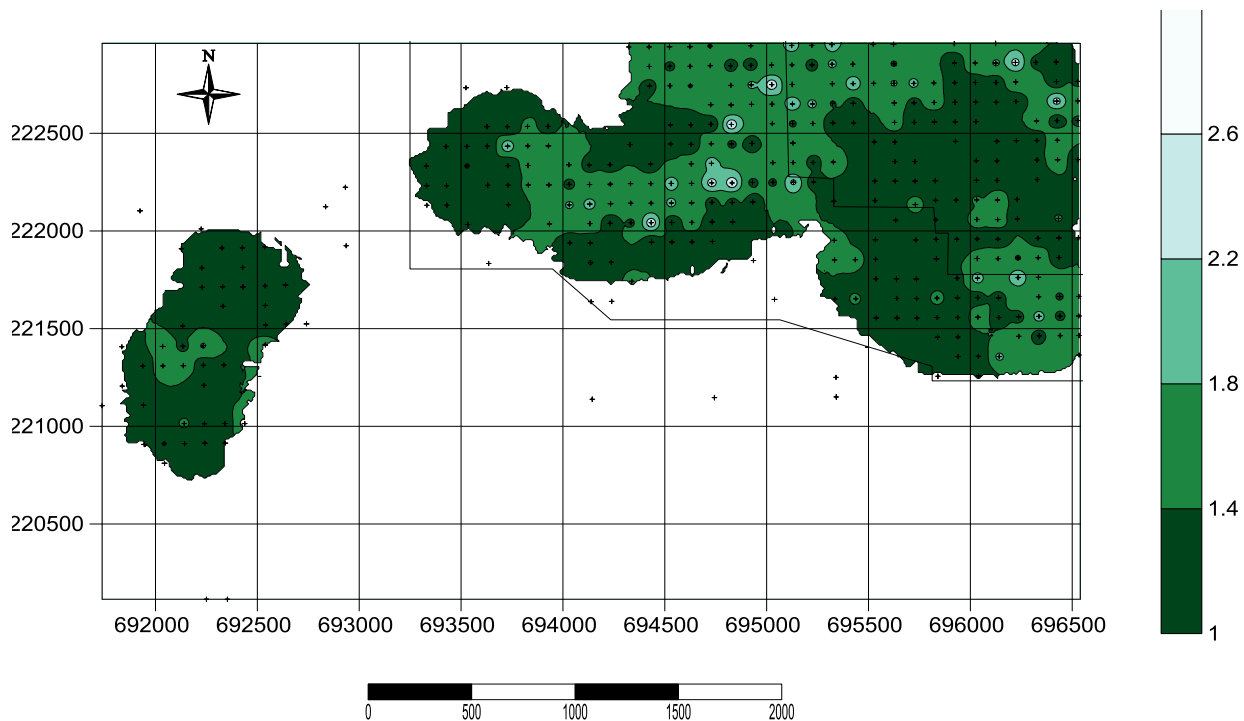
Anexo 6 Mapa de contenido de Aluminio en el horizonte de escombro.



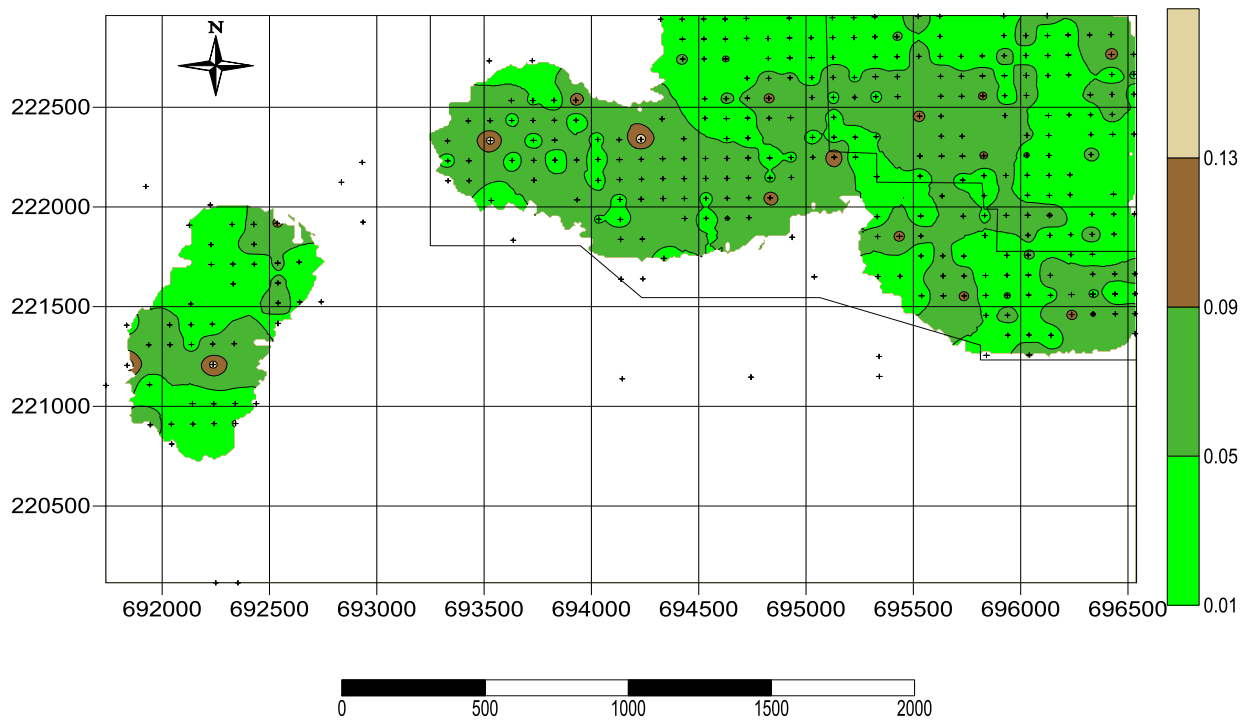
Anexo 7 Mapa de contenido de Cromo en el horizonte de escombros.



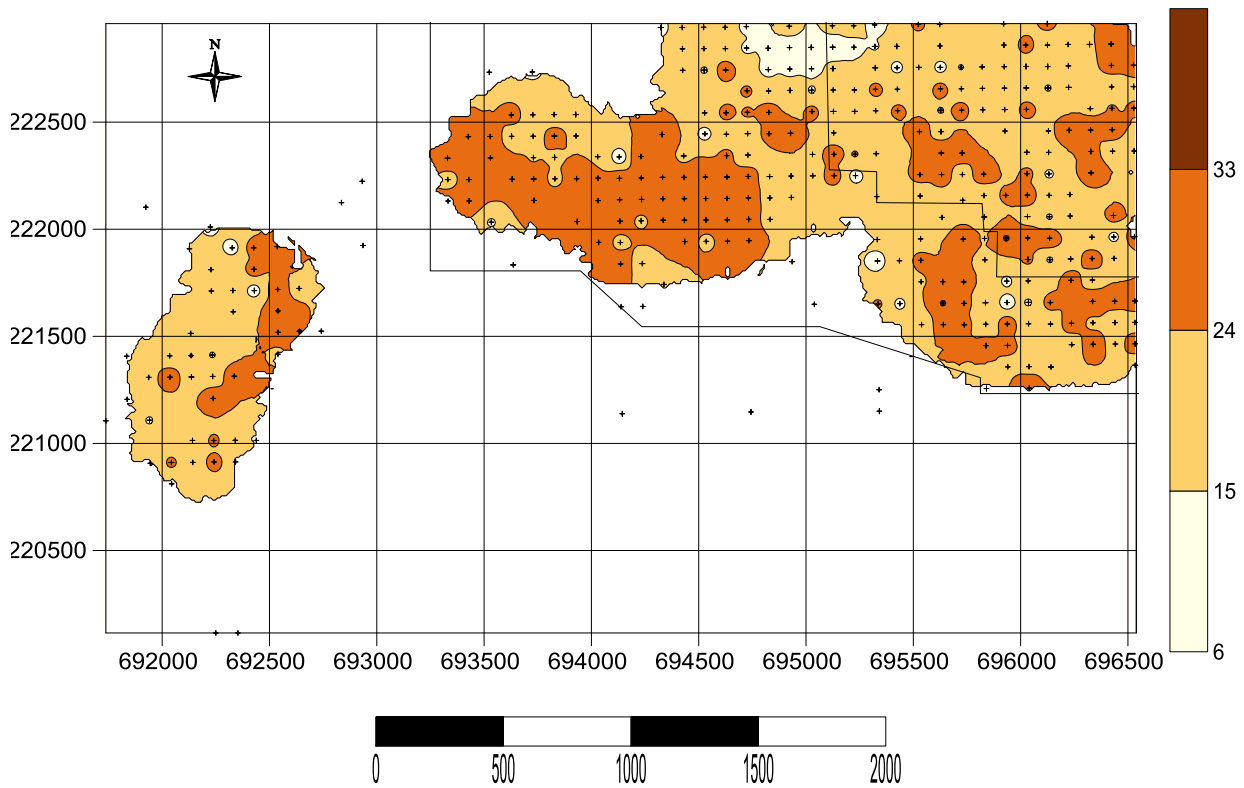
Aexo 8 Mapa de contenido de Níquel en el horizonte de Saprolita de Balance.



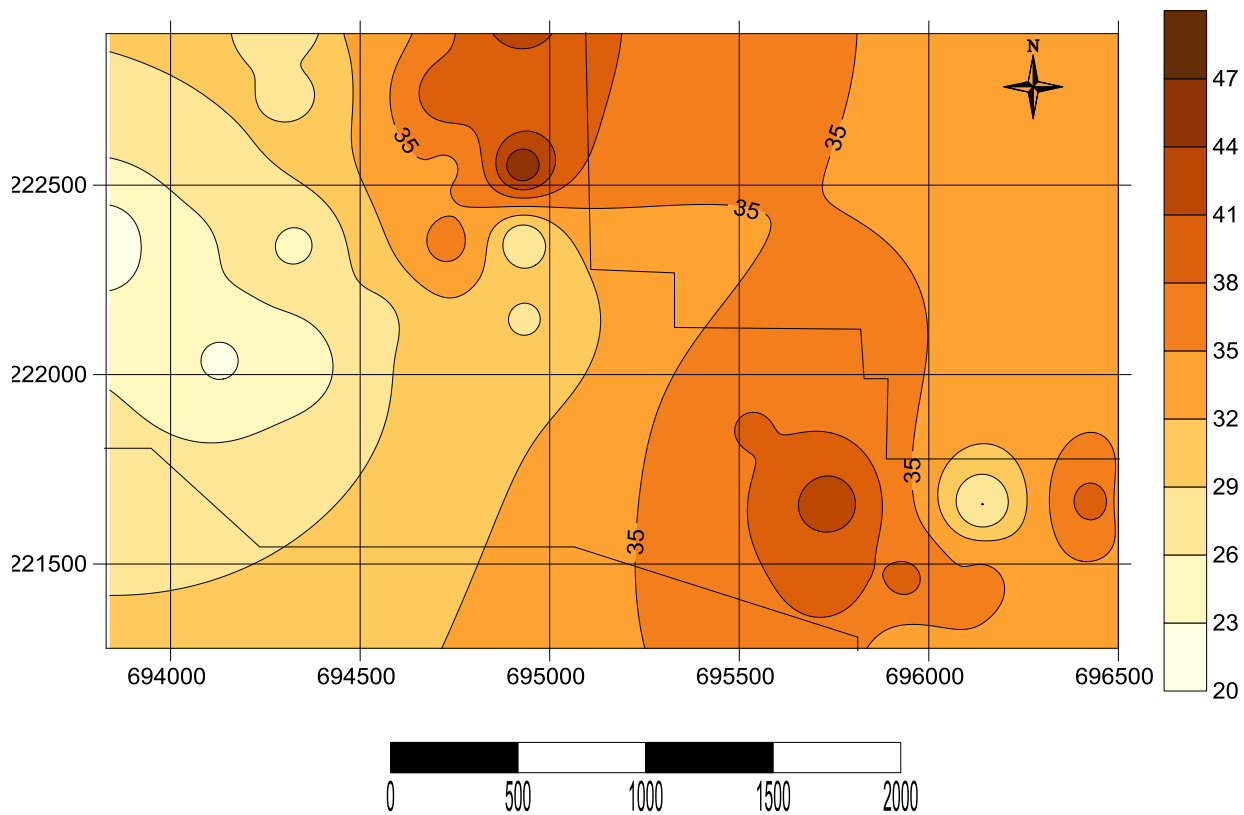
Anexo 9 Mapa de contenido de Cobalto en el horizonte de Saprolita de Balance.



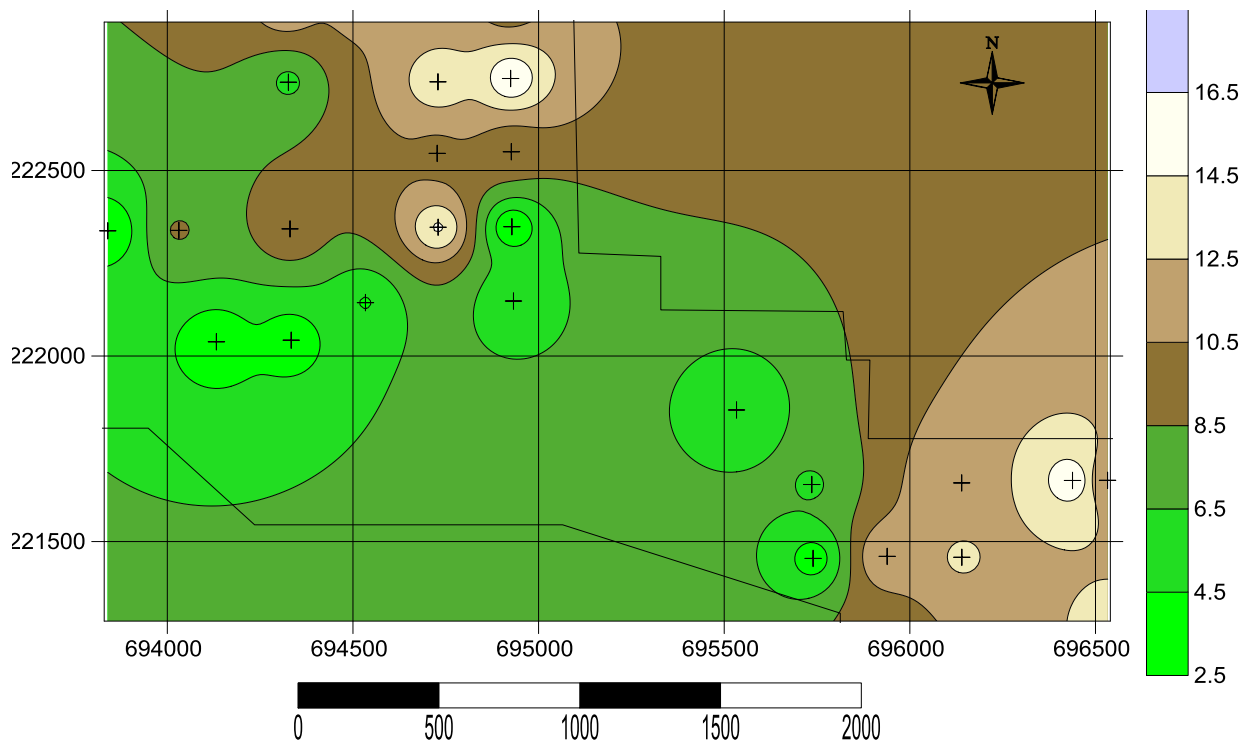
Anexo 10 Mapa de contenido de Hierro en el horizonte de Saprolita de Balance.



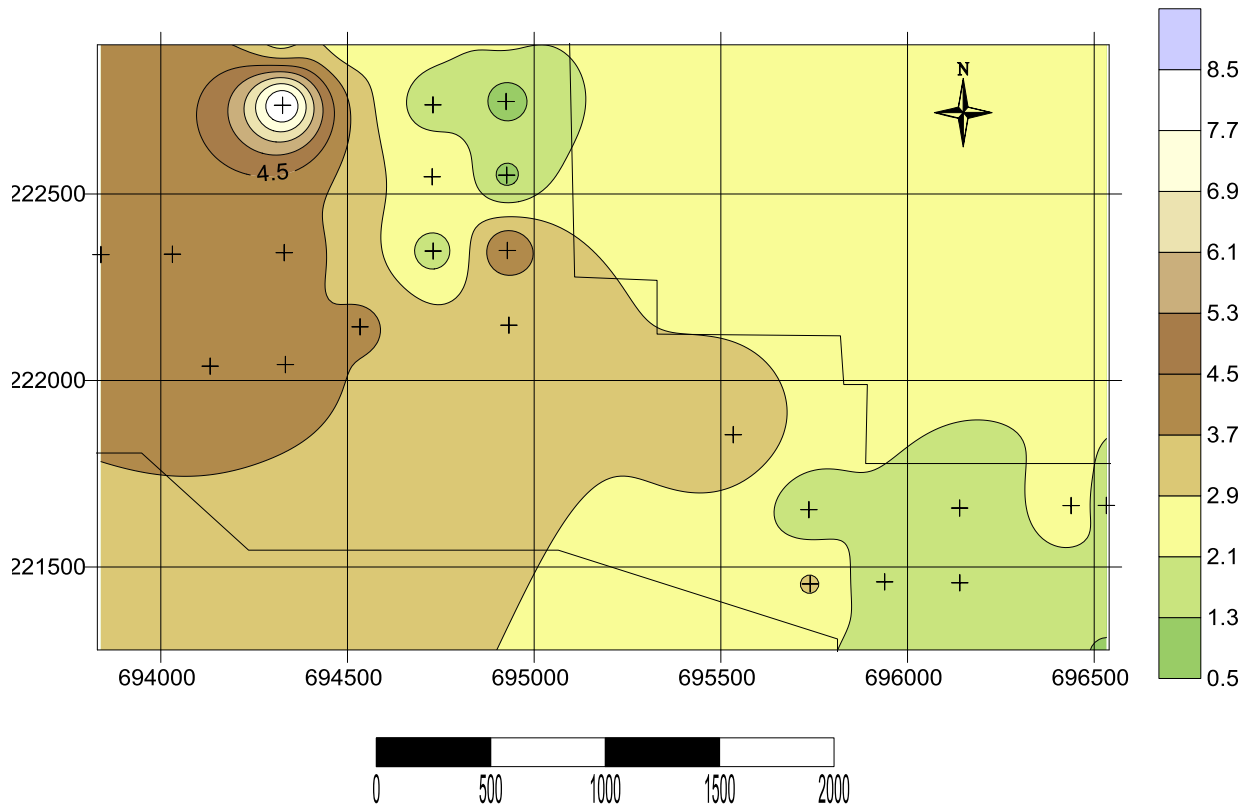
Anexo 11 Mapa de contenido de Sílice en el horizonte de Saprolita de Balance.



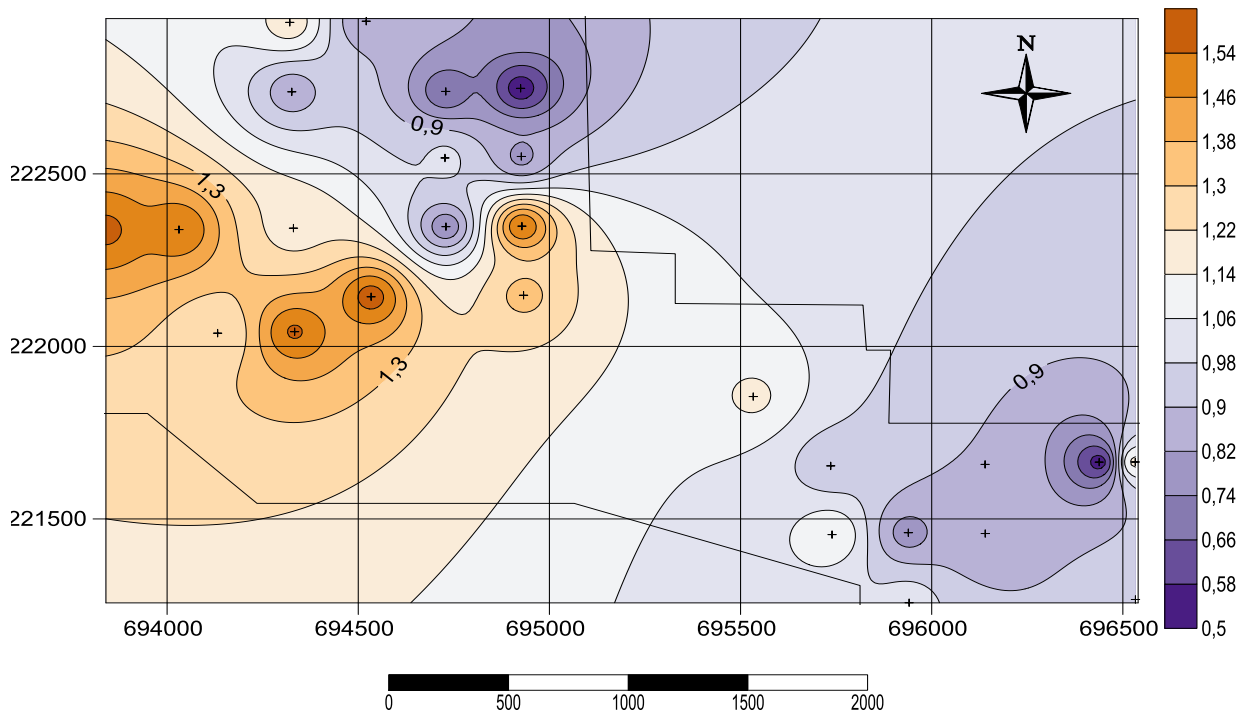
Anexo 12 Mapa de contenido de Magnesio en el horizonte de Saprolita de Balance.



Anexo 13 Mapa de contenido de Magnesio en el horizonte de Saprolita de Balance.



Anexo 14 Mapa de contenido de Cromo en el horizonte de Saprolita de Balance.



Anexo 15 Tabla de los contenidos del pozo 2

DESDE	HASTA	NI	FE	CO	SIO2	MG	AL
0	1	0,4	38,2	0,044	4,56	0,91	10,53
1	2	0,32	44,24	0,025	2,03	0,31	7,41
2	3	0,43	46,36	0,069	2,01	0,23	5,86
3	4	0,31	48,32	0,015	1,93	0,18	4,82
4	5	0,43	49,7	0,024	2,13	0,26	4,45
5	6	0,49	51,39	0,017	2,09	0,38	3,83
6	7	0,57	50,6	0,077	2,2	0,34	4,62
7	8	0,61	48,34	0,144	2,52	0,37	5,24
8	9	0,86	45,68	0,2	4,57	0,63	5,05
9	10	0,72	45,31	0,197	5,1	0,35	6,37
10	11	0,79	46,22	0,161	4,07	0,37	5,43
11	12	0,72	42,19	0,135	10,31	0,38	5,29
12	13	1,35	36,8	0,089	19,77	1,67	3,67
13	14	1,56	19,83	0,047	36,99	8,8	2,17
14	15	1,76	27,53	0,056	31,53	5,49	2,01
15	16	2,05	22,06	0,046	34,66	9,71	1,42
16	17	1,99	35,04	0,072	22,15	3,49	2,33
17	18	2,01	18,86	0,034	33,46	10,8	2,6
18	19	2	21,01	0,041	32,83	12,03	1,27
19	20	1,8	28,41	0,062	25,35	7,66	2,02
20	21	1,59	21,12	0,044	34,99	10,62	1,51

Anexo 16 Tabla de los contenidos de los elementos principales y nocivos del pozo 20.

DESDE	HASTA	NI	FE	CO	SIO2	MG	AL
0	1	0,12	36,29	0,028	1,1	0,05	13,02
1	2	0,17	38,58	0,015	1,26	0,11	11,22
2	3	0,29	44,23	0,01	1,87	0,2	7,57
3	4	0,31	46,73	0,019	2,78	0,22	6,29
4	5	0,47	50,37	0,052	2,28	0,07	4,03
5	6	0,63	51,93	0,097	1,84	0,1	3,76
6	7	1,13	49,81	0,202	2,57	0,05	3,59
7	8	1,45	46,24	0,347	4,45	0,17	4,29
8	9	1,58	48,91	0,163	4,73	0,29	3,37
9	10	1,53	48,3	0,133	5,19	0,65	3,36
10	11	1,44	47,34	0,116	5,86	0,94	3,3
11	12	1,56	48,15	0,115	4,87	0,49	3,34
12	13	1,53	15,86	0,031	35,79	14,55	1,56
13	14	1,41	16,89	0,032	32,52	14,06	2,18
14	15	1,53	47,69	0,115	5,63	0,69	3,16
15	16	1,44	15,39	0,029	34,82	15,02	1,33
16	16,5	1,15	11,96	0,02	38,54	18,57	0,95

Anexo 17 Tabla de los contenidos de los elementos principales y nocivos del pozo 33.

DESDE	HASTA	NI	FE	CO	SIO2	MG	AL
0	1	0,39	46,06	0,116	3,19	0,37	7,32
1	2	0,41	46,8	0,099	2,29	0,29	7,54
2	3	0,4	47,37	0,063	2	0,46	5,5
3	4	0,46	48,9	0,071	2,33	0,39	4,71
4	5	1	49,93	0,174	2,25	0,45	3,71
5	6	1,15	49,7	0,154	2,28	0,44	3,65
6	7	1,42	49,12	0,155	2,7	0,37	3,95
7	8	1,86	47,06	0,16	4,01	0,45	3,4
8	9	2,15	43,55	0,131	9,48	0,74	2,99
9	10	2,43	35,96	0,08	23,07	2,12	3,16
10	11	2,48	19,35	0,039	35,98	12,36	1,36
11	12	2,62	15,72	0,03	34,75	14,08	1,05
12	13	2,65	15,01	0,035	35,36	14,16	1,9
13	14	1,61	8,77	0,015	38,14	18,03	2,72
14	15	0,84	8,11	0,014	40,74	19,66	0,83
15	16	0,53	6,72	0,014	41,62	21,08	0,56
16	17	0,3	10,23	0,019	37,7	20,91	1,07

Anexo 18 Tabla de los contenidos principales y nocivos del pozo 18

DESDE	HASTA	NI	FE	CO	SIO2	MG	AL
0	1	0,47	41,6	0,041	1,87	0,32	10,53
1	2	0,41	44,95	0,015	1,83	0,3	7,61
2	3	0,38	46,56	0,018	1,73	0,25	6,62
3	4	0,41	46,26	0,033	1,75	0,36	7,19
4	5	0,55	46,91	0,024	1,65	0,27	6,48
5	6	0,55	48	0,025	2,37	0,27	5,9
6	7	0,83	49,03	0,018	2,97	0,33	4,66
7	8	0,89	51,35	0,039	2,89	0,37	3,87
8	9	1,45	49,7	0,293	3,45	0,47	3,99
9	10	1,26	50,34	0,39	2,78	0,48	3,11
10	11	1,31	49,29	0,251	3,54	0,47	3,24
11	12	1,27	49,88	0,172	4,13	0,53	3,29
12	13	1,18	47,56	0,125	4,16	0,54	3,01
13	14	1,01	26,46	0,062	25,98	12,33	1,82