



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NÚNEZ JIMÉNEZ.”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

Tesis presentada en Opción al Título Académico de Master en
Geología

Evaluación de los parámetros geólogo-industriales del yacimiento Camarioca Este.

Maestría en Geología, Mención Geología de Yacimientos Minerales Sólidos
9^{na} Edición

Autor: Ing. Adis Yamel Rodríguez Silva

Tutor(es): Dra. Alina Rodríguez Infante

Dr. Carlos Alberto Leyva Rodríguez.

Dr. León Ortelio Vera Sardiñas. †

Año 2015

RESUMEN

En el trabajo *“Evaluación de los parámetros geólogo-industriales del yacimiento Camarioca Este”* se realizó con el objetivo de evaluar el comportamiento espacial de dichos parámetros para las menas del yacimiento Camarioca Este.

Esta investigación se realizó en tres etapas, una preliminar en la que se seleccionó el área de estudio y los antecedentes del tema, otra experimental en la que se realizaron y analizaron los mapas de las diferentes menas, y por último la etapa interpretativa.

Dentro de los parámetros analizados están las potencias de menas, el comportamiento de los elementos útiles y nocivos; y la ubicación y caracterización de las intercalaciones no industriales. Quedando establecidos dos dominios geológicos bien definidos cuyo contacto es tectónico.

SUMMARY

At work *Evaluation of the parameters geologist industrials of the deposit Camarioca East* had total success for the sake of evaluating the space behavior of the aforementioned parameters for the deposit's ores.

This investigation came true in three stages, a preliminary in which the area of study and the background of the theme, experimental other they realized in and that they examined the maps of the different ores in were selected, and finally the interpretative stage.

The potencies of ores, the behavior of the useful and noxious elements are within the examined parameters; And the position and characterization of the intercalations, do not instruct them. Being left once two geological clear-cut commands whose contact is tectonic were established.

	Página
INDICE	
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
PENSAMIENTO	IV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DEL YACIMIENTO CAMARIOCA ESTE	4
1.1 Introducción	4
1.2 Rasgos físico-geográficos	4
1.3 Base teórica de la investigación	6
1.4 Investigaciones precedentes	7
1.4.1 Estudios geológicos relacionados con los yacimientos lateríticos cubanos.	7
1.4.2 Trabajos desarrollados en el área de estudio	13
1.5 Características geológicas	16
1.5.1 Geología de la región	16
1.5.2 Geología del Yacimiento Camarioca Este	21
1.5.3 Tectónica del Yacimiento Camarioca Este	22
1.5.4 Corteza de intemperismo del yacimiento Camarioca Este	23
1.5.5 Caracterización geoquímica y mineralógica de las menas lateríticas del yacimiento.	29
1.6 Conclusiones	33
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	34
2.1 Introducción	34
2.2 Metodología de la investigación	34
2.2.1 Etapa I. Preliminar	35
2.2.2 Etapa II. Trabajos Experimentales	35

2.2.3 Etapa III. Interpretación de los resultados	40
2.3 Conclusiones	40
CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	42
3.1 Introducción	42
3.2 Potencia de menas del yacimiento Camarioca Este	42
3.2.1 Escombros	43
3.2.2 Limonita de Balance	44
3.2.3 Saprolita de Balance	45
3.2.4 Potencia de mena total (LB+SB)	46
3.3 Análisis del comportamiento de los elementos útiles y nocivos en las menas del yacimiento	47
3.3.1 Escombros	47
3.3.2 Limonita de Balance	53
3.3.3 Saprolita de Balance	59
3.3.4 Potencia de mena total (LB+SB)	65
3.4 Caracterización de las intercalaciones no industriales	71
3.4.1 Potencia de las intercalaciones no industriales	71
3.4.2 Análisis de los elementos útiles y nocivos en las intercalaciones no industriales	72
3.5 Evaluación de los parámetros Geólogo-Industriales en el yacimiento Camarioca Este	80
3.5.1 Potencia de menas del yacimiento Camarioca Este	81
3.5.2 Elementos útiles y nocivos del yacimiento Camarioca Este	81
3.5.3 Intercalaciones no industriales	83
3.6 Conclusiones	88
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	92

INTRODUCCIÓN

La industria del níquel es una de las más importantes por sus aportes a la economía del país. El Caribe contiene alrededor del 7 % de los recursos mundiales de níquel laterítico, con los depósitos más extensos en el este de Cuba. Desafortunadamente los mejores depósitos han sido prácticamente agotados, aun así las empresas involucradas en esta industria pretenden aumentar los volúmenes de producción, por lo que se enfrentan al reto de explotar con eficiencia yacimientos más complejos, menos potentes y más variables. (Martínez_Vargas, 2006)

Sin embargo en la actualidad no se profundiza todo lo necesario en el estudio de la complejidad de estos yacimientos, no se analizan de forma integral los factores que condicionan la calidad del mineral útil. Los sistemas de exploración no interpretan integralmente este parámetro y de una campaña a otra no se amplían los conocimientos geológicos, se hacen reportes y se entregan informes sin un análisis geológico profundo, aun cuando en la tarea técnica se solicita.

Realizar la caracterización de un yacimiento debe partir del conocimiento de los parámetros geólogo-industriales más importantes, establecidos ya por (Oleg_Vladimirovich & Ariosa_Iznaga, 1986). Entre ellos se encuentra la forma, dimensiones y estructura interna del cuerpo mineral; las condiciones de yacencia de los depósitos de minerales útiles; las condiciones hidrogeológicas del yacimiento; las condiciones mineras de explotación y la calidad del mineral útil.

Los cuerpos minerales de las cortezas de intemperismo tienen forma de manto, son complejos y esto se debe en gran medida a la distribución desordenada de las intercalaciones no industriales, las cuáles pueden ser potentes y muy potentes.

Los yacimientos de la corteza cubren las rocas primarias a cuya transformación se debe su origen, la superficie inferior de tales depósitos tiene una morfología compleja, con una transición gradual a rocas no alteradas. El contorno externo es sinuoso; en su interior hay fragmentos de rocas no alteradas. Las dimensiones de los

depósitos alcanzan miles de metros de diámetro y decenas de metros de profundidad.

Las condiciones de yacencia de estos yacimientos son en forma de manto horizontal sobre la roca encajante, cuyo contacto puede ser suave o irregular.

Las condiciones hidrogeológicas de los yacimientos lateríticos son un factor importante, la afluencia total de las aguas subterráneas determina en gran medida la mineralización, con ellas ocurre la lixiviación de las rocas madres y la migración de los elementos químicos de forma vertical y horizontal, dando lugar a la formación de nuevos minerales y el enriquecimiento de la corteza de los elementos útiles y nocivos, dependiendo de la roca que subyace.

Dentro de estos parámetros, la calidad del mineral útil (mena), es de suma importancia, se utiliza para contornear los cuerpos minerales y por consiguiente influye sobre su forma, estabilidad, potencia, etc. (Oleg_Vladimirovich & Ariosa_Iznaga, 1986). Existen diferentes factores que la condicionan, en primer lugar la constitución de las rocas sobre las que se desarrolló la corteza, la red de exploración, los métodos de muestreo y de análisis químico, entre otros.

La variabilidad de la corteza de intemperismo de los yacimientos ferroniquelíferos y el comportamiento de los parámetros geólogo industriales, han sido por décadas objeto de estudio. La necesidad de conocer la distribución espacial de estos parámetros con un mayor grado de detalle, se ha hecho cada vez más inminente, debido fundamentalmente al contexto de la economía mundial. La crisis actual ha provocado que los precios de la tonelada de níquel hayan descendido bruscamente.

En esta investigación analizaremos como parámetros geólogo-industriales, la potencia de menas de escombros superior (ES), escombros intercalados (EI), laterita de balance (LB) y saprolita de balance (SB), intercalaciones no industriales y contenido de elementos útiles y nocivos. Los que se escogen por el peso que tienen a la hora de evaluar las reservas minerales.

El insuficiente conocimiento de la variabilidad de los parámetros Geólogo-Industriales: potencia, intercalaciones no industriales y contenido de elementos

útiles y nocivos en el yacimiento Camarioca Este, constituye el **problema** de esta investigación.

Objeto de estudio: Parámetros Geólogo-Industriales de los yacimientos de menas lateríticas.

Campo de acción: Las menas del yacimiento Camarioca Este.

El objetivo consiste en evaluar el comportamiento espacial de los parámetros Geólogo-Industriales: potencia, intercalaciones no industriales y contenido de elementos útiles y nocivos para determinar las zonas más perspectivas para la minería en cuanto a calidad de la mena en el yacimiento Camarioca Este.

Objetivos específicos:

- Determinar la variabilidad de la potencia de las menas presentes en el yacimiento.
- Determinar la variabilidad de los contenidos de elementos útiles y nocivos.
- Caracterizar las intercalaciones no industriales.

Hipótesis: Si se logra evaluar el comportamiento de los parámetros Geólogo-Industriales: potencia de menas, contenido de elementos útiles y nocivos e intercalaciones no industriales en el yacimiento Camarioca Este, se podrá realizar una mejor planificación de la explotación.

CAPÍTULO I: GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DEL YACIMIENTO CAMARIOCA ESTE

- 1.1 Introducción**
- 1.2 Rasgos físico-geográficos**
- 1.3 Base teórica de la investigación**
- 1.4 Investigaciones precedentes**
- 1.5 Características geológicas**
- 1.6 Conclusiones**

1.1 Introducción

En este capítulo se realiza una caracterización de la geología y mineralogía de la región y del yacimiento; así como de las investigaciones precedentes.

1.2 Rasgos físico-geográficos

El yacimiento Camarioca Este se encuentra ubicado en la parte noreste de la provincia Holguín, en el municipio de Moa, que abarca un área de 19.53 Km². Ubicándose según el sistema de Lambert entre las coordenadas:

X: 700800; 706800

Y: 211000; 217400

Los límites naturales son los siguientes: al Norte por la línea convencional que lo separa de los yacimientos Yagrumaje Sur y Yagrumaje Oeste, al Este por el río Cayo Guan, por el Oeste la línea convencional que lo separa el yacimiento Camarioca Norte y Moa Oriental y al Sur el río Cayo Guan.

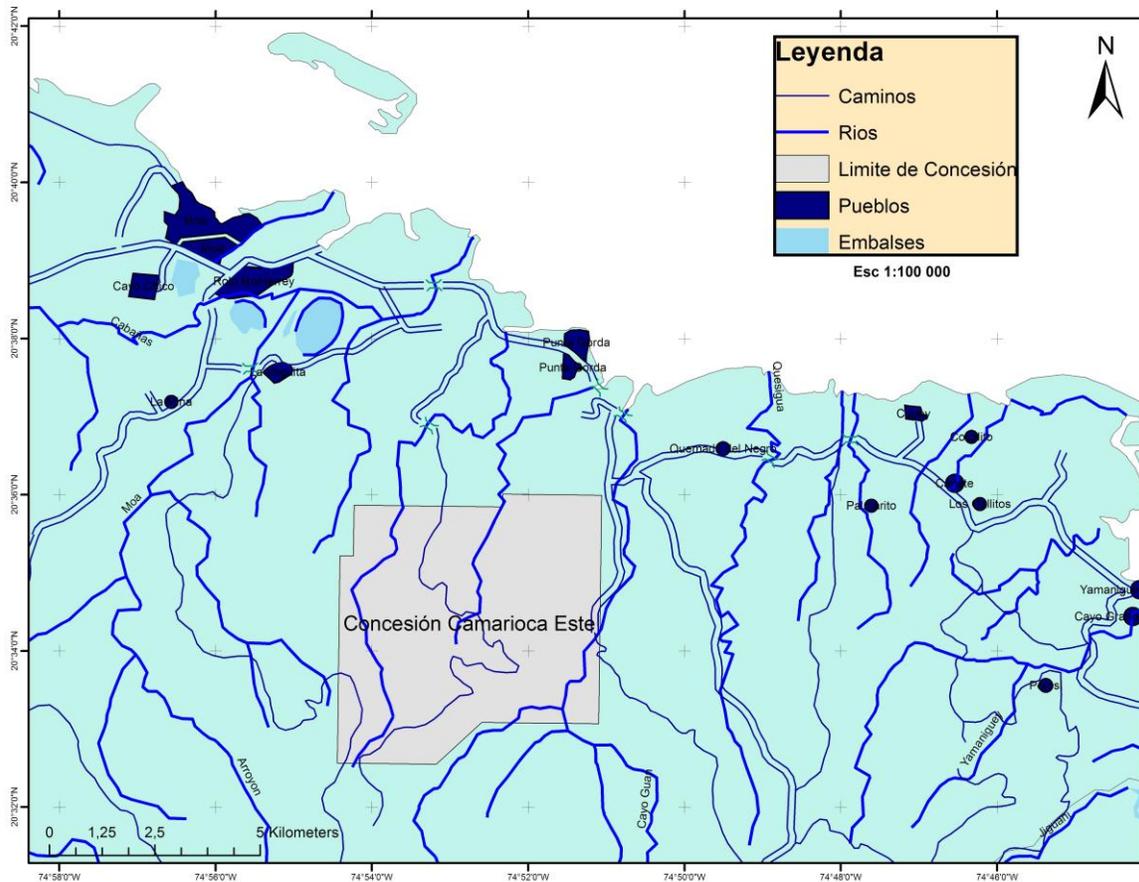


Figura No 1.1: Ubicación Geográfica del Yacimiento Camarioca Este. Barrera V. 2014.

Este yacimiento presenta un clima subtropical como el del resto del país, existiendo dos períodos de lluvias. Las precipitaciones anuales constituyen de 2300 a 2700 mm. La humedad relativa del aire es de un 79 %, la temperatura promedio anual del aire es de 24 ° C, con oscilaciones de 15 a 30 ° C.

El área del yacimiento se caracteriza por tener un relieve de montañas bajas, con cotas absolutas desde 102.4 m hasta 788.5 m y valles profundos en los ríos Cayo Guan, Yagrumaje y Punta Gorda y otros arroyos. El relieve se presenta diseccionado en sus bordes oriental y occidental, así como en el centro, asociado a las cañadas y pendientes de los arroyos y ríos relacionados con la cabecera de los ríos Cayo Guan, Punta Gorda y Yagrumaje, que se han desarrollado siguiendo principalmente líneas tectónicas, que afectan relevantemente al área de Camarioca Este.

La vegetación es tropical; las montañas están cubiertas de manera espesa por arbustos espinosos entrelazados por lianas. En las zonas peniplanizadas donde se desarrollan las lateritas, crecen de manera abundante los pinos.

En la región las vías de comunicación son buenas, el yacimiento es atravesado por algunos caminos creados durante el desarrollo del yacimiento.

La economía de la región está determinada principalmente por la Industria Minero Metalúrgica, la que presenta un extraordinario desarrollo, cuenta con dos plantas procesadoras de menas de níquel ubicadas en el municipio de Moa, actualmente en producción, siendo su fuente principal las menas ferroniquelíferas-cobálticas friables, las cuales están muy extendidas en numerosos yacimientos y sectores conocidos. Este reglón constituye el segundo rubro exportable del país.

En la zona se encuentran numerosos yacimientos de cromitas, siendo los más importantes son Merceditas, Amores y Los Naranjos. Actualmente estos yacimientos aunque poseen reservas probadas no se explotan debido a los bajos precios del mineral en el mercado mundial. En el área de Cayo Guam se encuentra una planta de beneficio, cuyas funciones, destinadas a procesar las menas cromíferas de la región, han sido modificadas para la obtención de áridos serpentiniticos.

La agricultura constituye otro renglón económico, destacándose los municipios de Sagua de Tánamo y Moa con producciones importantes de café, cacao y madera. La producción agroindustrial no satisface la actual demanda de la población.

1.3 Base teórica de la investigación

En la región de Moa existe uno de los mayores yacimientos de níquel del mundo, asociado a las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas desarrolladas sobre las rocas ultramáficas del macizo ofiolítico del nordeste de Cuba Oriental.

En los yacimientos ferroniquelíferos existe una gran variabilidad de la corteza de intemperismo, en correspondencia con el tipo de roca sobre la cual se desarrolló, ésta se presenta según un nivel evolutivo determinado, posee un grado de madurez en cada sector del yacimiento, este último condiciona las características físicas,

químicas y mineralógicas del material laterítico. (Rojas_Purón, 1994). Por lo que el estudio del comportamiento de los parámetros geólogo-industriales es de vital importancia a la hora de evaluarlos.

En el yacimiento Camarioca Este es insuficiente el conocimiento de la variabilidad de dichos parámetros, específicamente la calidad de los elementos útiles y nocivos de las distintas menas, lo que constituye el punto de partida de esta investigación. Con el objetivo de establecer el comportamiento espacial de los parámetros Geólogo-Industriales: potencia, contenido de elementos útiles y nocivos e intercalaciones no industriales que permitan determinar las zonas más perspectivas para la minería.

1.4 Investigaciones precedentes

Los yacimientos lateríticos cubanos han sido estudiados ampliamente, se procede a realizar un análisis de las investigaciones desarrolladas sobre la región así como con la prospección y exploración orientativa.

1.4.1 Estudios geológicos relacionados con los yacimientos lateríticos cubanos.

Las investigaciones de los yacimientos lateríticos cubanos comienza antes del triunfo de la revolución por compañías estadounidenses, 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, “pero no es hasta la década del sesenta que se desarrollan investigaciones profundas de carácter regional, haciéndose imprescindible mencionar los trabajos de los especialistas soviéticos Adamovich y Chejovich (1993), que constituyeron un paso fundamental en el conocimiento geológico del territorio oriental, esencialmente para las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas. La concepción inicial de estos trabajos ha sufrido importantes cambios con el aporte de investigaciones más recientes.

Adamovich y Chejovich , elaboraron un mapa geológico a escala 1: 250 000 sobre la base de interpretaciones fotogeológicas y marchas de reconocimiento geológico en el cual fueron limitadas las zonas de cortezas de intemperismo para el territorio

Mayarí - Baracoa, establecieron la secuencia estratigráfica regional y respecto a la estructura geológica, consideraron la existencia de un anticlinal con un núcleo de rocas antiguas - zócalo metamórfico - y rocas más jóvenes en sus flancos, estando cortada toda la estructura por fallas normales que la dividen en bloques. De igual forma ellos realizaron reconstrucciones paleogeográficas que le permitieron caracterizar el relieve pre Maestrichtiano de la región al mismo tiempo que clasificaron el relieve actual.

Las investigaciones posteriores demostraron que la estructura del territorio oriental cubano estaba muy lejos de tener el estilo sencillo que ellos concibieron, resultando esclarecidos algunos elementos referidos a la existencia de fuertes movimientos tectónicos tangenciales que provocaban la aparición de secuencias alóctonas y autóctonas intercaladas en el corte geológico, así como el emplazamiento de cuerpos serpentiniticos en forma de mantos tectónicos alóctonos sobre las secuencias del Cretácico Superior lo cual complica extraordinariamente la interpretación tectono - estratigráfica.

De igual forma se estableció que el origen y posición geólogo-estructural de los conglomerados y brechas de composición serpentinitica que Adamovich y Chejovich asignan al periodo Maestrichtiano, tienen un carácter esencialmente sinorogénico relacionado con los movimientos tectónicos de emplazamiento de los cuerpos serpentiniticos". Tomado de (Rodríguez_Infante, 1998).

Estas 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. (Robert, 2012)

En los yacimientos lateríticos cubanos se han realizado una gran cantidad de trabajos investigativos relacionados con las diferentes ramas de la geología.

En el yacimiento Punta Gorda (Formell_Cortina & Oro_Alfonso, 1980), realizan un estudio sobre los procesos de redeposición, los que comenzaron en el Plioceno y se desarrollaron durante todo el Pleistoceno, durante el cual, y en el marco de los levantamientos y con condiciones climáticas apropiadas, existió un régimen

de activa oxidación, que dio lugar a la re-laterización de los productos de redeposición. La influencia de los productos de redeposición en el corte aumentan desde las partes más elevadas del relieve hacia la costa. Por su parte los espesores de la corteza de intemperismo in situ sobre rocas ultrabásicas disminuyen hasta desaparecer del corte.

Más adelante en el yacimiento Moa (Rojas_Purón, 1994), afirma que la goethita es la principal fase mineral portadora de Ni en los horizontes lateríticos de las cortezas de intemperismo, porta de 1.21 a un 1.55 % de Ni, en un contenido promedio de 1.40 %. Predomina en el horizonte de ocre medio, concentrándose en la fracción fina electromagnética del material laterítico de color amarillo parduzco.

El depósito San Felipe, (Gallardo_Tamara et al., 2010) con un gran desarrollo de una zona esmectítica en el horizonte saprolítico, es uno de los mayores depósitos lateríticos de Ni tipo arcilla a escala mundial. Además, representa el único ejemplo de este tipo de depósito en el Caribe, donde existe un predominio de los tipos óxido (Cuba oriental). Los mayores contenidos de Ni (hasta 2.4 %) se encuentran en la zona saprolítica intermedia y superior, y la mena principal es la nontronita. La formación de esmectitas sugiere cantidades importantes de Ca, Na y Al en la roca madre, esto podría estar relacionado con la presencia de harzburgitas con clinopiroxenos y de cuerpos de gabros que intruyen a las peridotitas.

Sobre los dominios morfo tectónicos realizan (Barea_Valdes & Barrera_Veitia, 2008) un estudio detallado en las concesiones mineras La Delta, Cantarrana y Santa Teresita para el establecimiento de los dominios geomorfológicos. Concluyen que en la concesión Cantarrana se establecieron dos dominios: Cantarrana Norte y Cantarrana Sur, tomando como criterio para su división la Falla Arco Norte que divide el área de la concesión en dos escalones estructurales separados por un escarpe pronunciado. Estos dominios se diferencian entre sí por los valores de potencia, anomalas desde el punto de vista estructural y topográfico, ya que Cantarrana Norte, ubicado sobre el bloque de falla más levantado y con mayores valores hipsométricos, presenta los mayores espesores de corteza. La concesión Santa Teresita quedó dividida en tres dominios: Sur, Centro y Norte. El principal criterio tomado en el

establecimiento de estos dominios fueron elementos morfo estructurales, en específico el desarrollo de cárcavas profundas con control estructural en su desarrollo, las que alcanzan su máxima expresión en el dominio Cantarrana Centro. Estos elementos morfológicos, además de tener implicación directa en el grado de desarrollo y conservación de la corteza laterítica, deben tenerse en cuenta por la complejidad que pueden inducir en los procesos de extracción del mineral.

En el trabajo “Dominios geológicos del yacimiento laterítico de Punta Gorda, Moa: Delimitación y caracterización” (Vera_Sardiñas et al., 2001) resume que el yacimiento Punta Gorda es un depósito residual de Ni, Co y Fe, asociado a una corteza de meteorización laterítica desarrollada sobre rocas ultrabásicas. No obstante a su aparente homogeneidad, se ha podido comprobar que las características de esta corteza varían espacialmente de modo significativo; se hace necesario entonces delimitar sectores o dominios con rasgos distintivos dentro del depósito. Mediante el empleo de una metodología basada en la modelación digital del terreno (Martínez y Pérez, 2000), se logró subdividir el depósito en siete dominios, atendiendo a determinadas características geomorfológicas, geológicas y geoquímicas propias. Se ofrece el mapa de dominios del yacimiento y se describen las características de cada uno de ellos.

En cuanto a los parámetros geólogo-industriales, en la década del 70, ante la necesidad de conocer con un mayor grado de detalle el comportamiento espacial de éstos en los yacimientos lateríticos, debido al incremento de las pérdidas y empobrecimiento en el proceso de extracción, se comienzan a realizar trabajos dirigidos a esta dirección, tanto por parte de las Empresas Mineras, como por el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. (Vera_Sardiñas, 2001)

Los trabajos preliminares marcaron una pauta a seguir y poco a poco se han venido perfeccionando las técnicas utilizadas para estos fines y asimilando, por parte de los especialistas, los últimos avances en el campo del procesamiento de la información, para dar respuesta a esa compleja problemática que es la variabilidad espacial de los parámetros geólogo industriales de los yacimientos.

En el “Estudio de la Variabilidad de la Potencia y el Contenido del Yacimiento Martí”, (Reyes, 1982) utiliza los métodos: Estadístico, de Bogatsky y el Método de Osetsky. Entre las conclusiones más importantes de este trabajo se destacan primero, que en todos los casos la variabilidad en la saprolita de balance (SB) es mayor que en la laterita de balance (LB). Se plantea además que de todos los componentes el más variable es el Cobalto y por último, que la potencia mineral constituye el parámetro más variable. Un estudio similar realiza (Riz_Romero, 1984) en dos bloques del Yacimiento Pinares de Mayarí, concluyendo que el parámetro potencia de menas es más variable en el horizonte serpentínico. Sin llegar a realizar en ambos casos un análisis del fenómeno geológico que interviene en esta variabilidad.

Usando la técnica del Coeficiente de Variación (Velázquez_Calzadilla, 1985) estudia la variabilidad de los elementos Fe y Ni en las menas industriales LB y SB en 15 bloques del sector central del Yacimiento Punta Gorda, y entre otros aspectos destaca que el horizonte de SB se presenta más variable que el de LB. En su investigación no tiene en cuenta los elementos nocivos.

En el Yacimiento Punta Gorda (Tamayo_Regalado, 1985) estudia la variabilidad de los parámetros fundamentales del Sector Central destacando que el contacto superior de la LB se presenta menos irregular que el inferior y que la parte central del Yacimiento es menos variable. No explica el porqué de esta diferencia en el comportamiento de parámetros.

El parámetro más variable del Sector Zona A, Yacimiento Moa es la potencia de menas. (Alvarez, 1990).

En 1993 comienzan a introducirse en estas investigaciones en Cuba los conceptos sobre Geoestadística y el uso de los variogramas como herramientas para la caracterización de la variabilidad de los parámetros geológicos en los yacimientos. El trabajo de (Gutiérrez & Beyra, 1993). “Introducción al Análisis Variográfico de Yacimientos de Corteza de Intemperismo” marcó pautas y despertó el interés en cuanto al uso de estas nuevas técnicas, desarrolladas por Matheron (Sudáfrica) y continuadas por David M., entre otros. En este trabajo también se demuestra que el

parámetro más variable es la potencia de menas. Se analizan los parámetros con técnicas novedosas.

Con las técnicas de coeficiente de variación y elaboración de variogramas direccionales (Ilidio, 1999) realiza un análisis variográfico del Yacimiento Camarioca Norte”, comprobando que la potencia resulta ser también el parámetro más variable y que el yacimiento se comporta de manera isotrópica. Concluyendo que según el grado de variabilidad se clasifica de regular a muy irregular.

En su tesis doctoral (Legrá_Lobaina, 1999, 2014) realiza un aporte importante, sobre todo en el campo de la geoestadística, aplicada al estudio y explotación de los yacimientos minerales lateríticos, presentando modelaciones novedosas tridimensionales de los parámetros geoquímicos incluidos en el programa “Tierra” elaborado precisamente para el procesamiento de la información en yacimientos de este tipo genético, el que se utilizó por muchos años como herramienta básica para el pronóstico, la planificación y control de la minería en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

En su tesis de maestría (De Dios_Leyva, 2000) establece una clasificación detallada de las intercalaciones no industriales dejando claro que no deben incluirse como menas, ya que empobrecen el yacimiento. Este trabajo es de gran importancia por ser el primero en realizarse y el aporte que esto implica.

En su tesis doctoral (Vera_Sardiñas, 2001) propone un procedimiento para la determinación de redes de exploración y concluye que los parámetros más variables en los dos bloques estudiados del Yacimiento Punta Gorda son la potencia de escombro y la potencia de menas. Constituye un aporte importante, aunque solo estudia las potencias de escombro superior, potencia de mena y contenidos de hierro y níquel para la capa de mena industrial. No analiza los nocivos.

La metodología para la estimación y simulación geoestadística realizada para la Caracterización de Parámetros Geólogo-Industriales en el Yacimiento Laterítico Punta Gorda (Cuador_Gil, 2001). Concluye que la modelación numérica de los yacimientos lateríticos cubanos se dificulta por la compleja estructura geológica y,

consecuentemente, del campo menífero, lo que está condicionado por la naturaleza irregular de la constitución de la roca madre, la distribución de las propiedades físico-mecánicas, estructura litológica variable en la corteza de intemperismo y diferentes condiciones geomorfológicas, hidrogeológicas y microclimáticas. Se tienen en cuenta por primera vez los aspectos geológicos y estructurales. No se realiza modelación para los elementos nocivos.

En su trabajo “Consideraciones acerca de la Dilución en yacimientos lateríticos de Ni y Co y factores que influyen en su comportamiento” (Fernández_Martínez & León_Mariño, 2009) proponen una serie de parámetros geológicos y mineros que inciden en la dilución de los yacimientos Lateríticos de Ni y Co. Destacando dentro de ellos la potencia de menas, la forma de las intercalaciones no industriales y la potencia mínima industrial entre otros.

En el análisis del comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos en el Yacimiento Camarioca Sur y su incidencia en la explotación (Robert, 2012) expone que los mayores contenidos de elementos útiles Ni y Co se pueden observar hacia la zona central y norte del yacimiento, siendo el área con mayores perspectivas para la minería. Incluye la evaluación de los elementos nocivos. Declara la presencia de corteza redepositada por la ausencia y repetición de horizontes, pero no evalúa las intercalaciones no industriales.

En su tesis de grado “Comportamiento Geoquímico de los Componentes principales y nocivos en las menas lateríticas del Yacimiento La Delta” (Castillo_Ramos, 2014), realiza una evaluación de la potencia de las menas y los elementos útiles y nocivos determinando su distribución espacial. Siendo uno de los más completos aunque no tiene en cuenta las intercalaciones no industriales.

1.4.2 Trabajos desarrollados en el área de estudio

En el yacimiento Camarioca Este se han desarrollado un conjunto de trabajos geológicos dirigidos a la prospección y exploración orientativa, en ellos se reflejan los siguientes aspectos:

Levantamiento geológico

Laboreos de exploración

Pozos de perforación

Muestras paleontológicas

Muestreo de testigo de perforación, de surco y tecnológico.

Análisis mineralógico, paleontológico, espectral; etc.

Métodos geofísicos. SEV-PI y aplicación de SM.

A continuación se muestra una síntesis de los principales resultados de las investigaciones geológicas desarrolladas en el yacimiento:

En la etapa comprendida entre 1973–1976 se efectuaron los trabajos de exploración orientativa y cálculo de reservas en los yacimientos Camarioca Este, Camarioca Norte y Camarioca Sur (Sitnikov et al., 1976), donde se recoge una detallada información geológica, que incluye, la geología, petrología y tectónica del yacimiento, además se valoraron las reservas de los yacimientos lateríticos. La petrografía no pudo ser usada porque está basada en la descripción del geólogo en el campo, las secciones delgadas se perdieron en los laboratorios.

El Informe de la Exploración Detallada del Yacimiento de menas níquelíferas Las Camariocas realizada durante los años 1976 – 1978 con cálculo de reserva al 1ro de enero de 1984 (Ivanov et al., 1985), en red de 300 X 300 m para todos los sectores de Las Camariocas, en ese entonces como estudio preliminar para la futura minería de la región, porque no estaba concesionada a ninguna industria. Reporta recursos para cada uno de los sectores en diferentes variantes, incluye Yagrumaje Sur, Norte y Oeste, clasificadas todas en Categoría de Recursos C1.

En el Informe de la exploración orientativa del Yacimiento Las Camariocas sectores Camarioca Este (IV), Camarioca Norte (V) y Camarioca Sur (VI) para la evaluación de las menas lateríticas ferroníquelíferas cobaltíferas, ejecutadas entre los años 1986–1990, con cálculo de reserva en el año 1994. (Pérez & Ortiz, 1994) Se definen

todos los sectores mencionados anteriormente en una red de 100 x 100 m, actualizando los Recursos como Indicados.

Más tarde se desarrolla el informe geológico para la exploración detallada en 11 bloques del yacimiento Camarioca Este en la red de 33.33 m X 33.33 m (Barrabí et al., 1999), en estos bloques además de todos los estudios geológicos tradicionales en las exploraciones geológicas, incluyen estudios geofísicos aplicando SEV-PI en perfiles para el completamiento del estudio de la corteza friable del yacimiento. Los Recursos para estos 11 bloques se dan como Medidos.

En el año 2003, continúan los trabajos de exploración detallada en red de 33.33 m x 33.33 m, que incluyó todas las actividades geológicas y de perforación aprobadas para la evaluación del yacimiento. Los resultados del cálculo de recursos realizados con la evaluación geológica permitieron determinar que las áreas correspondientes a las exploraciones realizadas por (Barrabí et al., 1999) quedaron aprobadas como Recursos Indicados, ya que los mismos no tienen determinaciones de los elementos nocivos (SiO_2 , Al_2O_3 y MgO)

Se realiza la Exploración Detallada del yacimiento Camarioca Este en una red de 33.33 m x 33.33 m en 20 bloques ubicados en la parte noreste del mismo. En la evaluación definen los Recursos como Medidos. (Lavaut_Copa, 2008)

En la II etapa los trabajos de campo iniciaron en enero de 2009, desarrollando un complejo de métodos que incluyó labores complementarias en 35 bloques de 300x300 m, los pozos ordinarios en una red de 23.57x23.57 m antes exploradas en 33.33 m x 33.33 m (Lavaut_Copa et al., 2003) Los controles externos concluyeron en el 2012. La perforación fue realizada por el método integral Espiral-Columna (Pozos Ordinarios), los Agrupados por el método combinado Hollow Auger y Columna para pesos volumétricos y muestras tecnológicas.

En 2014 se inician los trabajos de la muestra tecnológica para el sector NE del yacimiento.

1.5 Características geológicas

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

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

Dada su génesis los yacimientos de cortezas ferro-niquelíferas existentes en el nordeste de Cuba oriental son de tipo hipergénico, a partir del desarrollo y transformación de las litologías ultramáficas piroxénicas serpentinizadas en cortezas de intemperismo de Fe, Ni y Co, así como las litologías del complejo oceánico y las litologías que integran la zona de transición Manto-Corteza. (Formell_Cortina & Oro_Alfonso, 1980)

Estos depósitos exógenos de corteza de intemperismo ferroniquelíferas se presentan según un nivel evolutivo determinado, acorde con las condiciones geológicas y geoquímicas imperantes durante su desarrollo, no siendo la misma en los distintos sectores de explotación del yacimiento. Esto permite entender determinadas diferencias entre el material laterítico de balance perteneciente a perfiles con distintos grados de alteración. (Rojas_Purón, 1994)

1.5.1 Geología de la región

Geológicamente el área se encuentra ubicada en el bloque oriental cubano caracterizado por una gran complejidad geólogo-tectónica. En la constitución geológica del archipiélago cubano se destacan dos elementos estructurales

principales: el cinturón plegado y el neoaútóctono, (Iturralde_Vinent, 1998). Ver figura 1.2.

Cinturón Plegado: Unidades Oceánicas

El cinturón plegado, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfizados de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe noroccidental.

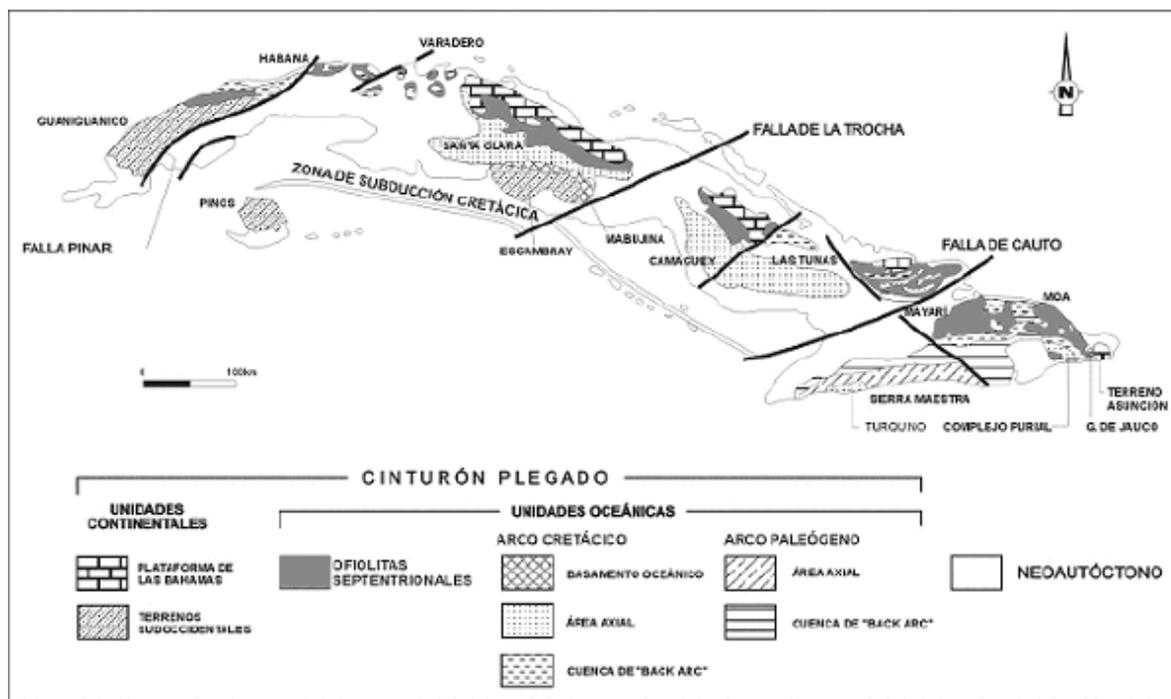


Figura 1.2: Mapa geológico esquemático de Cuba mostrando los afloramientos del cinturón plegado y del neoaútóctono (Iturralde-Vinent, 1996a).

El área de estudio está enmarcada dentro de los límites del macizo ofiolítico Mayarí-Sagua-Baracoa, en el cual las unidades continentales del cinturón plegado no están representadas; y las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánico del Cretácico, o Paleoarco; las secuencias de las cuencas de *piggy back* del campaniense tardío-daniense, el arco

de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de *piggy back* del Eoceno Medio-Oligoceno.

El neautoctono está constituido por materiales terrígenos y carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario, que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado. Ver Tabla No.1

Roca/Fm	Asociaciones Estructuro Formacionales F Quintas, 1989	Elementos Estructurales Iturralde-Vinent, 1996		
Rocas Ultrabásicas serpentinizadas y Complejo básico	AEF de la antigua corteza oceánica	Ofiolitas septentrionales	U n i d a d e s O c e á n i c a s	C I N T U R O N P L E G A D O
Fm. Quibiján	AEF del arco volcánico del Cretácico	Arco volcánico del Cretácico		
Fm. Santo Domingo				
Fm. La Picota	AEF cuencas superpuestas al arco volcánico del Cretácico	Cuencas <i>piggy-back</i> 1 ^a generación		
Fm. Mícara				
Fm. Sabaneta	Arco volcánico del Paleógeno	Arco de islas volcánico del Paleógeno		
Fm. Capiro	Cuenca superpuestas de la etapa platafórmica	Cuencas <i>piggy-back</i> 2 ^{da} generación		
Fm. Majimiana Fm. Júcaro Depósitos Cuaternarios	Secuencias terrígeno – carbonatadas de la etapa de desarrollo platafórmico	NEO AUTOCTÓNO		

Tabla 1.1: Rocas pertenecientes a la región según Quintas F., 1989 e Iturralde-Vinent, 1996. Tomado de (Rodríguez_Infante, 1998). Modificado por la autora.

Unidades oceánicas:

Ofiolitas septentrionales: Las rocas típicas de estas secuencias están representadas por el macizo ofiolítico Mayarí-Sagua-Baracoa, siendo predominantes

las ultramafitas, piroxenitas serpentinizadas: dunitas, harzburgitas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas, como parte de las rocas mantélicas. (Ríos & Cobiella, 1984); (Cobiella, 1984); (Fonseca et al., 1985); (Torres, 1987); (Andó et al., 1989); (Proenza_Fernández et al., 1999). Tomado de (Rodríguez_Infante, 1998)

El complejo máfico está representado por gabros que mantienen una estructura de grandes bloques, la mayoría de los cuales se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. Regionalmente este complejo está representado por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales. Además con el complejo máfico se asocia una fase filoniana tardía representada por grandes diques de gabros pegmatitas. (Muñoz & Campos, 1994)

Es de señalarse que las relaciones entre las litologías mantélicas y las rocas del basamento de la corteza oceánica son predominantemente tectónicas, no solo a nivel de todo el macizo ofiolítico, sino a nivel local, como sucede en áreas más restringidas, lo que confirma el emplazamiento alóctono de todas las litologías que integran el macizo ofiolítico Mayarí-Sagua-Baracoa.

El complejo vulcanógeno-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico (Proenza, 1997); (Proenza_Fernández et al., 1999)

Arco de isla volcánico del Cretácico: Las rocas de esta unidad están representadas en la región por la formación Santo Domingo.

Cuencas de *piggy back* del Campaniense Tardío-Daniense: A mediados del Campaniense, culminó la actividad volcánica y comenzaron los procesos de cabalgamiento de las secuencias volcánicas generadas y de las ofiolitas del mar marginal (obducción) sobre el borde meridional de la Plataforma de Las Bahamas. En estas condiciones de inestabilidad tectónica se desarrollaron una serie de cuencas, que se comportaron como cuencas de "*piggy back*" (también denominadas "cuencas superpuestas de primera generación"; (Quintas_Rodríguez, 1989). De este estadio son representativas las formaciones sedimentarias La Picota y Mícara.

Por encima de estas formaciones típicas de los períodos de inestabilidad tectónica aparecen secuencias terrígenas-carbonatadas de la etapa platafórmica, que

presentan un carácter melásico y flyschoides, caracterizadas por presentar una estructura simple. La formación Capiro es la única representante de esta asociación dentro del área de estudio.

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 del Paleógeno: Durante el Paleoceno-Thanetiense 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.

Cuencas de *piggy back* del Eoceno Medio-Oligoceno: En el Eoceno Medio Inferior concluyó la actividad volcánica paleógena. A partir de este momento y hasta el Oligoceno se desarrolló un segundo estadio de cuencas de *piggy back* en las cuales se depositaron espesores considerables de materiales terrígenos y carbonatados. Esta secuencia está representada por la formación Capiro.

El Neoaútóctono (materiales post-Eoceno): El neoaútóctono está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Las rocas del neoaútóctono constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada poco deformada que aflora en las cercanías de las costas formando una franja que cubre discordantemente los complejos más antiguos y que estructuralmente se caracterizan por su yacencia monoclinas suave u horizontal (Quintas_Rodríguez, 1989); (Iturralde_Vinent, 1998); (Crespo, 1996); (Rodríguez_Infante, 1998). Son representativas de esta secuencia las formaciones Majimiana y Júcaro.

Depósitos del Cuaternario: Constituyen una cobertura prácticamente continua de génesis continental y marina sobre todas las secuencias de rocas más antiguas, presentando pocos cambios diagenéticos y pequeño espesor. Estos depósitos están constituidos por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, predominando

los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en las desembocaduras, cauces y márgenes fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial. Tomado de (Rodríguez_Infante, 1998)

1.5.2 Geología del Yacimiento Camarioca Este

El yacimiento Camarioca Este se encuentra enmarcado en el macizo Moa-Baracoa, donde las rocas del basamento a partir de las que se originaron las cortezas de intemperismo están representadas por cúmulos ultramáficos y en menor grado cúmulos máficos. (Rodríguez_Cardona et al., 2013)

En el Informe de la Exploración Detallada del Yacimiento de menas níquelíferas “Las Camariocas” (Ivanov et al., 1985) se resume que en el área objeto de estudio básicamente existen ofiolitas que aparecen con menor o mayor grado de serpentización, según dos complejos, cuyos contactos observados son tectónicos:

El de rocas ultrabásicas que mayormente aflora en toda el área y está constituido predominantemente por harzburgitas y subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Estas rocas se caracterizan por presentar un grado de serpentización variable, predominando el criterio de procesos dinamo-metamórficos durante la elevación y emplazamiento de las grandes masas peridotíticas a la superficie en presencia de agua. Las rocas de este complejo se caracterizan por presentar un color verde oscuro o gris verdoso y por un alto agrietamiento. Sobre estas rocas se forman relieves muy variados en dependencia del nivel hipsométrico que ocupan y por tanto del grado de conservación de la corteza de meteorización.

El máfico representado por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de bloques. En el área de estudio el más común es el gabro normal de color oscuro, algo verdoso, con textura masiva a fluidal. Ver figura 1.3.

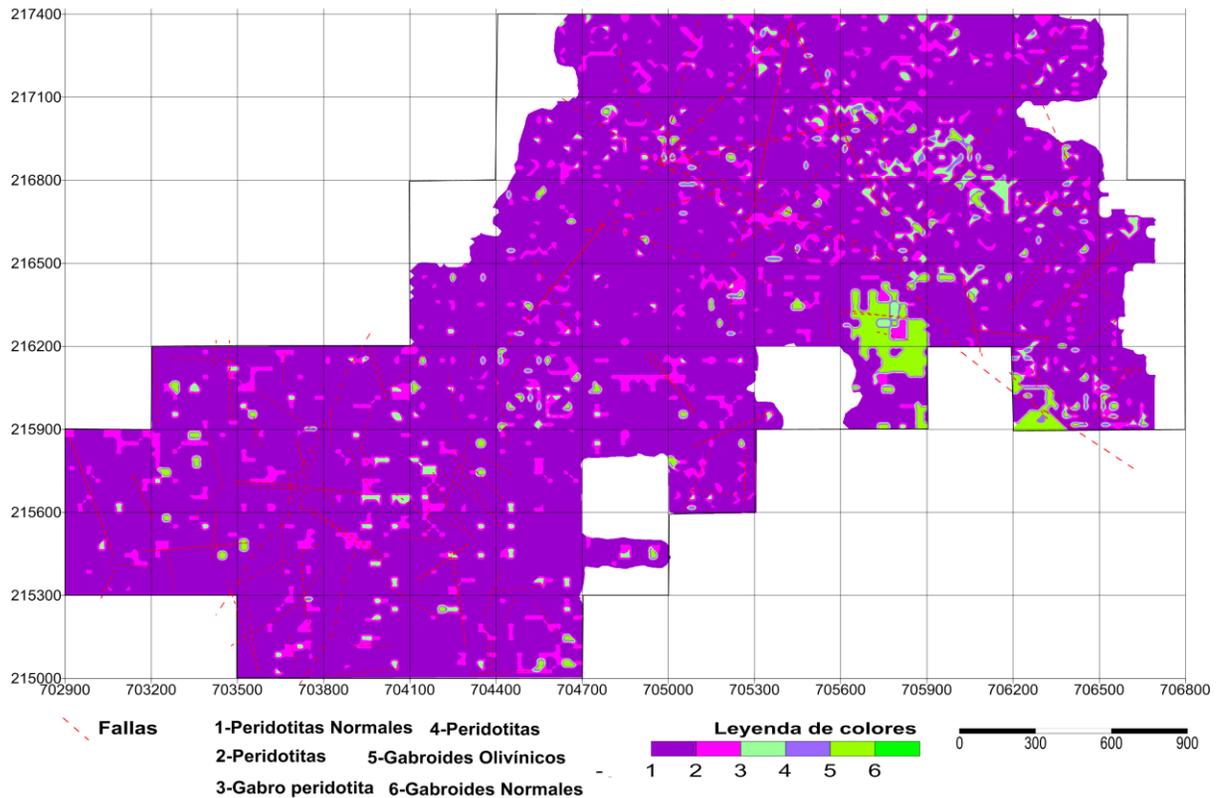


Figura No 1.3: Plano de basamento del yacimiento Camarioca Este (Escala original 1: 2 500), (Castellanos_Medina et al., 2011). Leyenda modificada por la autora.

Todas estas rocas han sufrido procesos de alteración, principalmente de serpentización y en el que se destacan la antigoritización, así como también procesos metasomáticos que han dado lugar a la formación de anfíboles, talco, carbonatos, etc.

Los cúmulos máficos de composición básica son aislados, su influencia en la formación de la corteza de intemperismo es muy pobre, estando representados por rocas de alteración de gabros y plagioclasitas. (Rodríguez_Cardona et al., 2013)

1.5.3 Tectónica del Yacimiento Camarioca Este

El área de trabajo está diseccionada por ríos, arroyos y pequeñas elevaciones con pendientes suaves que se han desarrollado por un importante sistema de fallas tectónicas con dirección predominante NW-SE y NE-SW. Estas fallas coinciden con el rumbo predominante en el sistema tectónico que afecta a todo el macizo montañoso Moa-Baracoa.

Además de las fallas principales, localmente existe un denso sistema de fallas de plumaje, representado por fallas de más corta extensión, así como la fracturación multiplanar (multidireccional). Estos sistemas de grietas con la misma dirección del sistema de fallas principales se observan claramente en los afloramientos. (Rodríguez_Cardona et al., 2013)

La fracturación tectónica del basamento facilita la meteorización selectiva, conduciendo a la formación de los bolsones minerales y localmente mayores espesores de la corteza. (Rodríguez_Cardona et al., 2013). Ver figura 1.3.

1.5.4 Corteza de intemperismo del yacimiento Camarioca Este

La corteza de intemperismo constituye un cuerpo geológico zonal formado sobre un substrato de rocas consolidadas (basamento o rocas madres) bajo la acción de los factores de meteorización, en los que juega un papel decisivo el tipo o variedad de roca madre, la pendiente del terreno, las particularidades microclimáticas y el régimen hidrodinámico de la localidad. (Lavaut_Copa, 2005). Según la composición zonal se establecen tres grandes familias de perfiles de intemperismo que se subdividen en ocho subtipos (Lavaut_Copa, 2003). Ver (figura 1.4).

COLUMNA			PERFIL DE INTemperismo	ZONAS LITOLÓGICAS			
1	*	OICP	L A T E R I T A	A) PERFILES LATERITICOS :			
	*						
2	-V-	OI			INESTRUCTURAL COMPLETO	1 y 2	
	V				INESTRUCTURAL INCOMPLETO	1 ó 2	
3	V	OEF			ESTRUCTURAL COMPLETO	1,2 y 3	
	V				ESTRUCTURAL INCOMPLETO	1 ó 2 y 3	
4	V	OEI			S A P R O L I T A	B) PERFILES LATERITICO-SAPROLITICOS	
	@						ESTRUCTURAL COMPLETO
V	ESTRUCTURAL INCOMPLETO	1 y 2 y/ó 3 y 4 y 5					
5	@	RML					C) PERFILES SAPROLITICOS:
	V		ESTRUCTURAL COMPLETO	4 y 5			
6	V	RMA	ESTRUCTURAL INCOMPLETO	4 ó 5			
	V						

Figura No 1.4. Clasificación del perfil litológico según (Lavaut_Copa, 2003).

En dependencia de la cantidad y combinación de las zonas litológicas encontradas en un punto dado del terreno, estos son:

- a) Perfiles Lateríticos.
- b) Perfiles Laterítico-Saprolíticos.
- c) Perfiles Saprolíticos.

En el área de estudio, tanto el basamento actual como las rocas madres son 100% del Complejo Ofiolítico. Existen los ocho tipos de perfiles, clasificados en dependencia de la combinación de los tipos litológicos presentes en el corte de cada pozo:

I.- Perfiles Lateríticos, compuestos por:

1. Inestructurales Completos (Horizontes 1 y 2).
2. Inestructurales Incompletos (Horizontes 1 ó 2).

3. Estructural Completo (Horizontes 1, 2 y 3).

4. Estructural Incompleto (Horizontes 1 ó 2 y 3).

II.- Perfiles Lateríticos-Saprolíticos, compuestos por:

5. Estructural Completo (Horizontes 1, 2, 3, 4 y 5).

6. Estructural Incompleto (Horizontes 1 y/o 2 y/o 3 y 4 y/o 5).

III.- Perfiles Saprolíticos, compuestos por:

7. Estructural Completo (Horizontes 4 y 5).

8. Estructural Incompleto (Horizontes 4 ó 5).

En el yacimiento predominan los perfiles de tipo 6, Laterítico-Saprolítico Estructural Incompleto, que representan el 36.69 % y están ubicados en su mayoría al NE, los que le siguen en representatividad son los de tipo 4, Lateríticos estructurales Incompletos con un 33.14 % y se localizan hacia el SW. Los de tipo 4 alcanzan el 14.63 % están distribuidos en toda el área de estudio predominando hacia el SW. Los de tipo 1, 2, y 5 están diseminados por todo el yacimiento con baja representatividad, al igual que los de tipo 7 y 8 que suman el 1.1 % y coinciden con la corteza desarrollada a partir de un cuerpo de gabros. Ver figura 1.6 y gráfico 1.1.

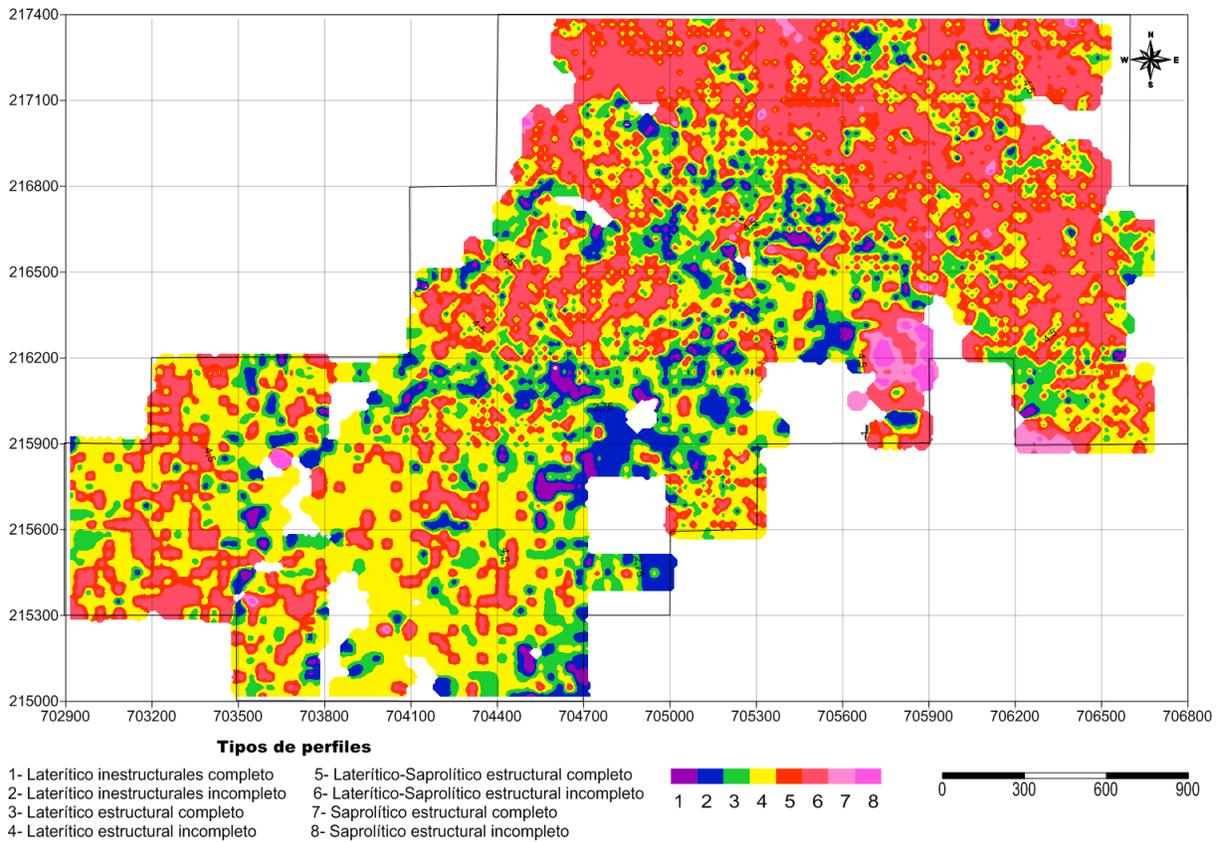


Figura.1.5. Mapa de Tipos de Perfiles Litológicos.

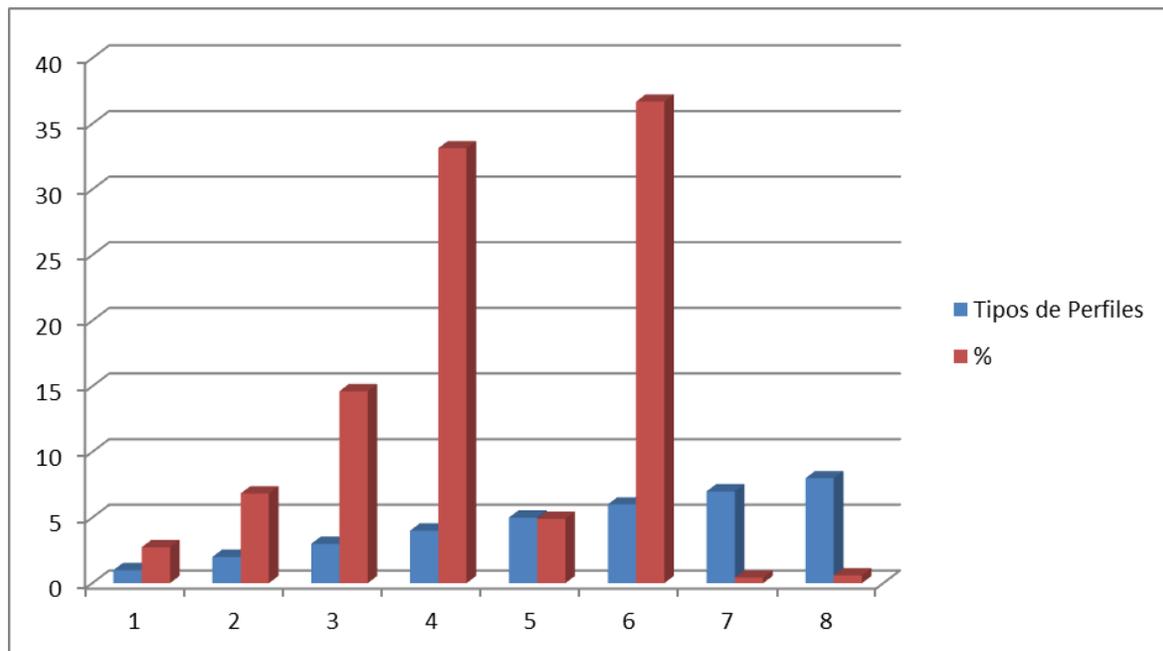


Gráfico 1.1. Representatividad de los tipos de perfiles litológicos en el Yacimiento Camarioca Este.

Como se muestra en la figura 1.5 se pueden distinguir dos dominios bien definidos en cuanto a tipos de perfiles lateríticos, uno al NE donde predominan los perfiles Lateríticos-Saprolíticos y otro al SW predominando los perfiles lateríticos.

Según la clasificación del perfil litológico de (Lavaut_Copa, 2003), en el yacimiento existen 6 horizontes los cuáles correlacionamos con las menas. (Ver tabla No. 1.2)

Tabla 1.2: Correlación de Horizontes y Menas del yacimiento Camarioca Este.

Horizontes	Menas
Ocres Inestructurales Con Perdigonos (OICP).	Mena ferrosa fuera de balance (FF) Laterita niquelífera fuera de balance (LF)
Ocres Inestructurales Sin Perdigonos (OISP).	Laterita niquelífera fuera de balance (LF) Limonita de balance (LB)
Ocres Estructurales Finales (OEF).	Limonita de balance (LB)
Ocres Estructurales Iniciales (OEI).	Serpentina de balance (SB)
Serpentinita Lixiviada, Agrietada y Desintegrada (RML).	Serpentina de balance (SB)
Rocas del Basamento (RMA).	Serpentina Dura (SD)

Ocres Inestructurales Con Perdigonos (OICP).

Estos ocres están distribuidos por todo el yacimiento. El material que lo compone es del típico color pardo oscuro, aunque puede tomar tonalidades hasta pardo rojizo en las cortezas desarrolladas sobre rocas ultramáficas y violáceas en las cortezas por mafitas. Los perdigonos pueden ocupar el 50 % y más de la masa ocrosa, varían en tamaño, más frecuentemente desde 6 hasta 2 mm, pueden medir hasta 2 cm y más. A través de la difracción de RX se determinan las fases minerales. La fase mineralógica principal es la Goethita, seguida de la Gibbsita. En correspondencia el elemento químico predominante es el Fe y tiene máximos de aluminio (Ver tabla 1.3). En las cortezas desarrolladas sobre rocas máficas los contenidos del Fe disminuyen, en tanto el aluminio aumenta.

Los OICP se extienden desde la superficie hasta los 13 m, con profundidad promedio de 1.84 m. Se desarrollan las menas FF y LF.

Ocres Inestructurales Sin Perdigos (Horizonte 2, OISP).

Su coloración varía desde pardo oscuro hasta pardo amarillento. La composición química presentan los mayores contenidos de Fe, aún en este horizonte pueden aparecer concreciones de Fe, pero en por cientos ínfimos y muy finas. La fase mineralógica principal es la goethita y las espinelas cromíferas. Se extienden desde la superficie hasta los 16 m, con profundidad promedio de 2.58 m. Con esta se asocian las menas LF, FF y LB.

Ocres Estructurales Finales (Horizonte 3, OEF).

Presenta coloración parda oscura a amarillento verdoso y a veces violáceo, en dependencia del protolito que lo originó. Como rasgos generales, el OEF es el horizonte más abundante en el yacimiento con una difusión del 46 %. Conservan rasgos de la fábrica estructural de la roca madre. La fase mineralógica principal es la goethita y le continúa la gibbsita. Están presentes en todo el yacimiento y se desarrollan fundamentalmente en los perfiles Lateríticos.

Se extienden desde la superficie hasta los 24.5 m, con profundidad promedio de 6.34 m. Presenta contenidos promedios de Fe= 45.3 %, Ni= 1.17 % y Co= 0.146 % (Ver tabla 1.3). Desde el punto de vista menífero representa el principal horizonte útil actual, tanto para el níquel como para el cobalto.

Ocres Estructurales Iniciales (Horizonte 4, OEI)

Su coloración va desde pardo oscura en algunos casos hasta pardo-amarillento verdoso. El material que la compone está compuesto por relictos de la roca infra yacente (ultramafitas o mafitas), tienen una difusión del 7.6 %. Está localizada principalmente en el perfil Laterítico Saprolítico, se encuentran desde la superficie hasta los 23 m, la profundidad promedio 7.89 m. La fase mineralógica principal es la goethita y se presentan importantes concentraciones en minerales de Serpentina y Arcillosos.

La geoquímica del horizonte es diferente respecto a los horizontes antes descritos, los contenidos promedios de Fe disminuyen (29.2%), aumenta la sílice y el magnesio, el Ni se mantiene (1.16 %) y el Cobalto disminuye a la mitad. Se desarrolla la mena LB.

Serpentinita Lixiviada, Agrietada y Desintegrada (Horizonte 5, RML).

Son rocas agrietadas, lixiviadas, deleznales de colores verdosos a gris verdoso, los gabroides presentan colores grisáceos. Está difundida en un 5.8 % en toda el área con 7.08 y 2.86% en redes de 23 y 33 m respectivamente, principalmente abundan en el perfil Laterítico Saprolítico.

Se caracteriza por aumentos en los contenidos de SiO₂ (30.97%), Al₂O₃ (15.45 %) y MgO (14.94%). Está localizada desde la superficie hasta los 44 m, con profundidad promedio de 10.5 m, en la geoquímica disminuyen los contenidos promedios de Fe y Co. Se desarrolla la mena SB.

Roca Madre Agrietada (Horizonte 6, RMA).

Son rocas agrietadas, de color verde oscuro a gris verdoso. Está difundida en un 12.7 % en toda el área, principalmente en el perfil Laterítico Saprolítico. De forma general la RMA existe desde la superficie (aflora) hasta los 45.5m, la profundidad promedio es 9.94 m, esta litología mayoritariamente subyace a todas las demás y también su aparición está determinada por el método de perforación utilizado. En la tabla No. 1.3 observe que este horizonte posee máximos contenidos de SiO₂ y MgO, mínimos en Fe, Al₂O₃, Ni, Co y la SM. Se desarrolla la mena SD.

1.5.5 Caracterización geoquímica y mineralógica de las menas lateríticas del yacimiento.

El yacimiento Camarioca Este presenta una marcada diferencia en cuanto al comportamiento geoquímico y mineralógico. El área estudiada se caracteriza por presentar un evidente contraste desde el punto de vista geológico, diferenciando dos dominios. (Castellanos_Medina et al., 2011)

La composición geoquímica por horizontes se muestra en la tabla 1.3 donde apreciamos que el Fe alcanza sus mayores valores en los OICP, OISP Y OEF. El Ni y el Co alcanzan sus valores más altos en los OEF, mientras que en este horizonte los elementos nocivos SiO_2 , MgO y Al_2O_3 son bajos. Los nocivos SiO_2 , MgO tienen sus valores más altos en los horizontes OEI, RML y RMA, la Al_2O_3 presenta concentraciones más elevadas en RML y RMA.

Tabla 1.3. Resumen de la geoquímica por horizontes. (Castellanos_Medina et al., 2011). Modificado por la autora.

Horizontes	Fe	Ni	Co	SiO_2	MgO	Al_2O_3
	Promedio (%)					
OICP	45.9	0.69	0.049	3.30	0.91	13.76
OISP	47.1	0.91	0.097	3.36	1.11	10.59
OEF	45.3	1.17	0.146	4.92	2.06	9.57
OEI	29.2	1.16	0.075	19.07	11.05	10.26
RML	15.5	1.09	0.033	30.97	14.94	15.45
RMA	6.4	0.38	0.012	38.04	31.64	6.97

Los horizontes se agruparon de la siguiente manera. (Ver tabla 1.4.)

Tabla 1.4. Correlación de grupos/horizontes. (Castellanos_Medina et al., 2011). Modificado por la autora.

Grupos	Horizontes/Mena
1	Ocre Inestructural con y sin Perdigonos de Hierro (OICP+OISP)/FF, LF, LB.
2	Ocre Estructural Final e Inicial (OEF+OEI)/LB+SB.
3	Saprolitas: serpentinitas desintegradas, lixiviadas y roca dura (RML+RMA)/SB, SD.

En el dominio noreste que coincide con la red de exploración de 23.5 x 23.5 m, los grupos antes mencionados se comportan desde el punto químico de la siguiente manera:

El grupo 1 (OICP+OISP) se caracteriza por tener valores altos de Fe, mientras que el resto de los elementos químicos es bajo.

El grupo 2 (OEF+OEI) presenta valores altos de Fe, Ni y Co. Los elementos nocivos son bajos.

El grupo 3 (Saprolitas), posee los valores más altos de Ni, sin embargo el Co, el Fe y Al_2O_3 , son bajos, mientras que la SiO_2 y el MgO los nocivos fundamentales son altos. Ver tabla 1.5.

Tabla 1.5. Composición química Promedio por grupos para el dominio noreste. Modificada por la autora.

Grupos	Ni %	Co %	Fe %	Al_2O_3 %	SiO_2 %	MgO %
1	0.86	0.074	44.7	7.4	1.0	0.5
2	1.28	0.163	44.5	5.0	2.2	1.3
3	1.49	0.054	20.5	2.1	12.7	13.6

En el yacimiento la fase mineralógica primaria es la goethita, que constituye la principal portadora de Ni; otros minerales son; la magnetita, minerales del grupo del manganeso, hematita y maghemita (que son portadores de Ni, Co y Fe), la gibbsita, minerales arcillosos, del grupo de la serpentina y cuarzo; éstos son los minerales que portan más Al_2O_3 , SiO_2 y MgO.

En el dominio noreste los mayores contenidos de goethita, magnetita y minerales de manganeso se presentan en los grupos 1 (OICP+OISP) y 2 (OEF+OEI), en el grupo 2 (OEF+OEI) se concentra además la gibbsita. Los minerales serpentiniticos se concentran en el grupo 3 (Saprolitas), al igual que la clorita y el taco, los minerales arcillosos tienen su valor más alto. Ver tabla 1.6.

Tabla 1.6. Composición Mineralógica Promedio (en %) por grupos para el dominio noreste.

Grupos	MSerp	MArc	Gibb	Goet	Magn	ECro	MMan	Clorita	Talco
1 (OICP+OISP) FF, LF, LB	3.6	10.4	11.4	62.0	3.0	3.8	1.7	2.8	0.0
2 (OEF+OEI) LB+SB	4.1	9.0	8.9	62.1	3.1	4.4	2.3	4.6	0.5
3 (Saprolitas) (RML+RMA) SB, SD	29.2	11.1	6.2	35.9	2.0	3.1	1.6	4.7	4.5

En el dominio suroeste desde el punto de vista químico el Fe alcanza su valor más alto en el grupo 1, el níquel tiene sus mayores concentraciones en los grupos 2 (OEF+OEI) y 3 (Saprolitas). El Co es más alto en el grupo 2 (OEF+OEI) al igual que el Al_2O_3 . La SiO_2 y el MgO son extremadamente altos en el grupo 3 (Saprolitas). Ver tabla 1.7.

Tabla 1.7. Composición química Promedio por grupos para dominio suroeste.

Grupos	Ni %	Co %	Fe %	Al_2O_3 %	SiO_2 %	MgO %
1	0.94	0.093	50.5	9.3	2.4	1.0
2	1.40	0.149	42.5	9.5	8.7	4.3
3	1.60	0.036	16.7	3.9	31.7	24.6

La fase mineralógica primaria es la goethita, son ricas en aluminio (pueden clasificar como alumogoethitas, con sustitución por hierro en la estructura cristalina). Están presentes las espinelas cromíferas, magnetita, minerales del grupo del manganeso, hematita y maghemita (portadores de Ni, Co, y Fe), con una disminución de minerales tales como gibbsita, minerales arcillosos y del grupo de la serpentina, los que son fuentes de aportes de Al_2O_3 . Ver tabla 1.8.

Tabla 1.8. Composición Mineralógica Promedio (en %) por grupos para dominio suroeste.

Grupos	MSerp	MArc	Gibb	Goet	Magn	ECro	MMan	Hem	Cuar	Maghe	Clorita
1	2.4	6.6	9.0	69.1	4.4	3.4	1.1	1.6	0.4	0.1	3.8
2	7.5	8.4	8.9	58.9	3.1	3.6	1.9	0.8	0.1	0.6	5.4
3	36.4	16.3	2.2	20.7	1.7	2.7	0.4	0.0	0.0	0.5	6.7

1.6 Conclusiones

1. En el yacimiento Camarioca Este las rocas del basamento a partir de las que se originaron las cortezas de intemperismo están representadas por cúmulos ultramáficos y en menor grado cúmulos máficos.
2. El área está diseccionada por ríos, arroyos y pequeñas elevaciones con pendientes suaves que se han desarrollado por un importante sistema de fallas tectónicas con dirección predominante NW-SE y NE-SW.
3. Al interpretar el mapa de tipos de perfiles quedan establecidos dos dominios bien definidos en el yacimiento, uno al NE donde predominan los perfiles Lateríticos-Saprolíticos y otro al SW predominando los perfiles Lateríticos. El contacto entre ambos dominios es tectónico a través de la falla NW-SE.
4. En cuanto a la geoquímica y la mineralogía se establece una correlación entre horizontes y menas industriales.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción

2.2 Metodología de la investigación

2.3 Conclusiones

2.1 Introducción

La metodología aplicada en la investigación se describe a continuación según tres etapas de trabajo. Partiendo de la revisión de la información de los trabajos precedentes se obtienen todos los datos necesarios. Se describe el procesamiento de la base de datos, así como los métodos empleados para la elaboración de los mapas necesarios para la investigación.

2.2 Metodología de la investigación

La investigación se desarrolló en tres etapas como se muestra en la tabla 2.1., las cuales se describen en los siguientes epígrafes.

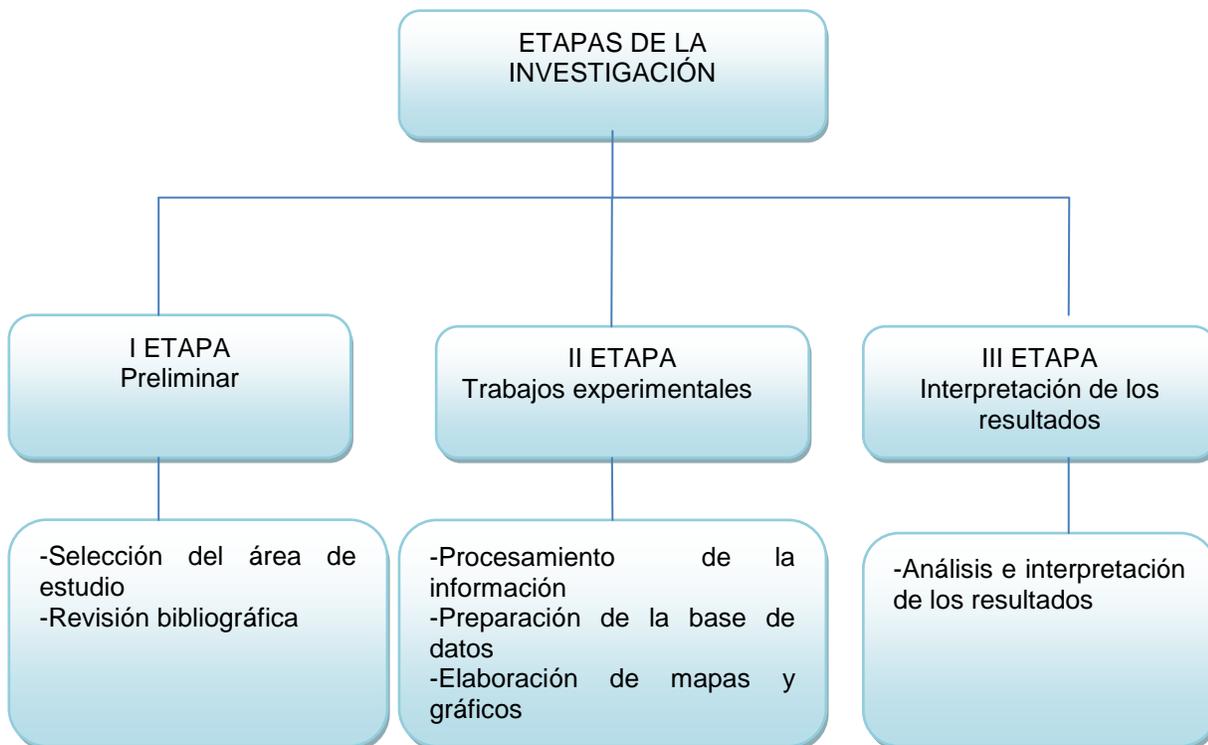


Figura 2.1 Esquema de las etapas de la investigación científica.

2.2.1 Etapa I. Preliminar.

En esta etapa se desarrollaron un grupo de tareas correspondientes a la organización del trabajo y la búsqueda de información sobre el área del yacimiento.

Las tareas se describen a continuación:

Selección del área de estudio.

En esta etapa se realiza la selección del área de estudio dentro del yacimiento Camarioca Este, para ello se tuvieron en cuenta los factores siguientes:

Amplio volumen de información del área.

Está desarrollada en la red de 33.33 m X 33.33 m y 25.55 m X 25.55 m.

Revisión de la bibliografía.

Se revisó una amplia bibliografía relacionada con el tema y se puede decir que los parámetros geólogo-industriales y su comportamiento han sido objeto de estudio desde el descubrimiento mismo de los yacimientos de menas lateríticas. Se han tenido en cuenta las potencias de menas y los contenidos de elementos útiles y nocivos, destacándose que dichos parámetros varían de un yacimiento a otro y dentro de un mismo yacimiento de un sector a otro. Por lo que se considera es un tema de permanente estudio en los yacimientos ferroniquelíferos cubanos. La bibliografía referenciada en la investigación se almacenó en el gestor bibliográfico EndNote X7 con la norma APA 6ta, la cual fue modificada.

2.2.2 Etapa II. Trabajos Experimentales

En esta etapa se llevó a cabo el procesamiento de toda la información primaria obtenida del Departamento de Geología de la “Empresa Comandante Ernesto Che Guevara”.

La base de datos se revisó y procesó con el programa Microsoft Access 2007, se seleccionaron los pozos minerales según el cut-off mayor de 0.90 % de Ni y 1 m de potencia mínima industrial.

Se realizaron las consultas necesarias para obtener los ficheros con las potencias de las diferentes menas y los contenidos de elementos útiles y nocivos, estos ficheros se exportaron a Microsoft Excel 2007 para ser utilizados como base para la confección de los mapas.

La elaboración de los mapas se realizó con el programa Surfer 12. En la interpolación se utilizó el método inverso de la distancia, por el peso que le asigna este método al valor más cercano del punto a estimar.

A continuación se describe la forma de elaboración de los mapas.

Mapas de Potencia. Para la confección de los mapas de potencia se usó el programa Surfer 12, en el menú *grid/data* se selecciona el fichero de Excel, se obtiene un *grid* en el que se tuvo en cuenta un elipsoide de búsqueda de 40 m y una malla de 10 m, con el *grid* se confecciona el mapa de contorno y se le asignan nuevas propiedades como son: escala, límites, color, etc.

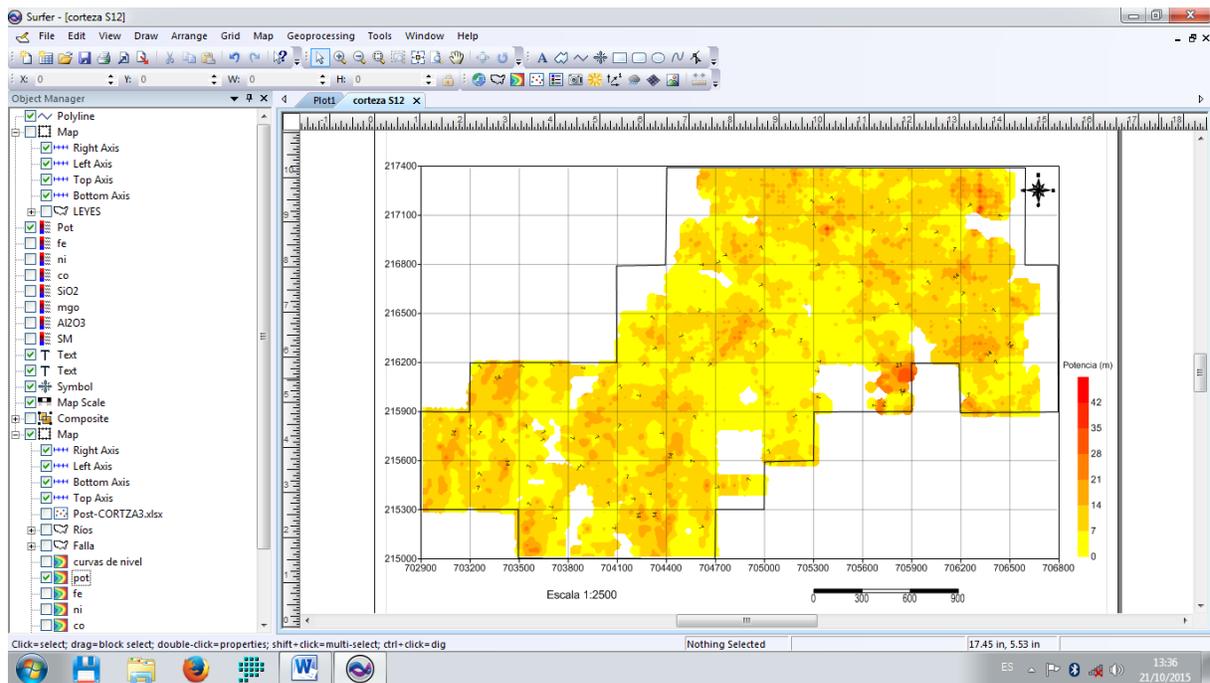


Figura.2.2. Imagen de Software utilizado para confeccionar los mapas de potencia, isocontenidos y perfiles del yacimiento Camarioca Este.

Mapas de isocontenidos. Los mapas de contenidos de Ni, Fe, Co, SiO₂, Al₂O₃ y MgO se confeccionaron para la menas (ES, LB y SB) con el programa Surfer 12,

procediendo de la siguiente manera. En el menú *grid/data* se selecciona el fichero de Excel, se obtiene un *grid* en el que se tuvo en cuenta un elipsoide de búsqueda de 40 m y una malla de 10 m. Con el *grid* se confecciona el mapa de contorno y se le signan nuevas propiedades como son: escala, límites, color, etc. En estos mapas se puede observar el comportamiento en las menas de los diferentes elementos analizados, se destacan los sectores del yacimiento donde las concentraciones de los elementos presentan valores extremos.

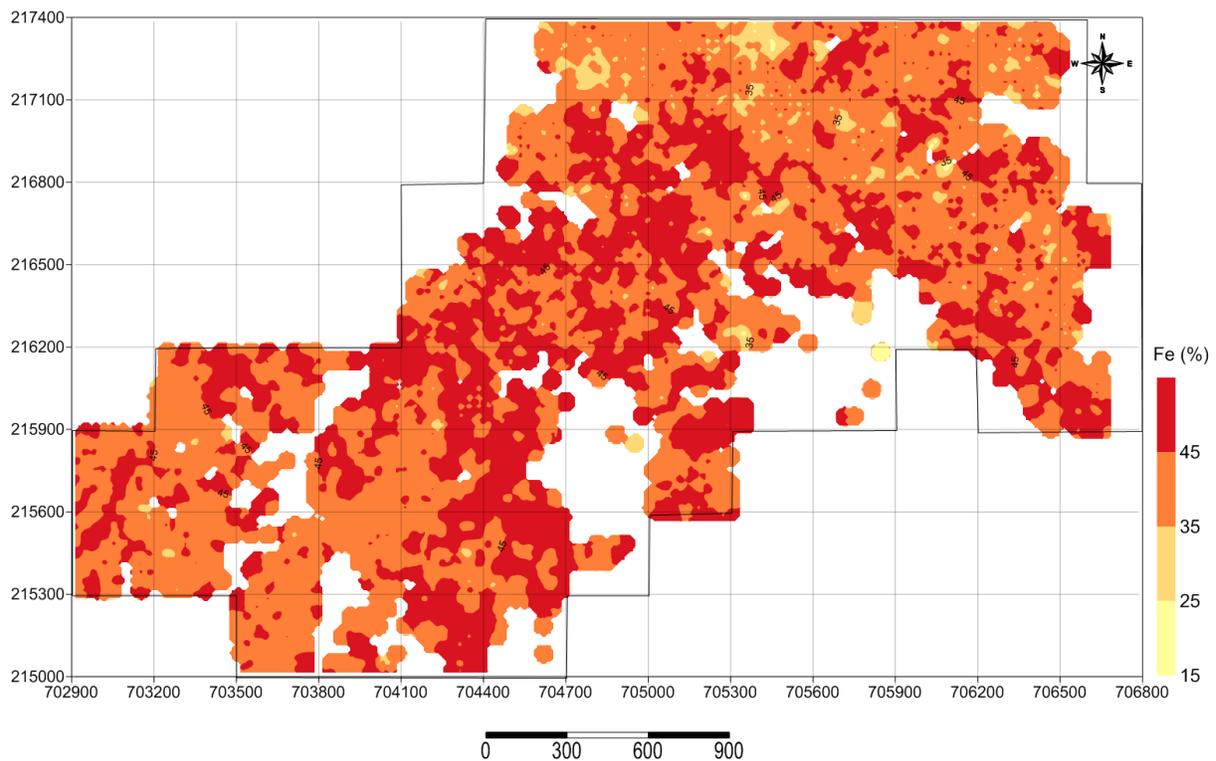


Figura 2.3. Imagen de mapas de isocontenidos.

Mapa de distribución de los perfiles de corteza. Para la confección de este mapa se seleccionó de la base de datos la clasificación de los pozos por tipos de perfiles litológicos, se usó el programa Surfer 12 y en el menú *grid/data* se selecciona el fichero de Excel, se obtiene un *grid* en el que se tuvo en cuenta un elipsoide de búsqueda de 40 m y una malla de 10 m. Con el *grid* se confeccionó el mapa de contorno y se le signaron nuevas propiedades como son: escala, límites, color,

leyenda, etc. Este mapa nos permite conocer la distribución espacial de los tipos de perfiles litológicos y el grado de madurez de la corteza en cada sector del yacimiento.

Mapas de intercalaciones no industriales. Para representar las intercalaciones no industriales se usó el programa Surfer 12, en el menú *map/classed post map* se selecciona el archivo de Excel con la información y se plotean los pozos con intercalaciones, se escogen las clases y se ajustan las propiedades de éstas, símbolo, color, tamaño, etc. Se agrega la leyenda. Estos mapas se hicieron por este menú porque el volumen de información es bajo y no permite hacer mapas de contorno, se procedió de la misma forma para los mapas de potencia e isocontenidos.

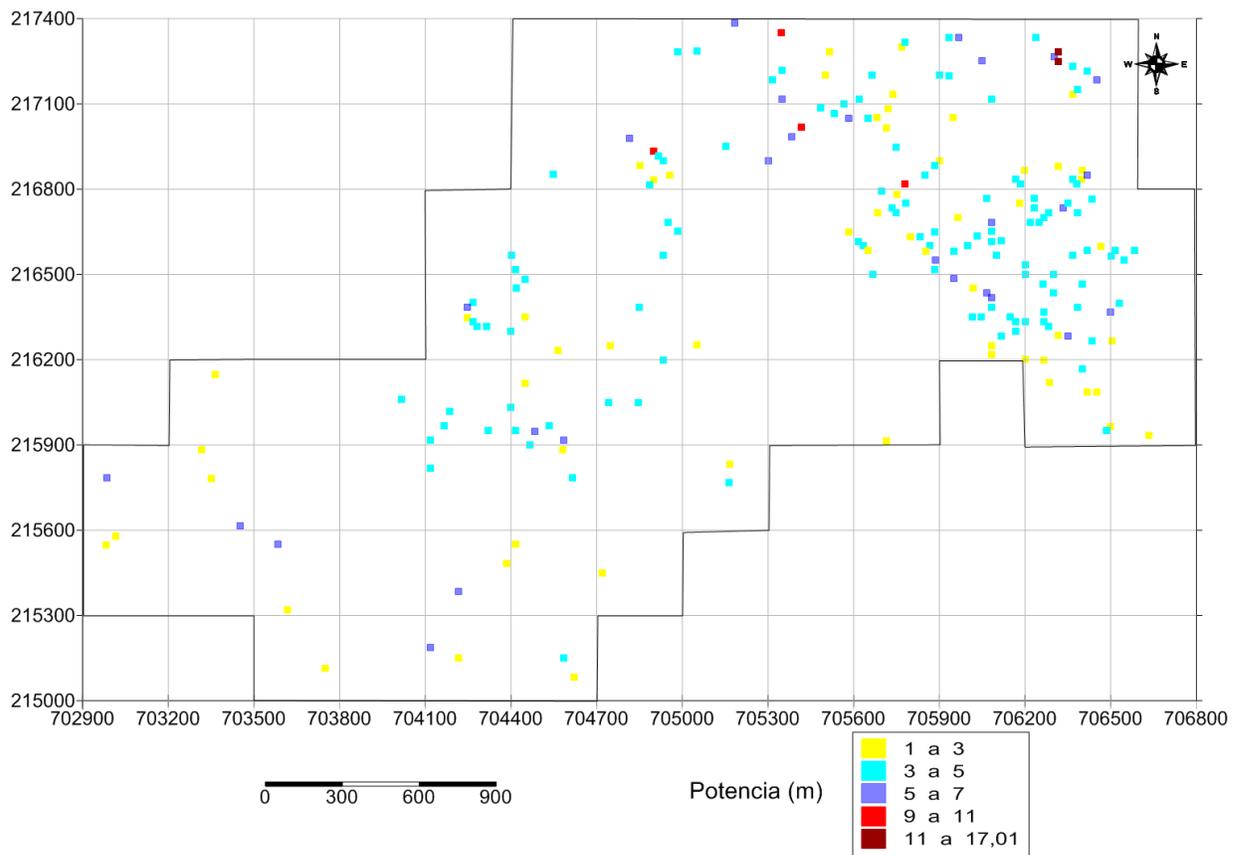


Figura 2.4. Mapa de potencia de intercalaciones no industriales.

Mapa de pendientes. El mapa de pendientes se realizó a partir de la base de datos, con el formato digital del MDT del área de estudio, a través del programa Surfer 12, se creó un fichero tipo *grid*, luego por la opción *grid/calculus* donde se toma el *grid* al cual se le va a realizar el cálculo, dentro de *calculus* se toma la opción *terrain modeling* y dentro de ésta *terrain slope*, la que permite realizarle a un fichero de tipo *grid* el cálculo de pendiente que se expresa en %.

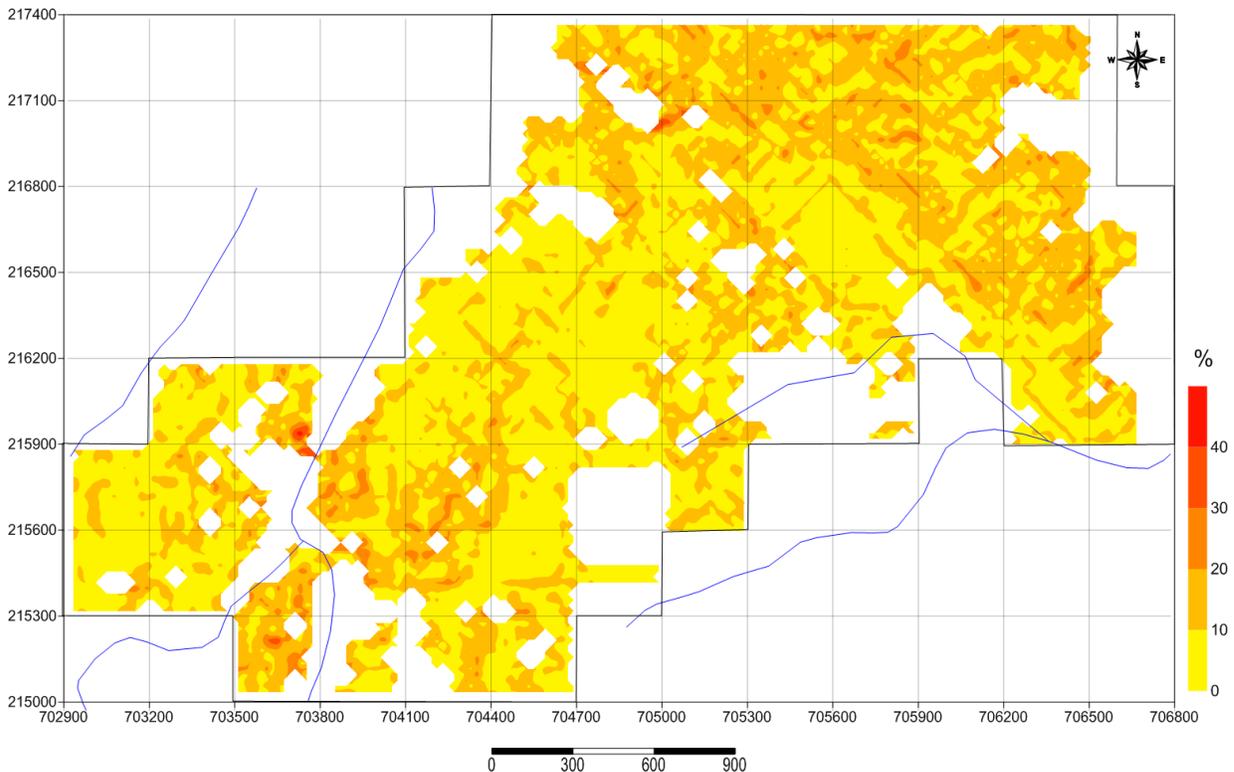


Figura 2.5. Mapa de pendientes.

Columnas de pozos con Intercalaciones no Industriales. Para realizar estas columnas se usó el programa LogPlot 2003. Donde se necesita tener una base de datos en Excel con los valores del pozo que incluye: tipo de mena, intervalos de muestreo y contenidos de elementos útiles y nocivos. Luego de abrir el programa se abre *File/Open/LogDesig*, se guarda el diseño y se abre *Data/New Data Item/Litology o Curve* según corresponda, asignándole valores desde la data en Excel a cada una de las curvas creadas. Se guardan los cambios y se obtiene una serie de columnas que representan las menas, la litología y los elementos útiles y nocivos según los datos

asignados. Se puede dar nombre a las columnas y con doble clic accedemos a sus propiedades y modificarlas, asignándole colores entre otras. Este programa es muy trabajoso pero se puede obtener una imagen de la columna del pozo y la vista en profundidad de cada uno de los elementos químicos, permitiéndonos hacer una valoración más integral. Ver figura 2.7.

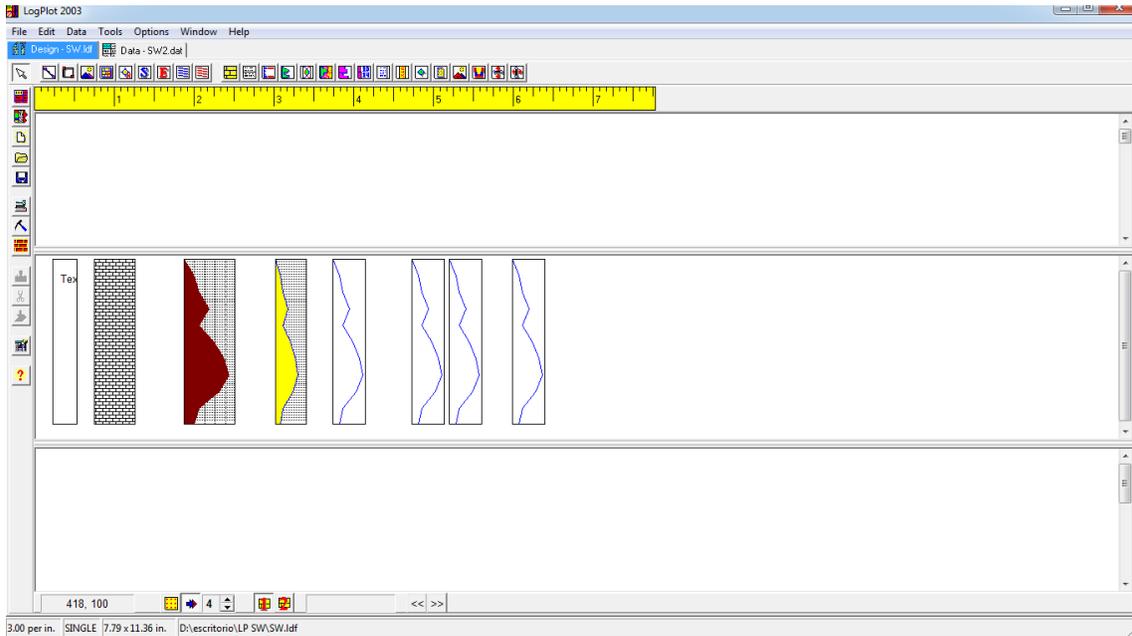


Figura 2.7. Imagen del programa LogPlot 2003.

2.2.3 Etapa III. Interpretación de los resultados

En esta etapa se realizó la interpretación de los mapas realizados y el análisis estadístico del comportamiento de los parámetros geólogo-industriales en el yacimiento Camarioca Este.

2.3 Conclusiones

1. A través del programa Surfer 12 se realizaron mapas de contorno de potencia, de isocontenidos, de pendientes y de tipos de perfiles litológicos. Para las intercalaciones no industriales se usó el menú *map/classed post map*, por tener un número de datos reducido.
2. Para los nocivos los mapas tienen menor extensión porque falta información en la base datos de estos elementos.

3. Usando el programa LogPlot 2003 se obtuvieron las columnas litológicas de algunos pozos con Intercalaciones no Industriales.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

3.2 Potencia de menas del yacimiento Camarioca Este

3.3 Análisis del comportamiento de los elementos útiles y nocivos en las menas del yacimiento

3.4 Caracterización de las intercalaciones no industriales

3.5 Evaluación de los parámetros Geólogo-Industriales en el yacimiento Camarioca Este

3.6 Conclusiones

3.1 Introducción

En este capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos en la caracterización de las menas del yacimiento a partir de los parámetros: potencia de menas, contenidos de elementos útiles y nocivos e intercalaciones no industriales.

3.2 Potencia de menas del yacimiento Camarioca Este

La potencia de mena como valor medio es de 6.5 m, con máximos de 23 m y mínimo de 1 m, indicando que existe una elevada variabilidad, la que es mayor hacia el SW del área de estudio. A continuación se describe el comportamiento de la potencia para cada una de las menas del yacimiento.

3.2.1 Escombros

Las potencias van desde los 0.4 hasta los 18 m. En el yacimiento predominan las potencias menores de 3 m, entre 3 y 6 m aparecen de forma dispersa sectores tanto al NE como al SW, presentando una mayor continuidad al NE, las potencias mayores de 6 m no son representativas. El valor extremo de 18 % se corresponde con la zona de la corteza donde aflora y existe un cuerpo de gabros. Ver figura 3.1.

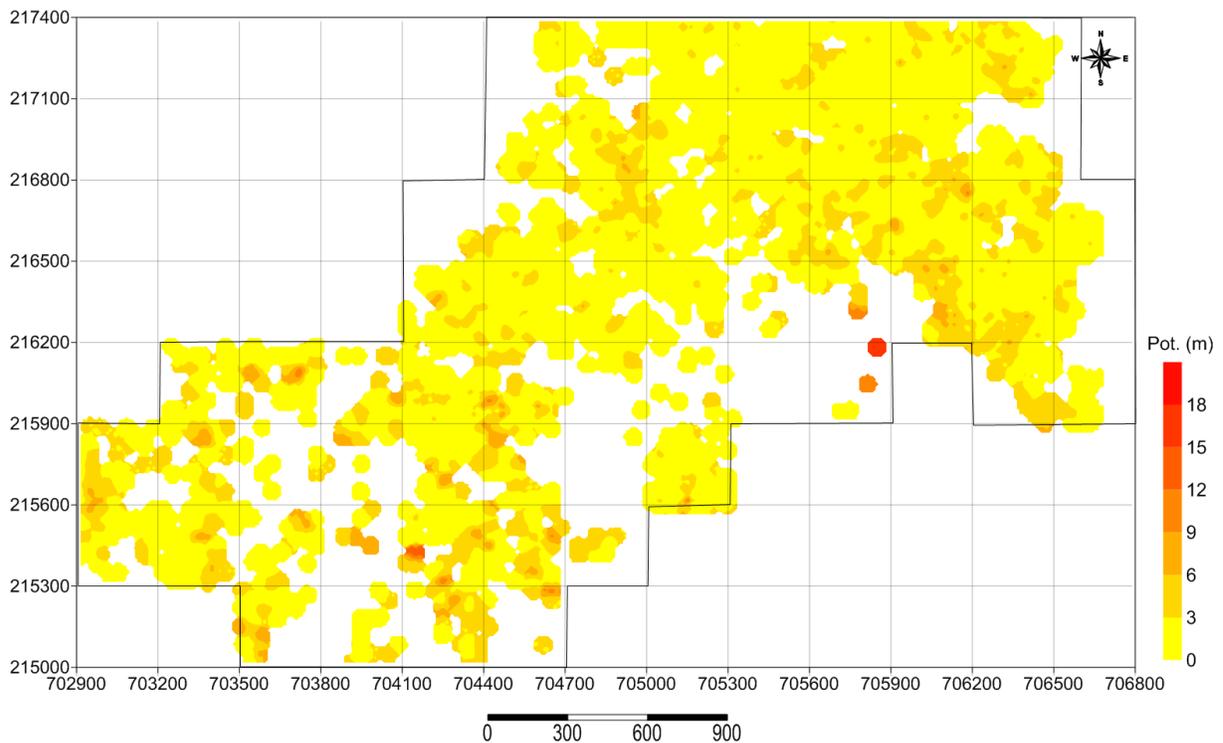


Figura 3.1 Mapa de potencia de Escombros.

3.2.2 Limonita de Balance

En esta mena la potencia varía desde 1 hasta 23 m. Los valores predominantes están entre 1 y 6 m, para la zona NE existen potencias mayores de 6 m que están alineadas con la principal estructura tectónica, falla NW-SE. Al SW aparecen los mayores valores de potencia con cierta continuidad y están relacionados con el tipo de perfiles lateríticos según (Lavaut_Copa, 2005), coincidiendo con el bajo grado de madurez de la corteza. Ver figura 3.2.

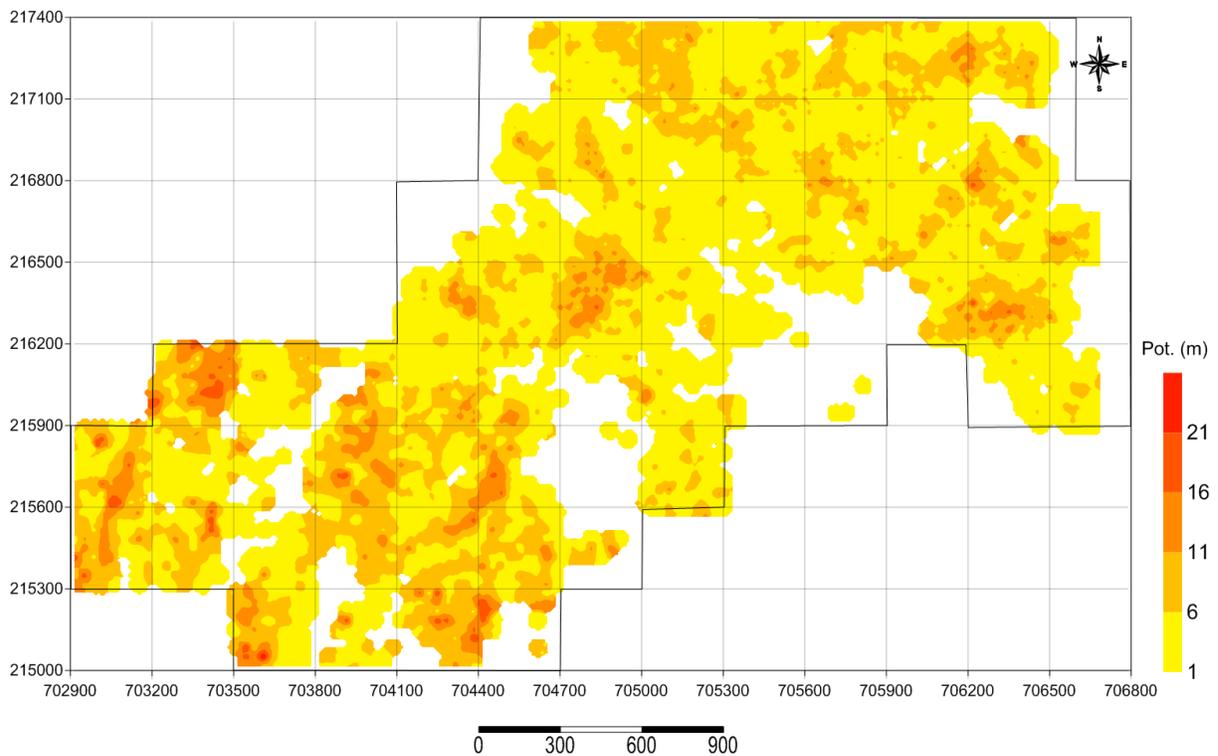


Figura 3.2. Mapa de potencia de la limonita de balance.

3.2.3 Sapolita de Balance

Los valores varían entre 0.2 y 13 m, predominan las potencias menores de 3 m, al NE existe una mayor presencia y continuidad de esta mena, alcanzando potencias entre 3 y 13 m, al SW se presenta de forma aislada con potencias entre 0.2 y 6 m, de forma puntual llega a ser de 9 m. Esta variación de la potencia tiene que ver con el grado de madurez de la corteza y el predominio hacia el NE de los perfiles lateríticos-saprolíticos y al SW los lateríticos. Ver figura 3.3.

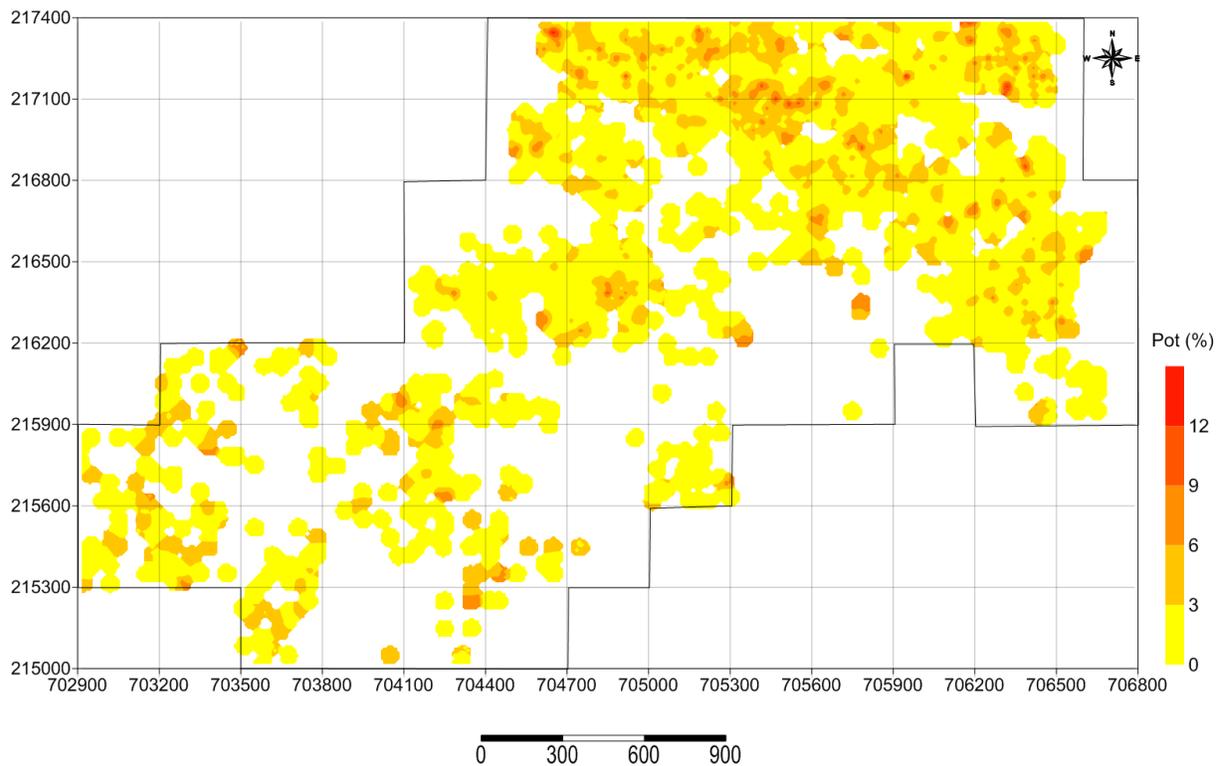


Figura 3.3. Mapa de potencia de la serpentina de balance.

3.2.4 Potencia de mena total (LB+SB)

La potencia total de la mena varía desde 1 hasta 23 m. Los valores menores de 6 m son predominantes, existen valores entre 6 y 11 m hacia el NE alineados con la estructura tectónica más importante del yacimiento, falla NW-SE. Al SW este intervalo está presente y tiene cierta continuidad. Los valores más altos de potencia están al SW orientados paralelamente entre sí y con dirección NE-SW. Ver figura 3.4.

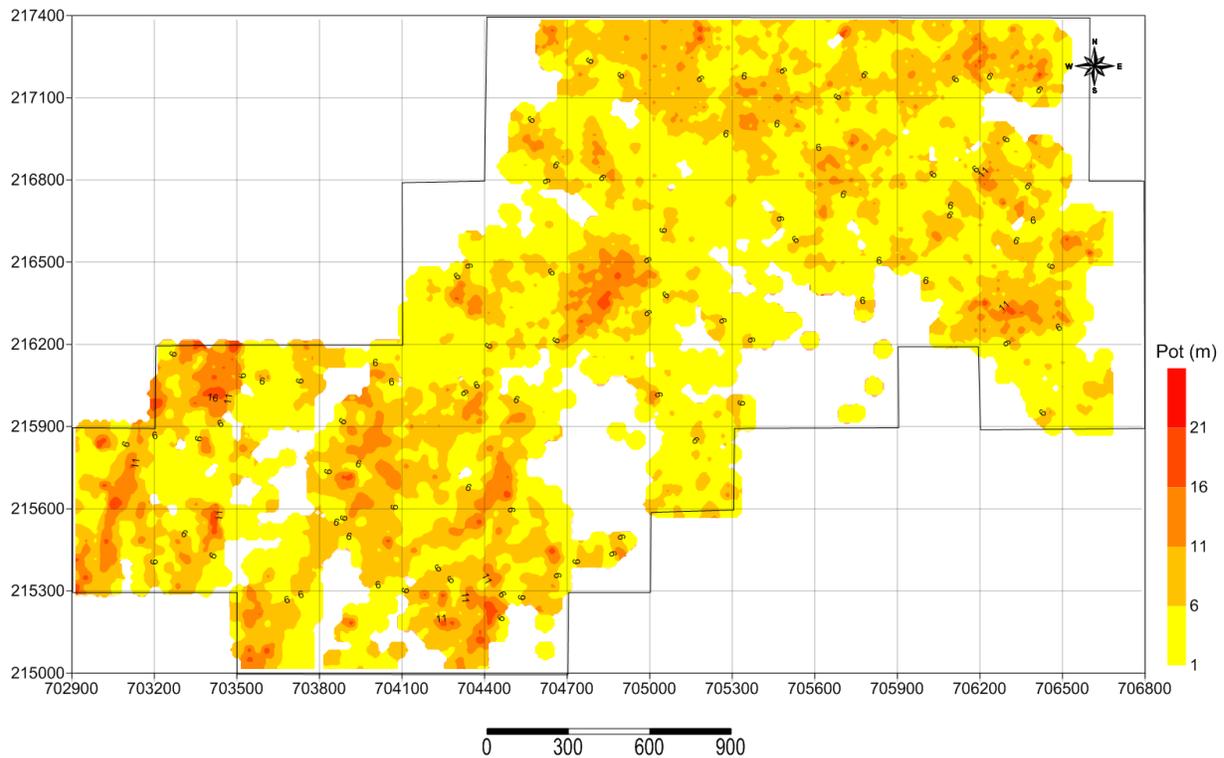


Figura 3.4. Mapa de potencia de la mena total (LB+SB)

TABLA 3.1. Estadística de las potencias de menas.

Estadígrafos	Potencia de E	Potencia de LB	Potencia SB	Potencia de LB+SB
Máximo	18	23	15.0	23
Mínimo	0.40	1.0	0.1	1.1
Media	2.28	4.0	1.4	4.5
Promedio	1.55	5.9	2.4	6.5
Desviación est.	1.65	3.5	1.9	3.7
Varianza	2.73	12.4	3.8	14.2

3.3 Análisis del comportamiento de los elementos útiles y nocivos en las menas del yacimiento

En este epígrafe se muestra el comportamiento de los elementos útiles y nocivos en cada mena del yacimiento a través de los mapas realizados.

3.3.1 Escombro

El hierro presenta valores entre 4 y 54.3 %, predominando en todo el yacimiento concentraciones entre 44 y 54 %. Los valores entre 34 y 44 % al NE no son muy representativos pero tienen cierta continuidad espacial. Al SW aparecen en forma moteada y dispersa.

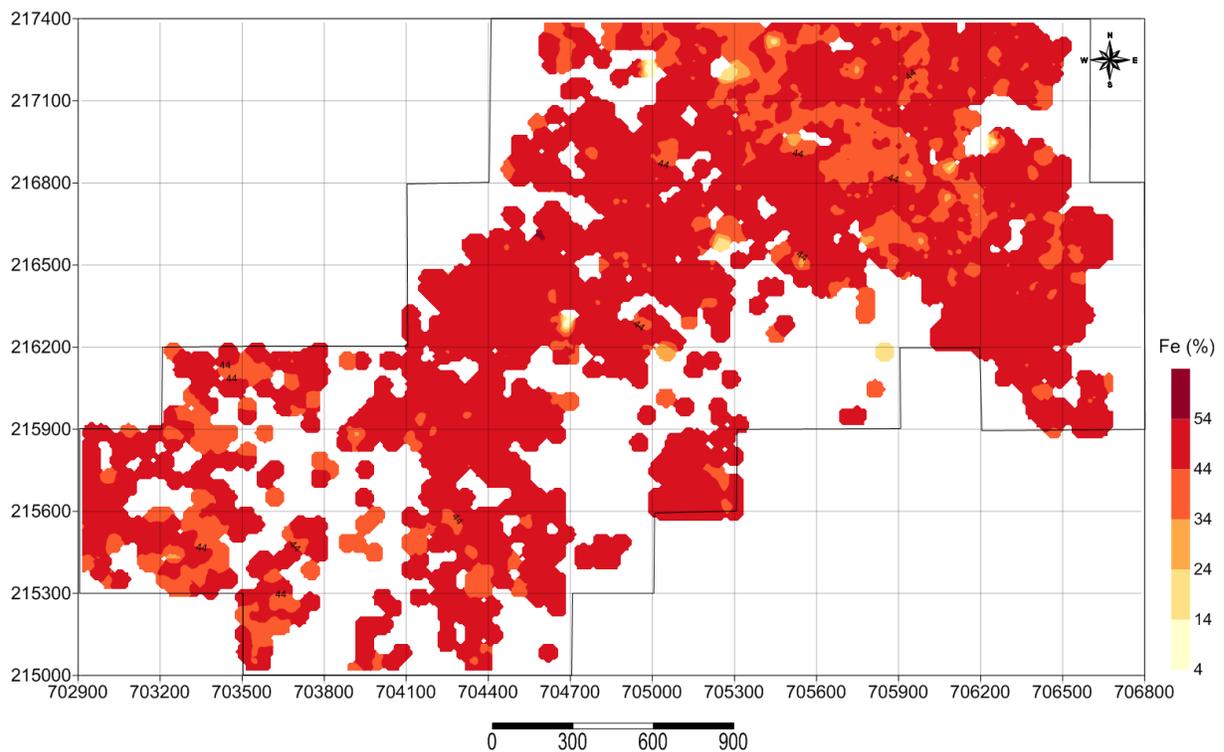


Figura 3.5. Mapa de isocontenido de Fe en el escombro.

El níquel se mueve en valores desde 0.16 hasta 0.89 %, predominando las concentraciones entre 0.55 y 0.75% en todo el yacimiento, fundamentalmente hacia el NE. Los valores de 0.15 a 0.55 % no son representativos y los de 0.75 hasta 0.89 % tienen cierta representatividad sobre todo hacia la parte central y SW. Ver figura 3.6.

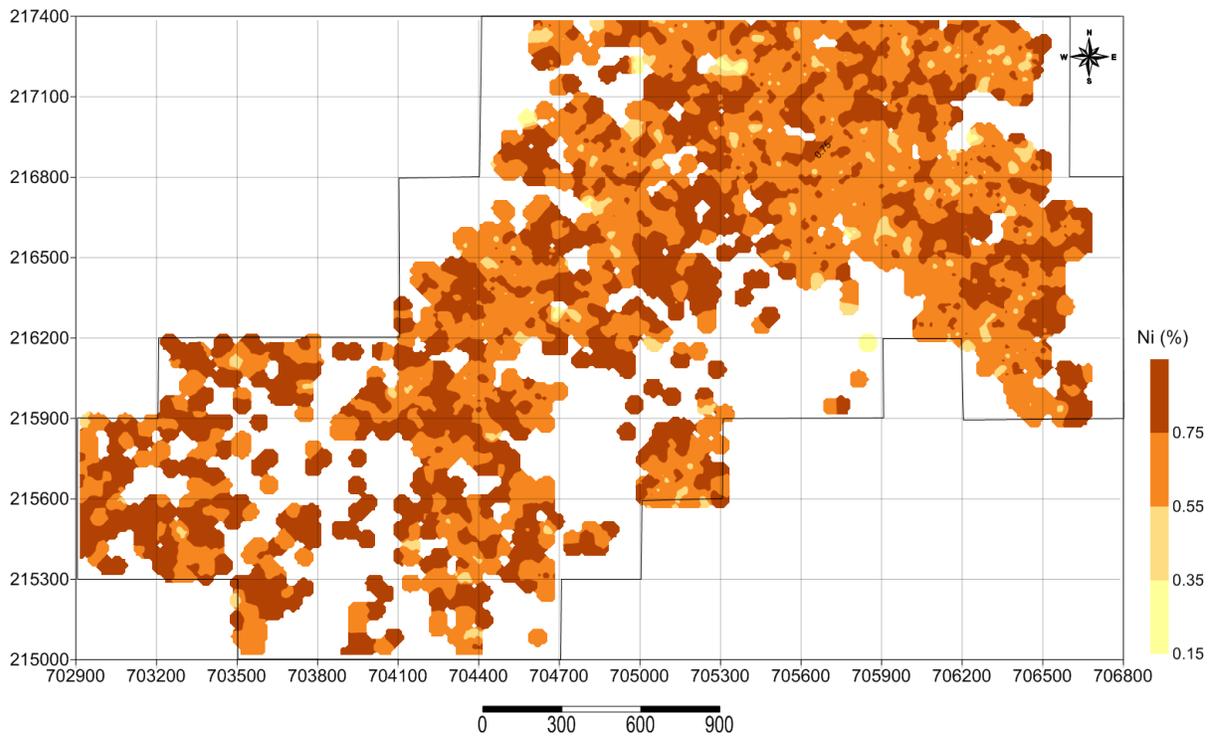


Figura 3.6. Mapa de isocontenido de Ni en el escombro.

El cobalto en este horizonte es bajo, predominan valores por debajo de 0.100 %, siendo más representativos los valores menores de 0.050 % en todo el yacimiento. Con cierta continuidad al NE Ver figura 3.7.

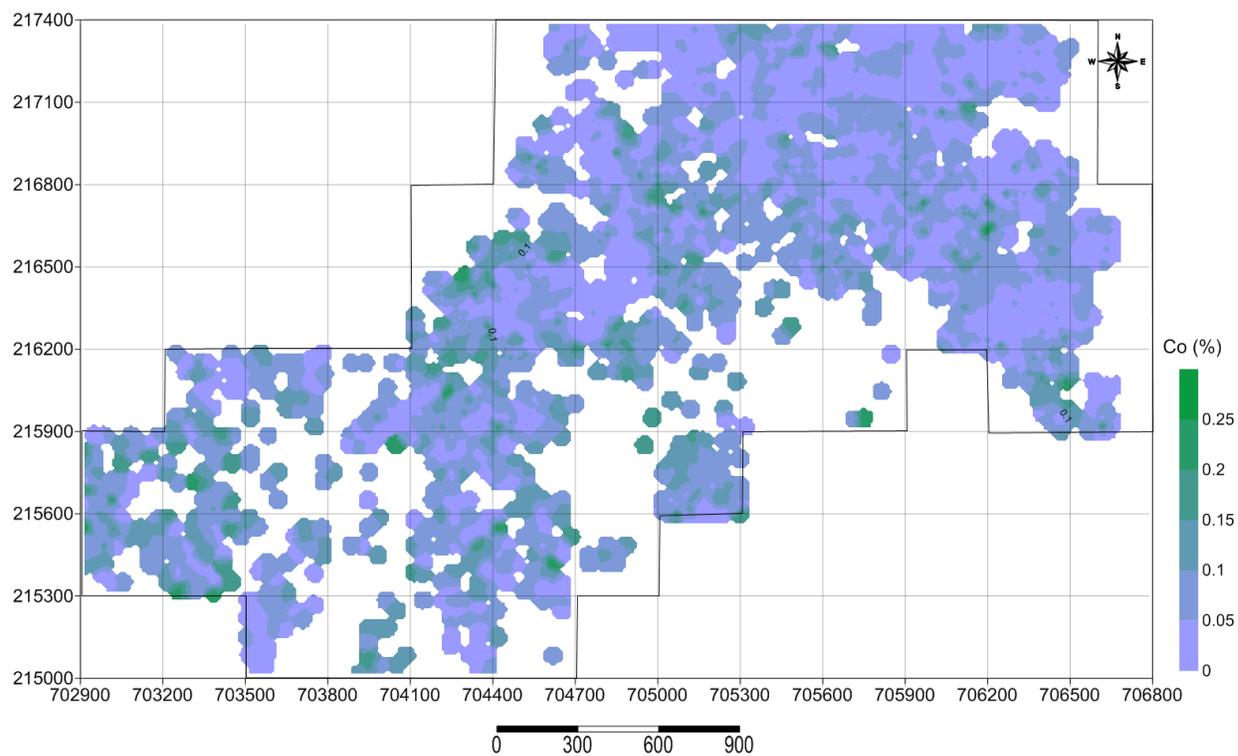


Figura 3.7. Mapa de isocontenido de Co en el escombro.

La sílice varía desde 0.97 a 28.17 %, los valores más representativos son menores del 5 % en todo el yacimiento, el intervalo entre 5 y 10 % está disperso y en forma moteada. Existe un valor puntual mayor de 20 %, su origen puede estar asociado al procedimiento de toma de muestra o procesamiento de ella, el máximo corresponde a la corteza desarrollada sobre el cuerpo de gabro. Ver figura 3.8.

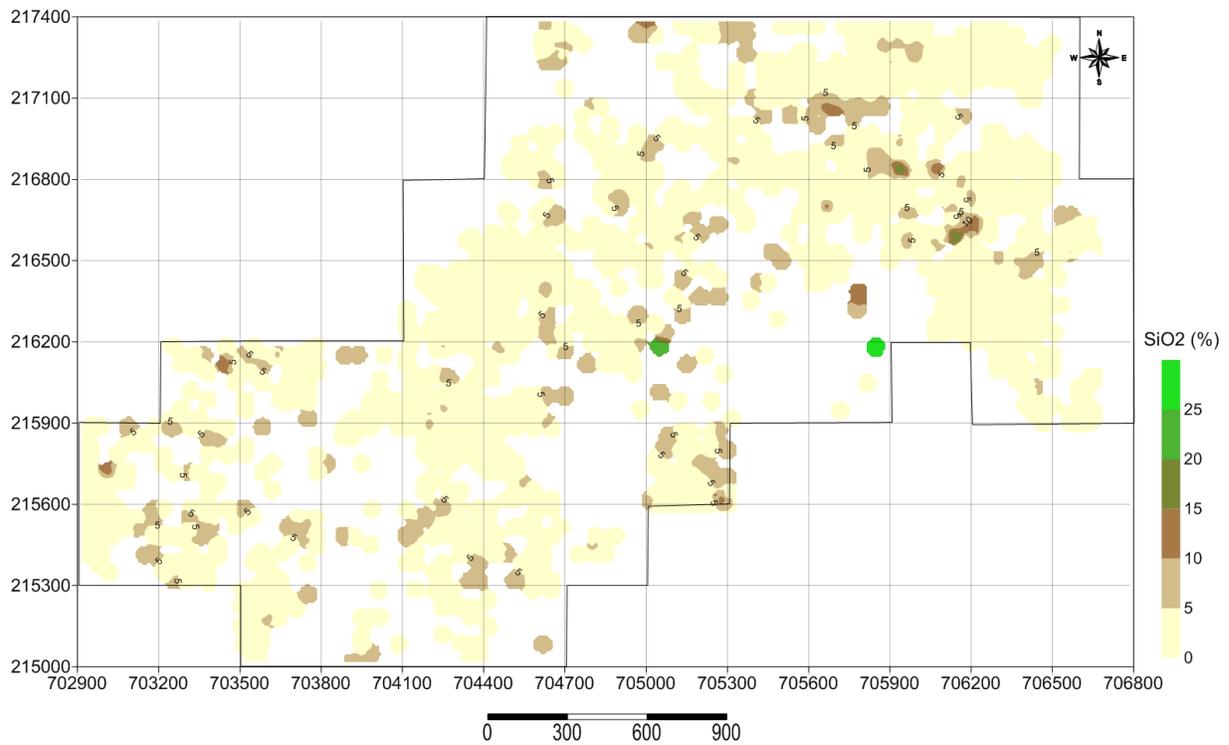


Figura 3.8. Mapa de isocontenido de SiO_2 en el escombro.

En cuanto al magnesio las concentraciones oscilan desde 0.1 hasta 20.17 %, su distribución espacial es menor del 5 %, los valores superiores no son representativos. Ver figura 3.9.

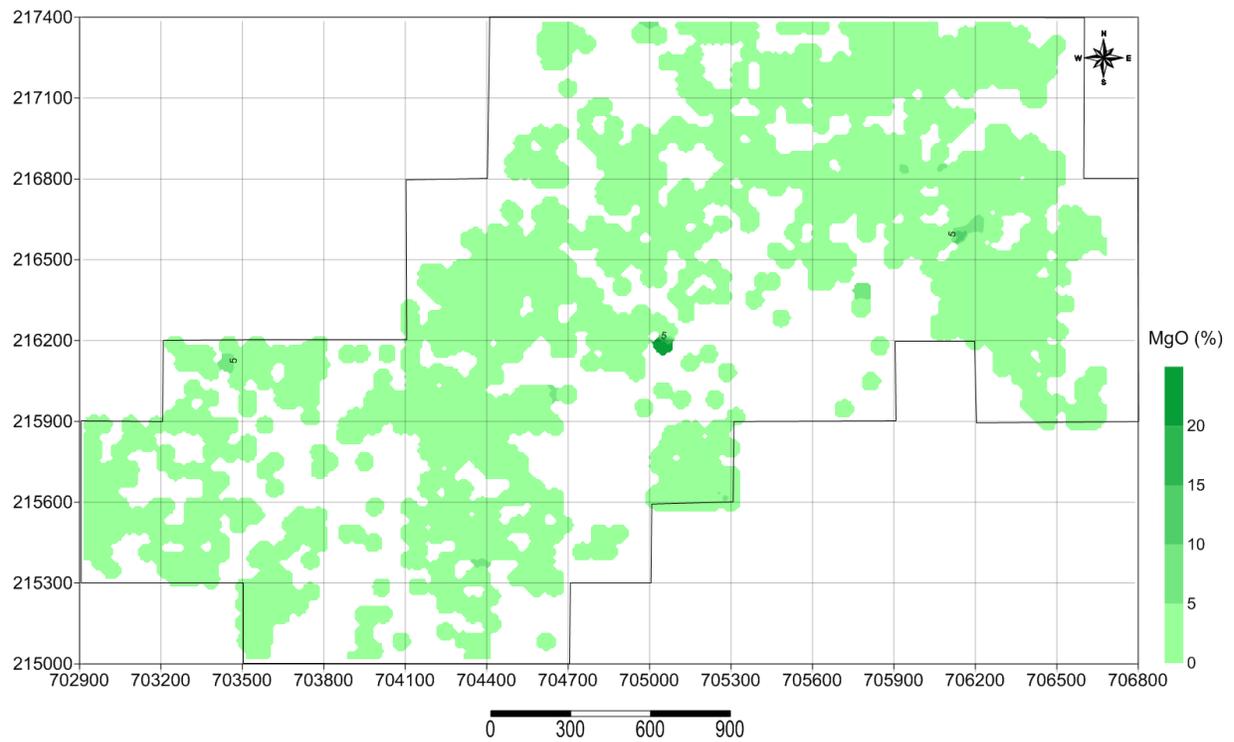


Figura 3.9. Mapa de isocontenido de MgO en el escombro.

Los valores de concentración de la alúmina están entre 4.7 y 36.2 %, predominando en todo el yacimiento los valores entre 10 y 16 %, el intervalo entre 16 y 22 % es menos representativo pero aparece al NE con cierta alineación a la estructura tectónica, falla NW-SE, los valores extremos mayores de 34 % aparecen al NE de forma puntual. Ver figura 3.10.

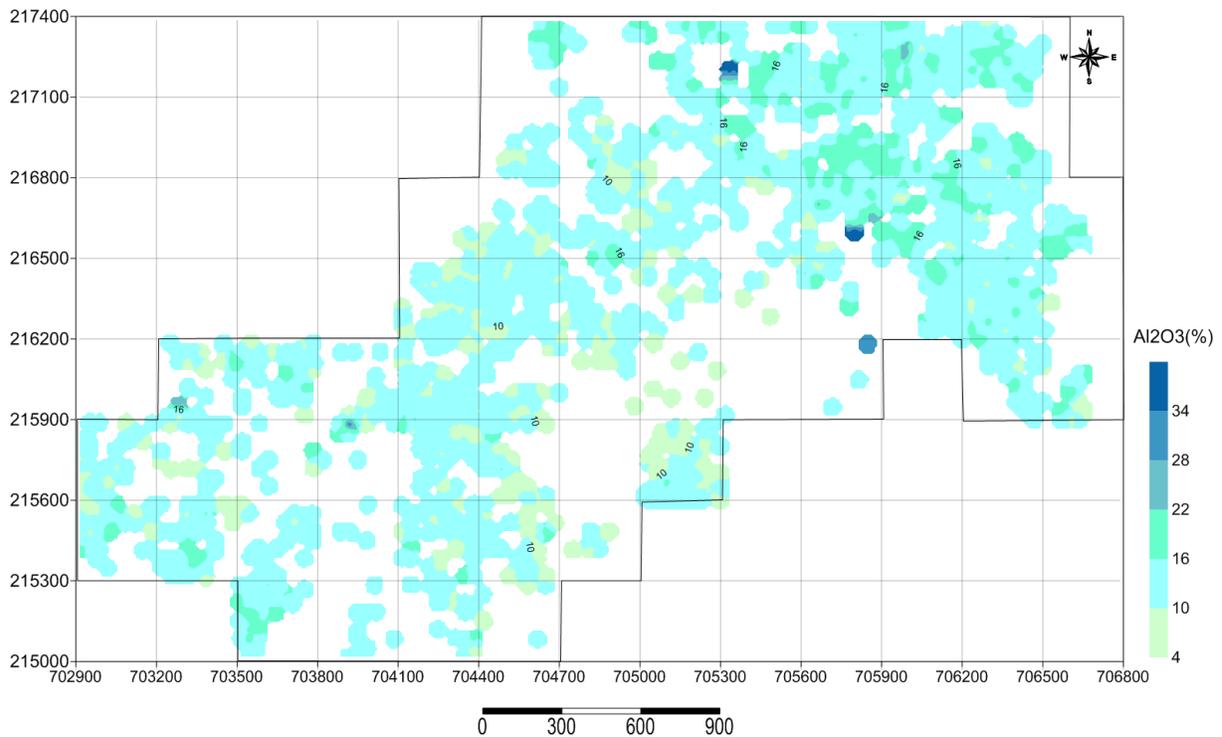


Figura 3.10. Mapa de isocontenido de Al_2O_3 en el escombro.

TABLA 3.2. Estadística de los elementos útiles y nocivos en el escombro.

Estadígrafos	Fe %	Ni %	Co %	SiO ₂ %	MgO %	Al ₂ O ₃ %
Máximo	54,30	0,89	0,265	28	20,2	32,29
Mínimo	5,20	0,15	0,002	1,0	0,2	4,70
Media	45,79	0,71	0,060	3,6	1,1	12,80
Promedio	45,08	0,68	0,033	2,9	0,8	12,16
Desviación estándar	3,75	0,12	0,043	2,1	1,2	3,03
Varianza	14,08	0,01	0,002	4,6	1,4	9,19

3.3.2 Limonita de Balance

En esta mena el hierro tiene valores entre 35.0 y 52.5 %. Al NE predominan los valores mayores de 45.0 % y al SW entre 40.0 y 45.0 %. Ver figura 3.11.

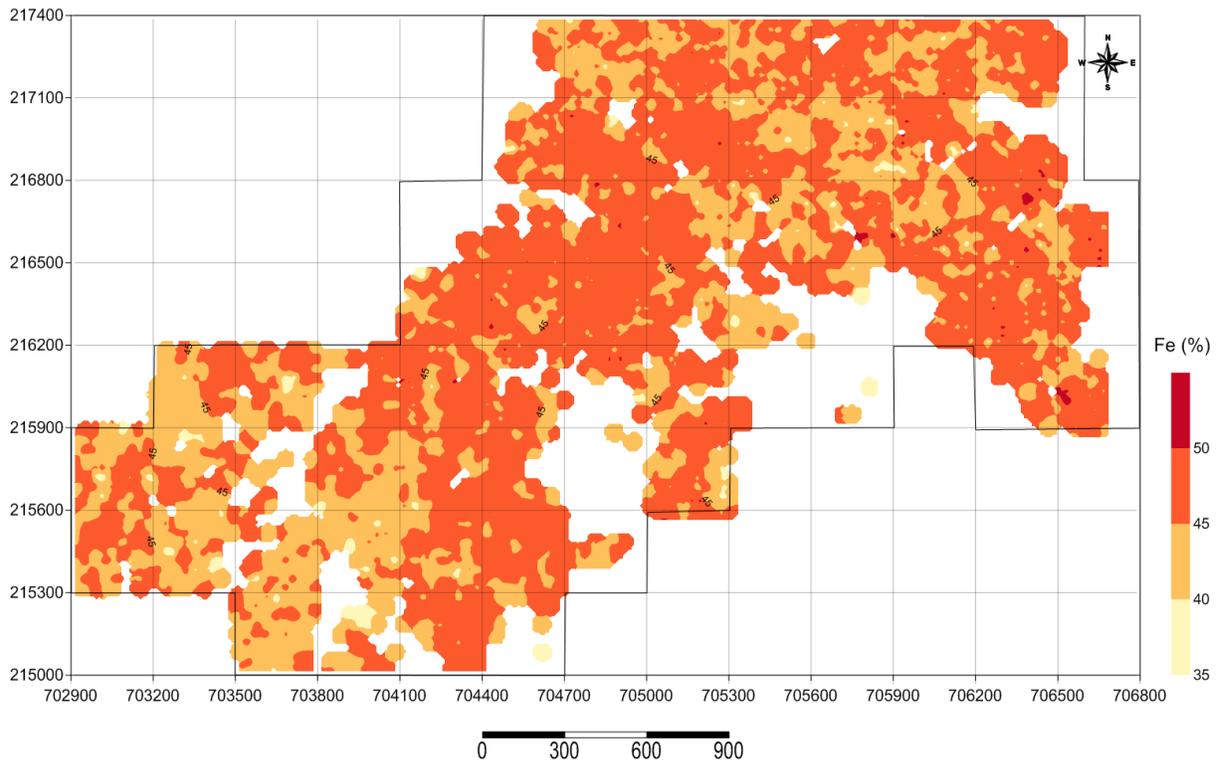


Figura 3.11. Mapa de isocontenido de hierro en la limonita de balance.

El níquel presenta valores que van desde 0,9 hasta 2.16 % de concentración. Predominan los valores entre 0.9 y 1.20%. Al NE se encuentran en mayor cantidad las concentraciones entre 1.20 y 1.50 %. Los valores por encima de 1.50 % se encuentran de forma aislada y escasa tanto al NE como al SW. Ver figura 3.12

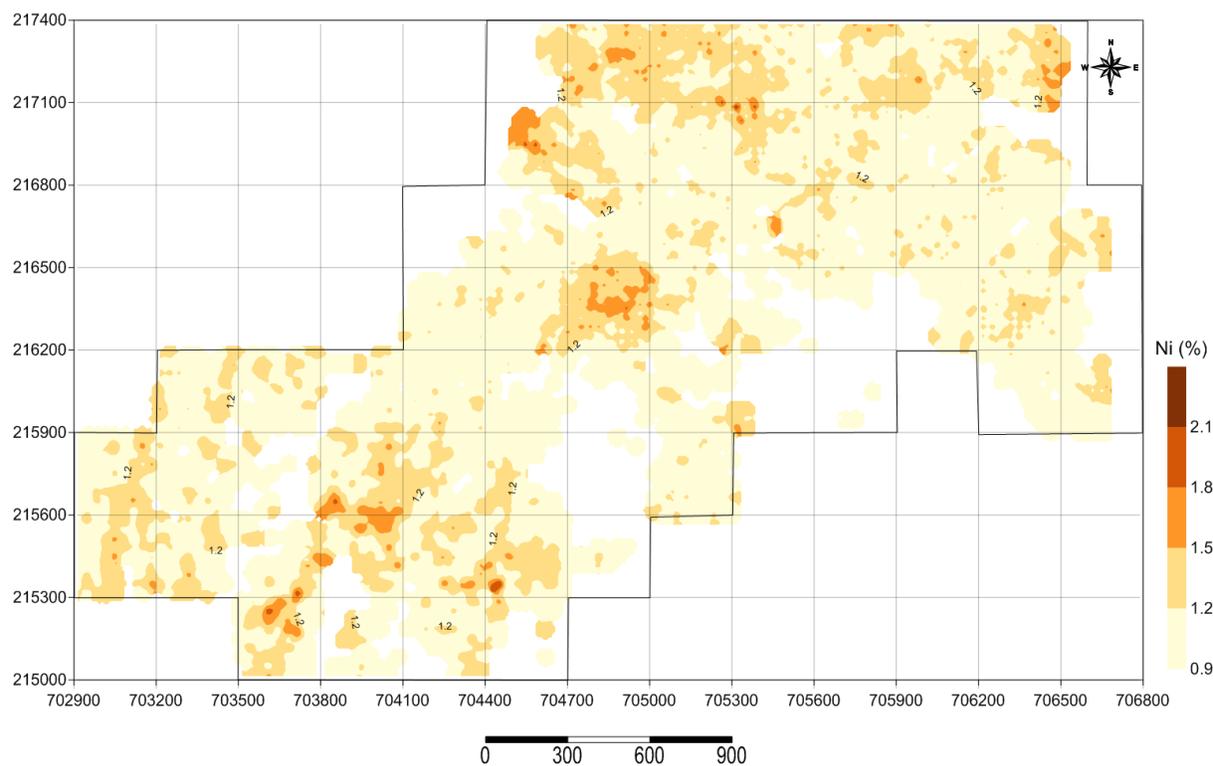


Figura 3.12. Mapa de isocontenido de níquel en la limonita de balance.

El cobalto se mueve entre 0.016 y 0.448 %, predominando las concentraciones del intervalo entre 0.100 y 0.200 %, los valores por encima de 0.200 % aparecen de forma dispersa y en muy poca proporción en todo el yacimiento. Ver figura 3.13.

Los mayores contenidos de Co en el perfil laterítico se localizan predominantemente en la zona de transición entre el horizonte saprolítico y el limonítico, aunque también se han descrito concentraciones importantes hacia la parte alta del horizonte limonítico (Llorca & Monchoux), 1991; (Llorca, 1993); (Labrador et al., 2006); (Roqué-Rosell et al.), 2010).(Proenza _A, 2015).

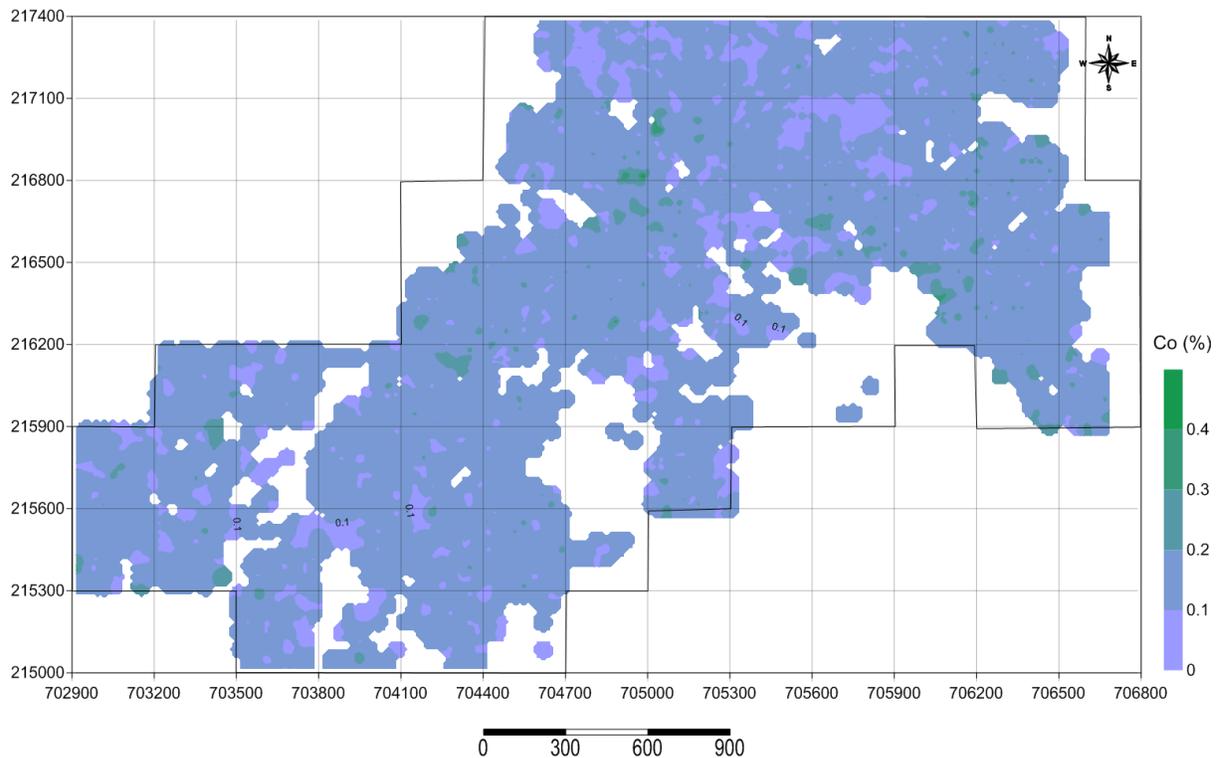


Figura 3.13. Mapa de isocontenido de cobalto en la limonita de balance.

La sílice presenta valores entre 1.45 y 21.27 %, el intervalo más representativo es de 1 a 9 %, ocupa casi la totalidad del yacimiento, las concentraciones por encima de 9 % se encuentran dispersas predominando ligeramente hacia la zona SW. Ver figura 3.14.

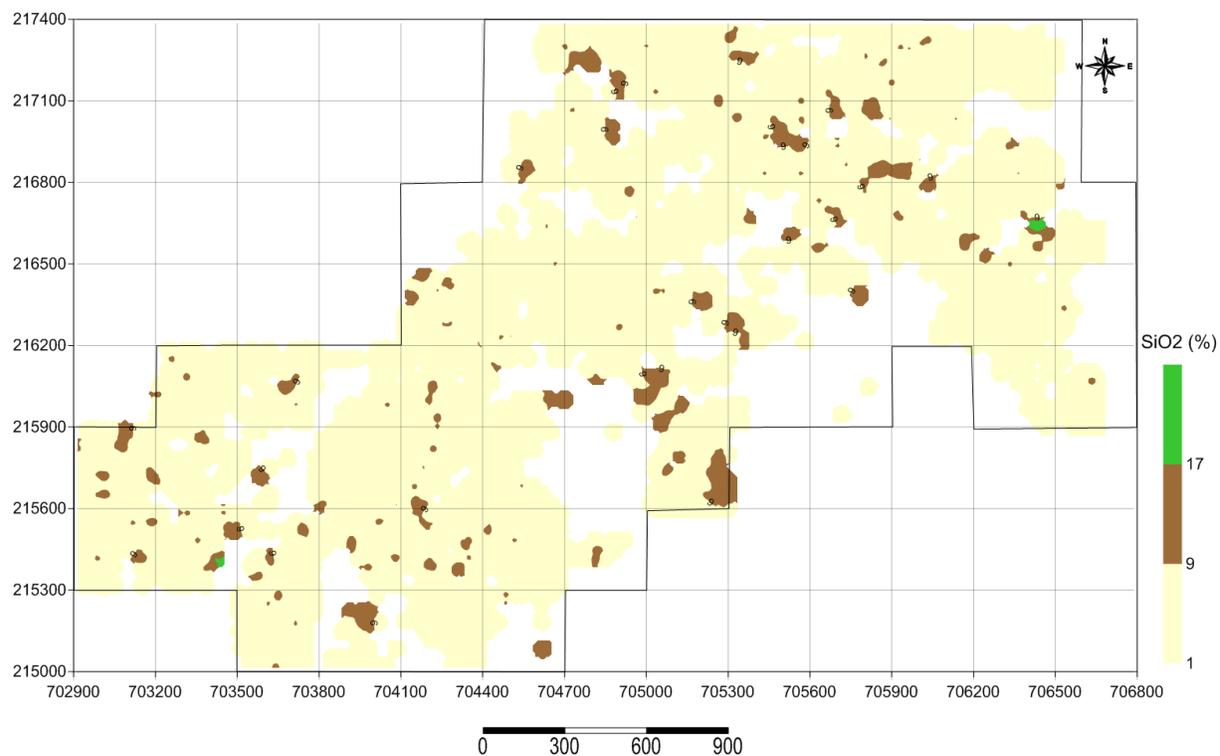


Figura 3.14. Mapa de isocontenido de sílice en la limonita de balance.

El magnesio en esta mena presenta concentraciones entre 0.26 y 13.05 %, predominando los valores menores del 4 %, el intervalo entre 4 y 8 % aparece en forma dispersa a predominio NE y en línea con la mayor estructura tectónica (falla NW-SE). Las concentraciones mayores del 8 % no son representativas. Ver figura 3.15.

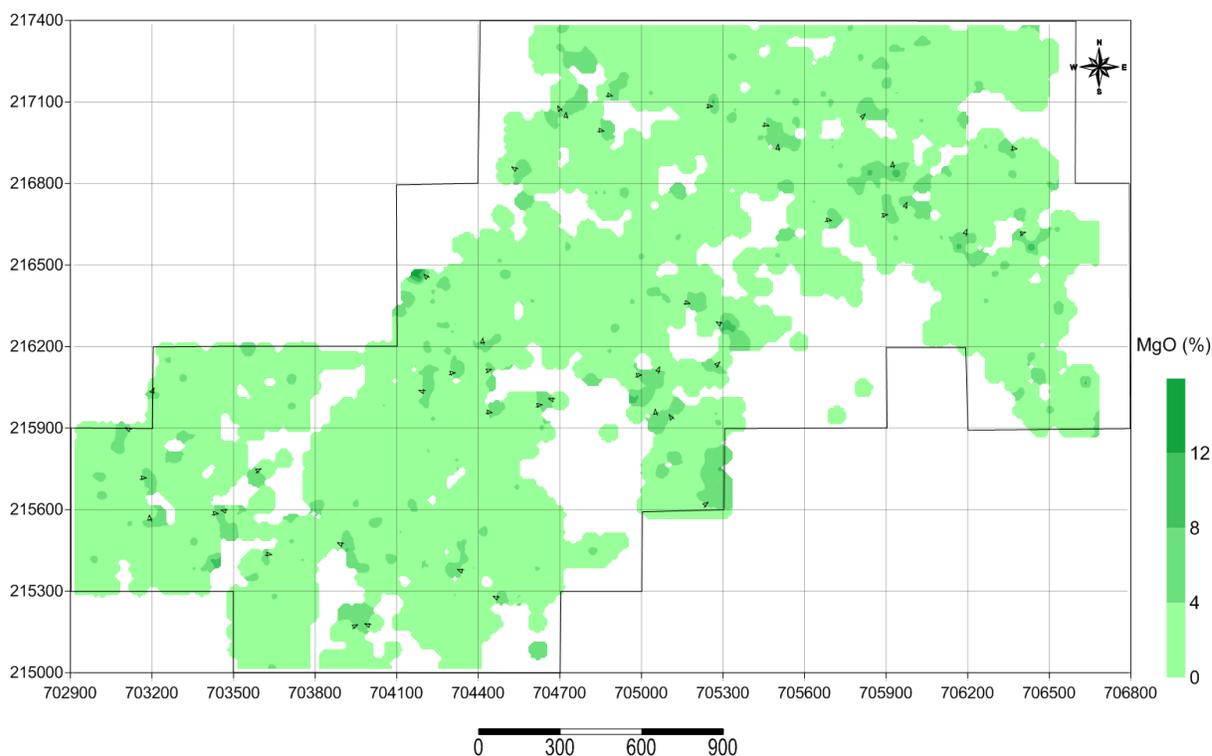


Figura 3.15. Mapa de isocontenido de magnesio en la limonita de balance.

La alúmina presenta concentraciones entre 4.31 y 17.94 %. Predomina el intervalo de 4 a 10 %, fundamentalmente en la parte central del área de estudio. Los valores de 10 a 16 % aparecen concentrados hacia el NE y el SW. El valor mayor de 16 % no es representativo, se encuentran el SW y puede estar relacionado a un pequeño cuerpo de gabro que está en esa zona. Ver figura 3.16.

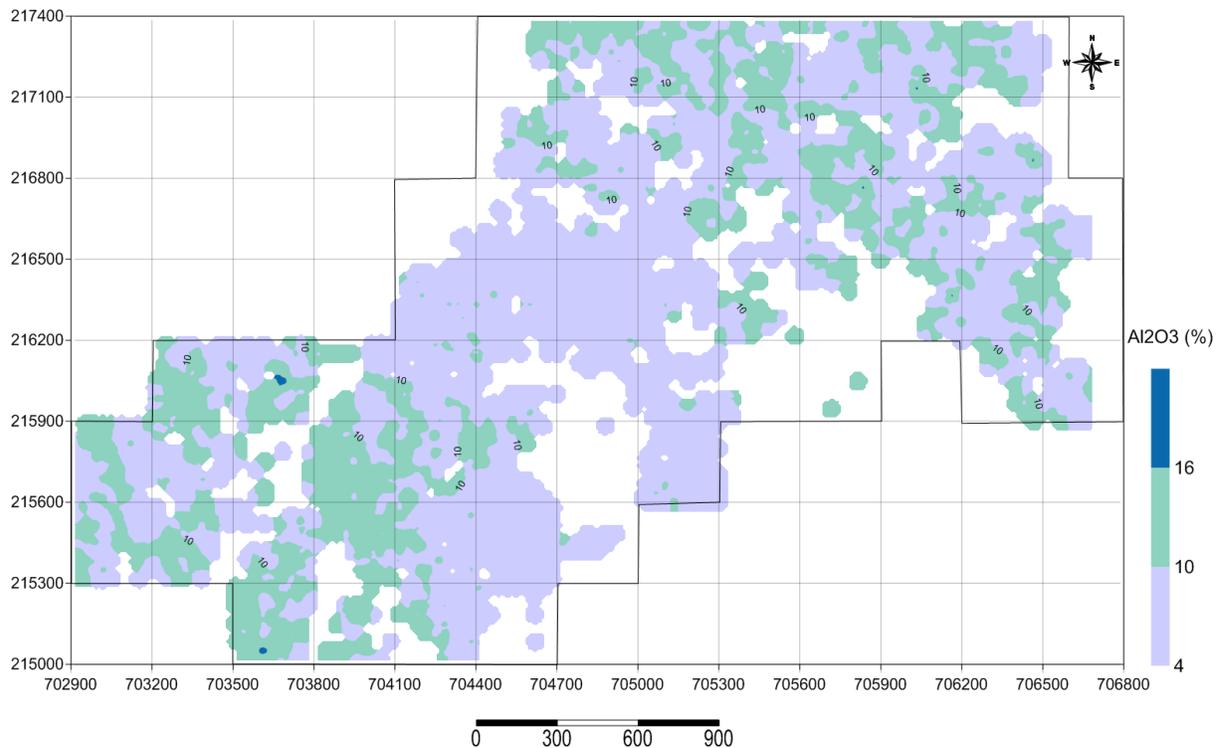


Figura 3.16. Mapa de isocontenido de alúmina en la limonita de balance.

TABLA 3.3. Estadística de elementos útiles y nocivos de la mena LB, en (%).

Estadígrafos	Fe %	Ni %	Co %	SiO ₂ %	MgO %	Al ₂ O ₃ %
Máximo	52,6	2,177	0,459	21,28	13,06	18,87
Mínimo	27,8	0,850	0,011	1,44	0,22	4,32
Media	45,4	1,129	0,120	4,09	1,41	9,07
promedio	45,5	1,154	0,132	5,04	2,09	9,37
Desv. est.	2,6	0,182	0,041	2,50	1,42	1,73
Varianza	6,9	0,033	0,002	6,23	2,03	2,98

3.3.3 Sapolita de Balance

La sapolita de balance tiene poca extensión en el yacimiento y la distribución espacial de sus principales elementos químicos se comporta de la forma siguiente:

El hierro tiene valores entre 12 y 35 %, predominan las concentraciones entre 22 y 32 %, sobre todo hacia la parte NE del yacimiento, las concentraciones mayores de 32 y hasta 35% aparecen de forma moteada predominando al SW. Ver figura 3.17.

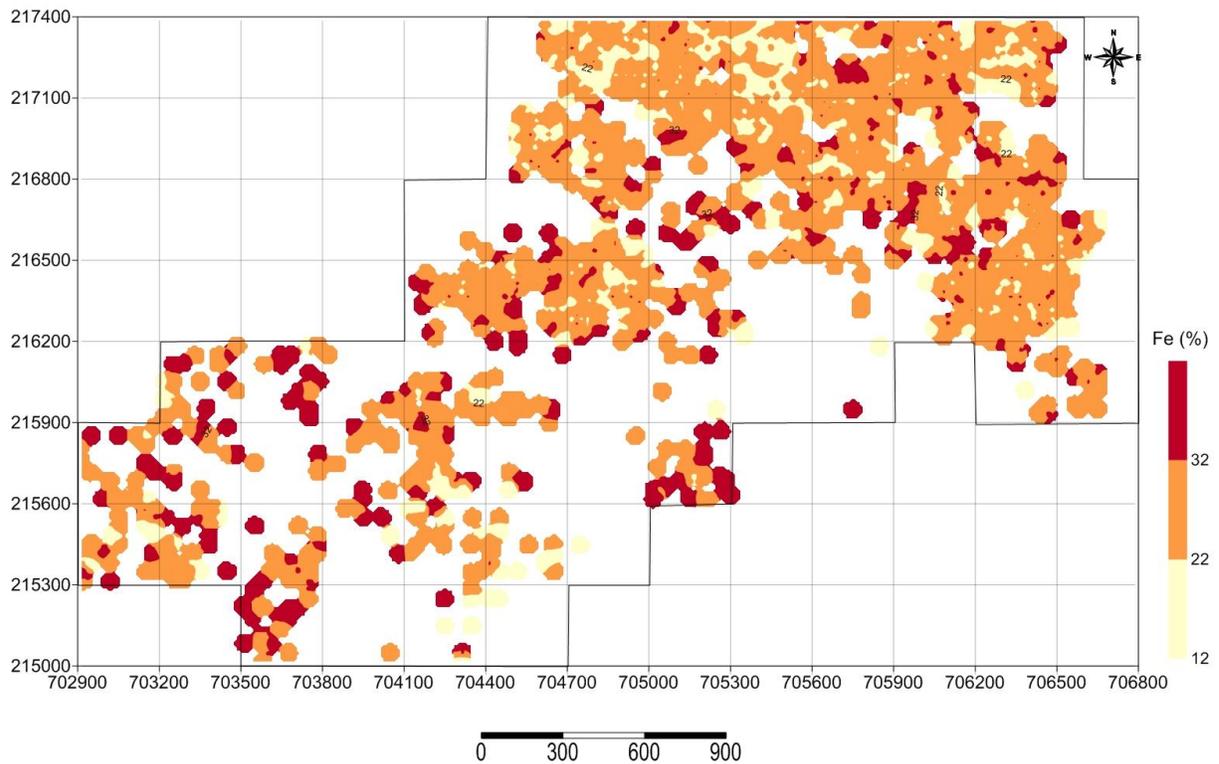


Figura 3.17. Mapa de isocontenido de hierro en la sapolita de balance.

El níquel alcanza los mayores valores en esta mena, estando entre 0.90 y 2.64 %. Existe un ligero predominio de los valores mayores de 1.20 % abundando hacia el NE en coincidencia con el predominio de esta mena. Ver figura 3.18.

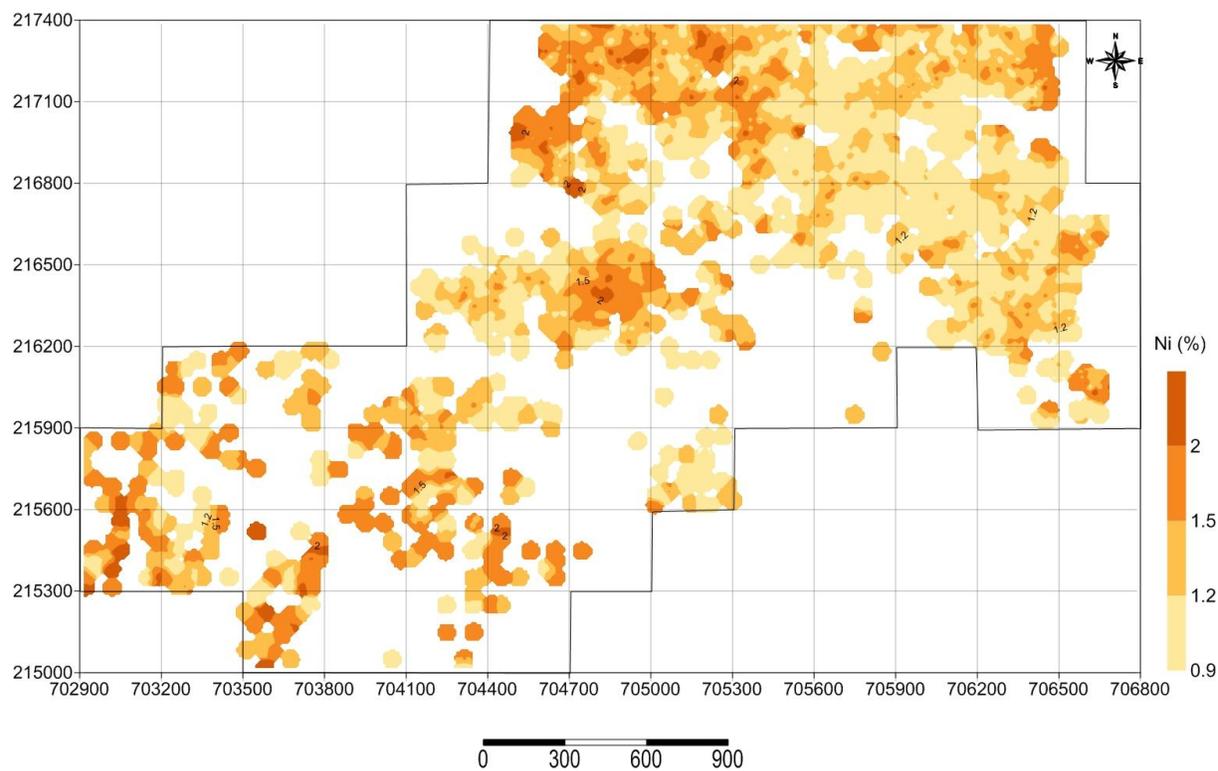


Figura 3.18. Mapa de isocontenido de níquel en la saprolita de balance.

El cobalto se encuentra entre 0.013 hasta 0.48 %. Predominan las concentraciones menores de 0.100 % en todo el yacimiento. Los valores por encima de 0.100 % no son representativos y aparecen de forma dispersa. Ver figura 3.19.

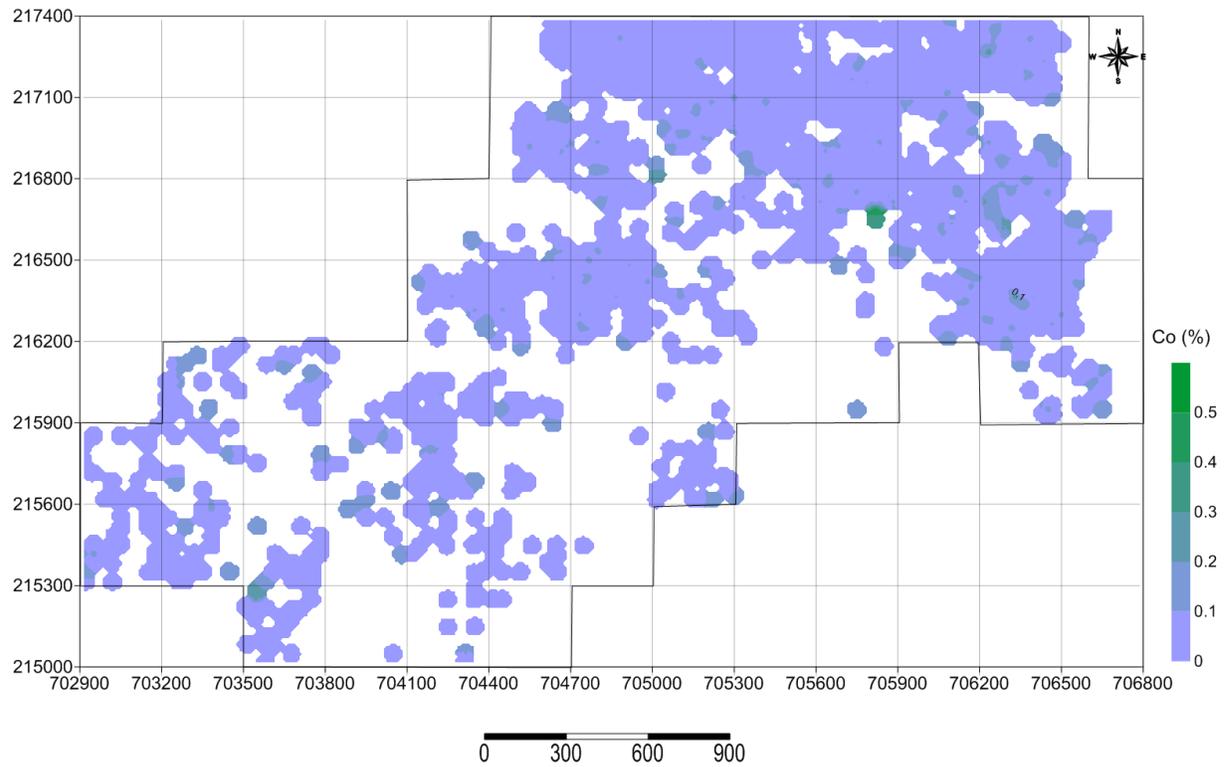


Figura 3.19. Mapa de isocontenido de Co en la saprolita de balance.

La sílice se mueve en valores desde 10.24 hasta 36.35 %. Las concentraciones son altas predominando los valores por encima del 15 %, lo que es característico en esta mena. Sobre todo al NE donde es más extensa. Ver figura 3.20.

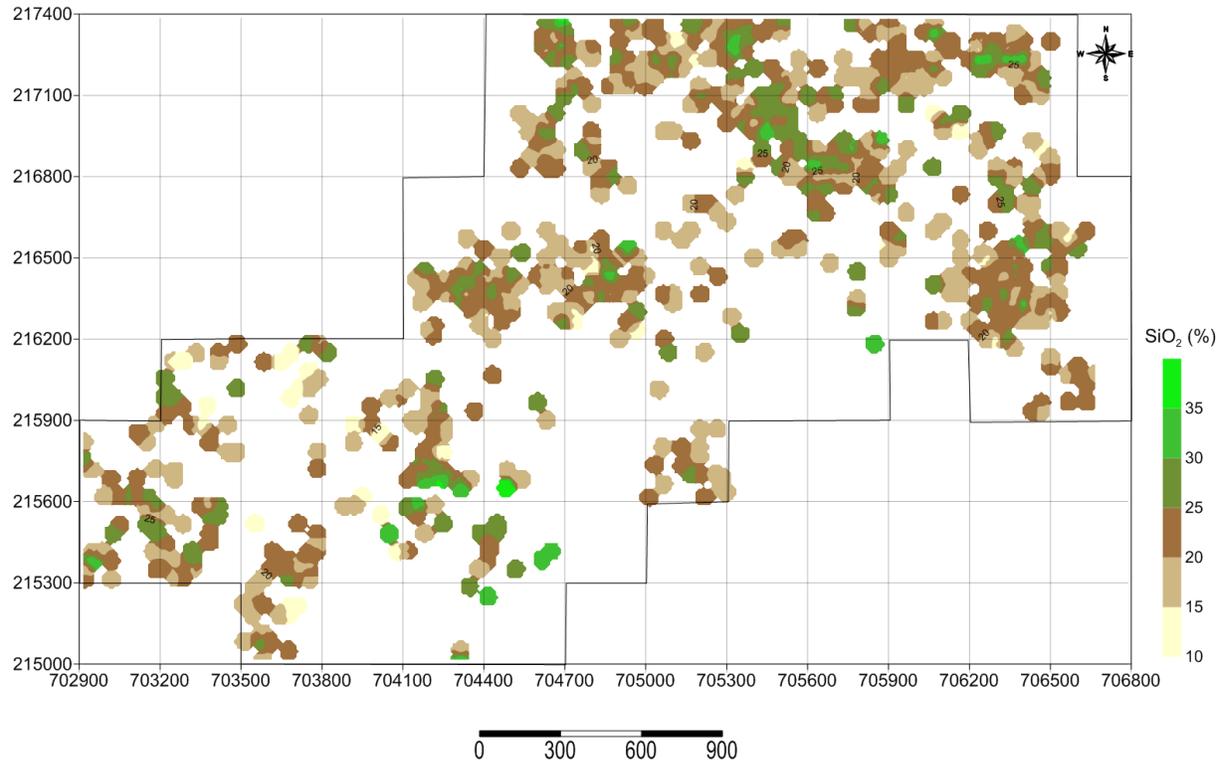


Figura 3.20. Mapa de isocontenido de SiO_2 en la saprolita de balance.

El magnesio oscila entre 1.41 y 31.69 %, predominan las concentraciones mayores del 5 %, principalmente al NE, las que se consideran altas teniendo en cuenta el cut-off. Los valores menores de 5 % no son representativos. Ver figura 3.21.

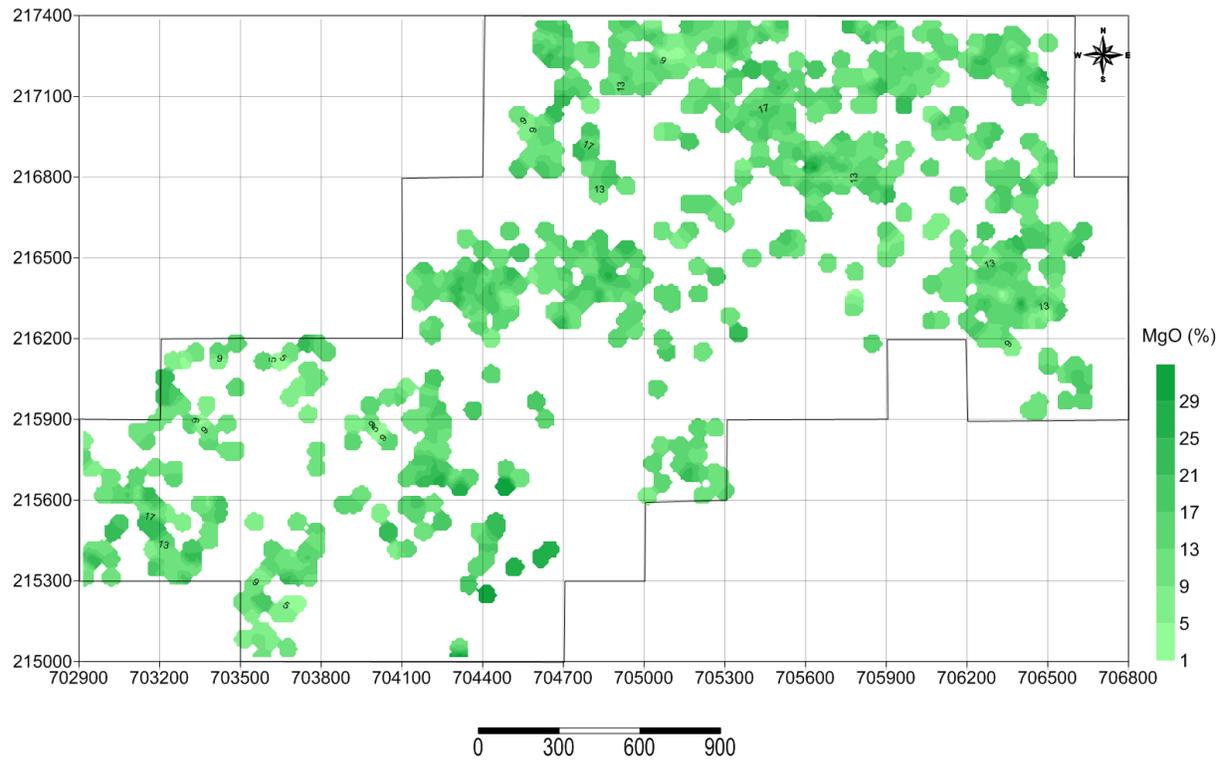


Figura 3.21. Mapa de isocontenido de MgO en la saprolita de balance.

La alúmina varía desde 1.71 hasta 27.08 %, el intervalo de 1 hasta 10 % es el más representativo en la mena, los valores extremos están dispersos. Ver figura 3.22.

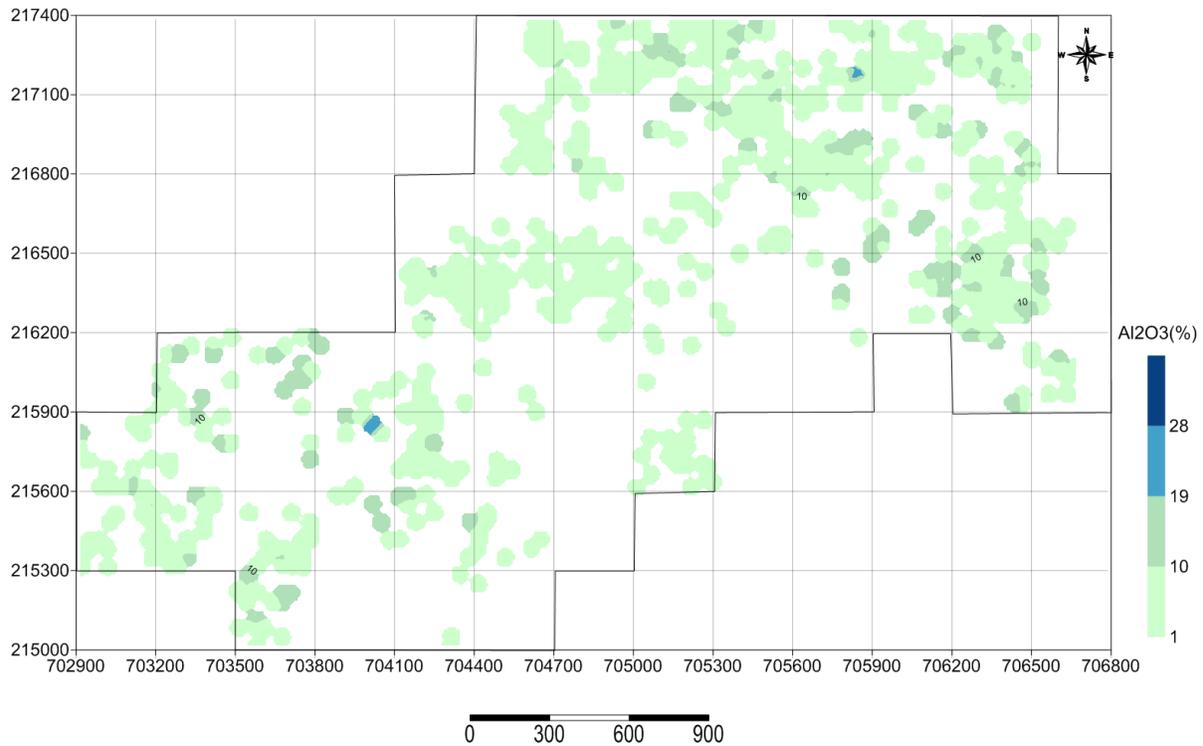


Figura 3.22. Mapa de isocontenidos de Al_2O_3 en la saprolita de balance.

TABLA 3.4. Estadística de elementos útiles y nocivos de la mena SB.

Estadígrafos	Fe %	Ni %	Co %	SiO ₂ %	MgO %	Al ₂ O ₃ %
Máximo	34,9	2,75	0,480	36,4	31,7	27,09
Mínimo	12,1	0,90	0,009	10,2	0,7	1,71
media	24,9	1,26	0,056	20,5	11,8	6,06
Promedio	26,4	1,34	0,067	21,6	14,0	7,14
Desviación estándar.	5,7	0,33	0,031	4,8	4,7	3,15
Varianza	32,9	0,11	0,001	22,6	22,5	9,90

3.3.4 Mena total (LB+SB)

En este epígrafe se muestra el comportamiento de los elementos útiles y nocivos de la mena total de yacimiento.

El hierro oscila entre 17.12 y 52.86 %, al NE predomina el intervalo de 35 a 45 % aunque también aparecen valores por encima del 45 % en alineación con la principal estructura tectónica, las concentraciones por encima del 45 % predominan en la parte central del yacimiento. Al SW al igual que el NE se concentran los valores entre 35 y 45 %. Ver figura 3.23.

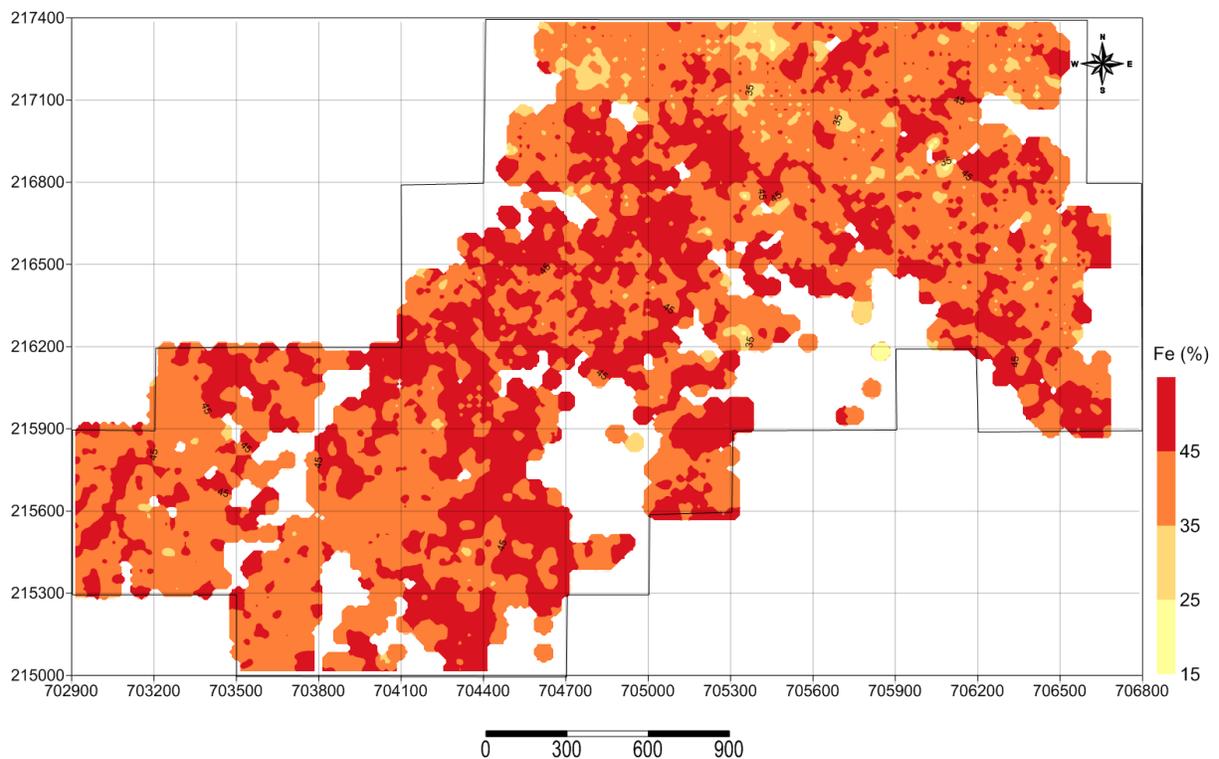


Figura 3.23. Mapa de isocontenido de Fe en la mena total (LB+SB).

El níquel en la mena total varía desde 0.9 hasta 2.27 % de concentración, siendo el intervalo más representativo el de 0.9 a 0.17 %, con el 55.1 % de distribución, le sigue el intervalo de 1.17 a 1.44 %, con un 33.9 % de distribución, los demás intervalos con baja representatividad aparecen de forma dispersa en el yacimiento. Ver figura 3.24.

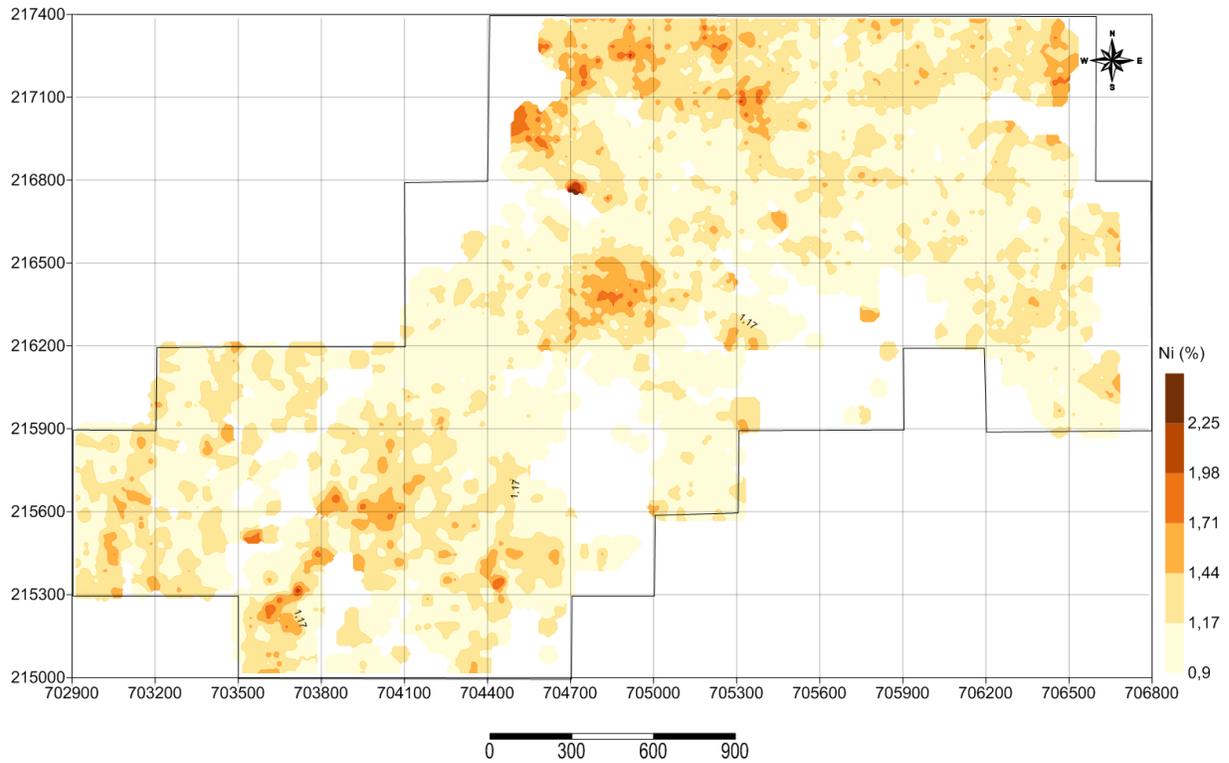


Figura 3.24. Mapa de isocontenido de Ni en la mena total (LB+SB).

El cobalto oscila entre 0.029 y 0.448%, predominando en todo el yacimiento las concentraciones mayores de 0.100 %. Los valores menores de 0.100 % se ubican fundamentalmente en el centro de la parte NE. Ver figura 3.25.

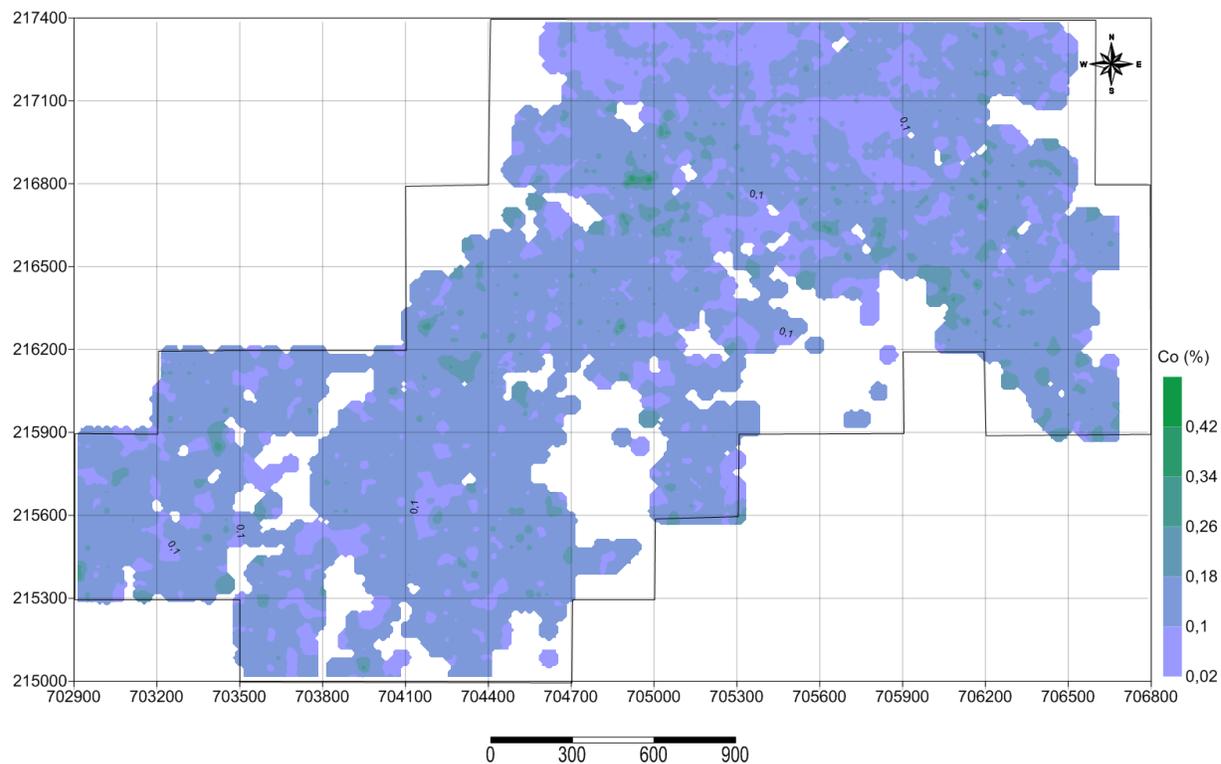


Figura 3.25. Mapa de isocontenido de Co en la mena total (LB+SB).

La sílice tiene valores desde 1.45 hasta 33 % de concentración, predominando en toda el área de estudio los valores menores del 10 %. Los valores extremos están distribuidos de forma aislada y baja representatividad, se localizan alineados con la falla NW-SW en la zona NE y el valor más alto coincide con el cuerpo de gabbro del basamento. Ver figura 3.26.

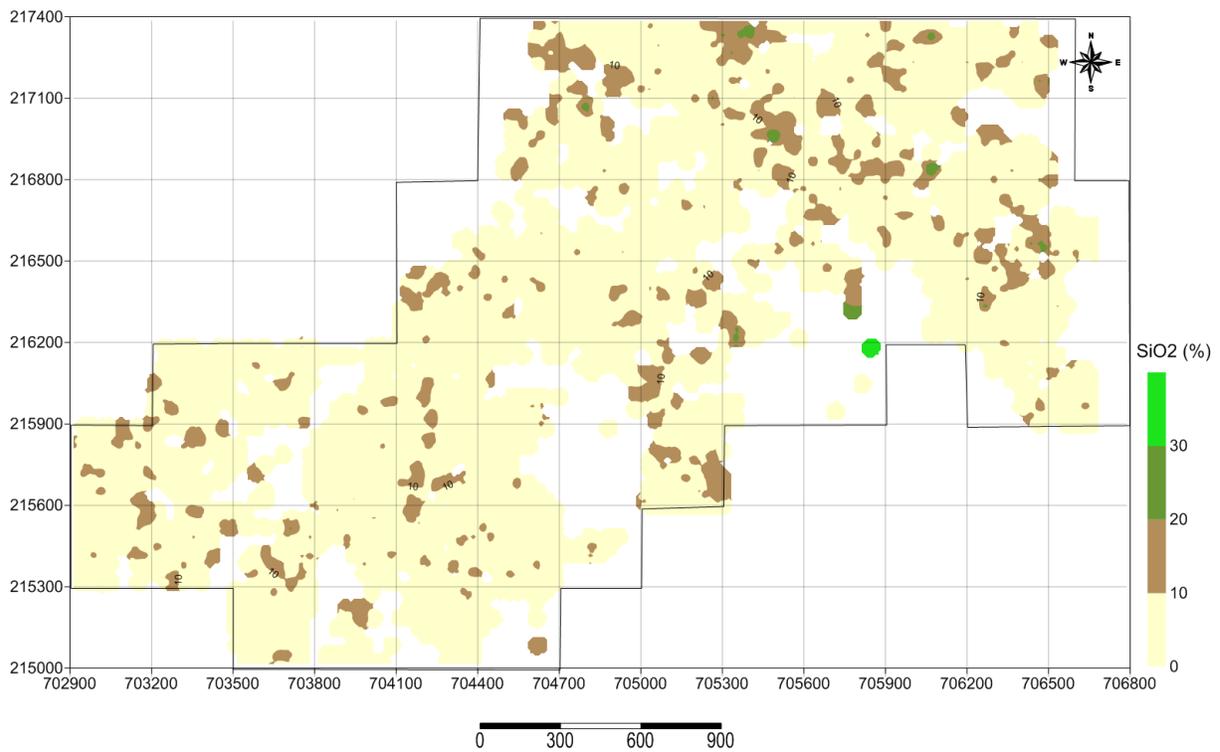


Figura 3.26. Mapa de isocontenido de SiO₂ en la mena total (LB+SB).

El magnesio oscila entre 0.35 hasta 17.53 % de concentración predominando los valores menores del 4 %. Los valores extremos predominan al NE alineados con la falla NW-SW. Ver figura 3.27.

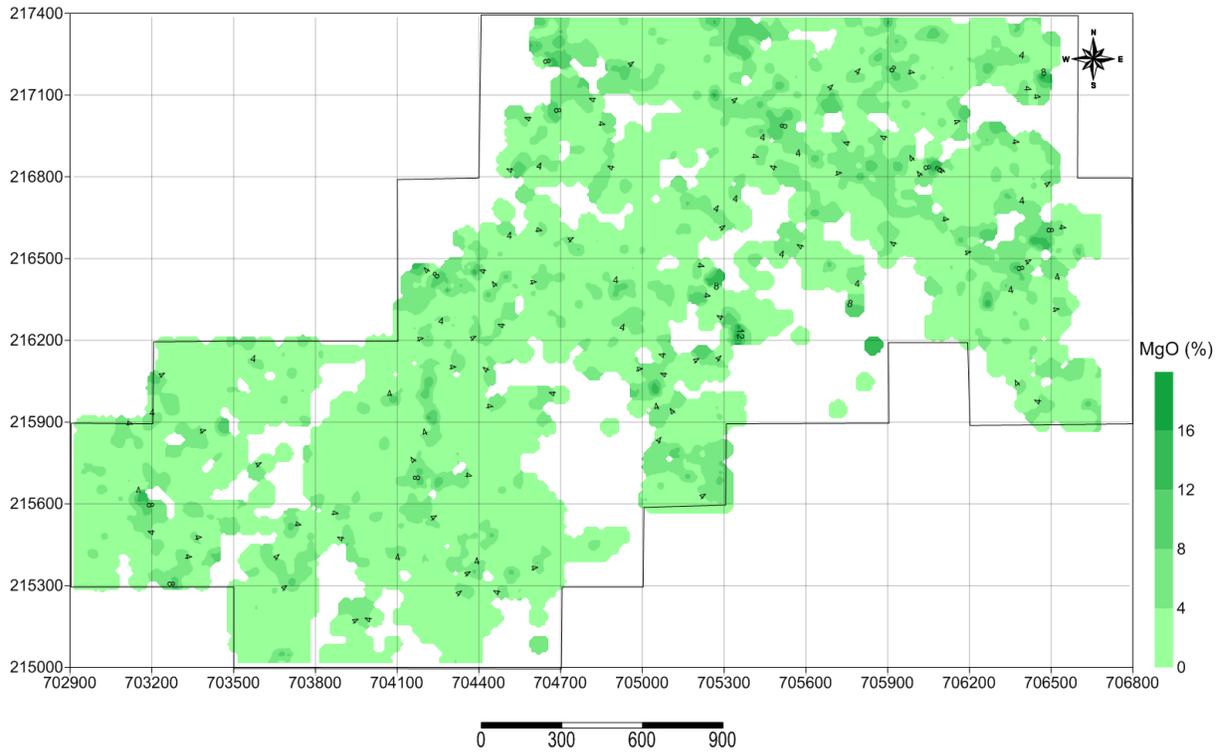


Figura 3.27. Mapa de isocontenido de MgO en la mena total (LB+SB).

La alúmina presenta valores desde 4.35 hasta 16.94 % de concentración predominando en toda el área de estudio los valores menores del 12 %. Los valores extremos están distribuidos de forma aislada. Ver figura 3.28.

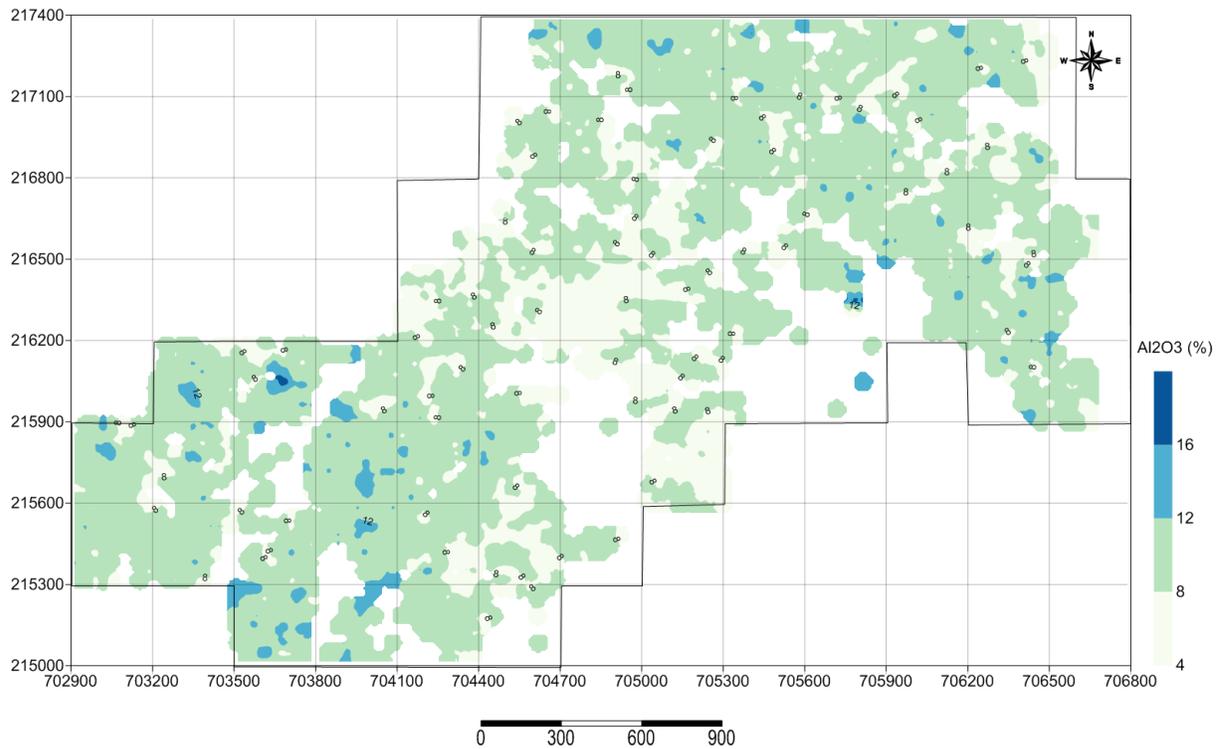


Figura 3.28. Mapa de isocontenido de Al_2O_3 en la mena total (LB+SB).

TABLA 3.5. Estadística de elementos útiles y nocivos de la mena total LB+SB.

Estadígrafos	Fe %	Ni %	Co %	SiO_2 %	MgO %	Al_2O_3 %
máximo	52,8	2,275	0,459	33	17,53	16,98
mínimo	13,9	0,9	0,022	1,45	0,35	4,35
media	42,3	1,153	0,110	4,70	1,70	8,80
promedio	43,0	1,182	0,124	6,35	3,02	9,12
Des. est.	5,0	0,197	0,04	3,84	2,50	1,72
varianza	25,2	0,03	0,001	14,7	6,27	2,97

3.4 Caracterización de las intercalaciones no industriales

Las intercalaciones no industriales es un parámetro a tener en cuenta en la evaluación de un yacimiento ya que éstas empobrecen la mena, a través de mapas y columnas litológicas mostramos su ubicación, clasificación y comportamiento de elementos útiles y nocivos.

3.4.1 Potencia de las intercalaciones no industriales

Dentro de las menas existen intercalaciones no industriales, su potencia está entre 1 y 17 m, la clase más representativa es la de 3 a 5 m con predominio hacia la parte NE, al SW existen todas las clases en menor cantidad y de forma aislada. Ver figura 3.29.

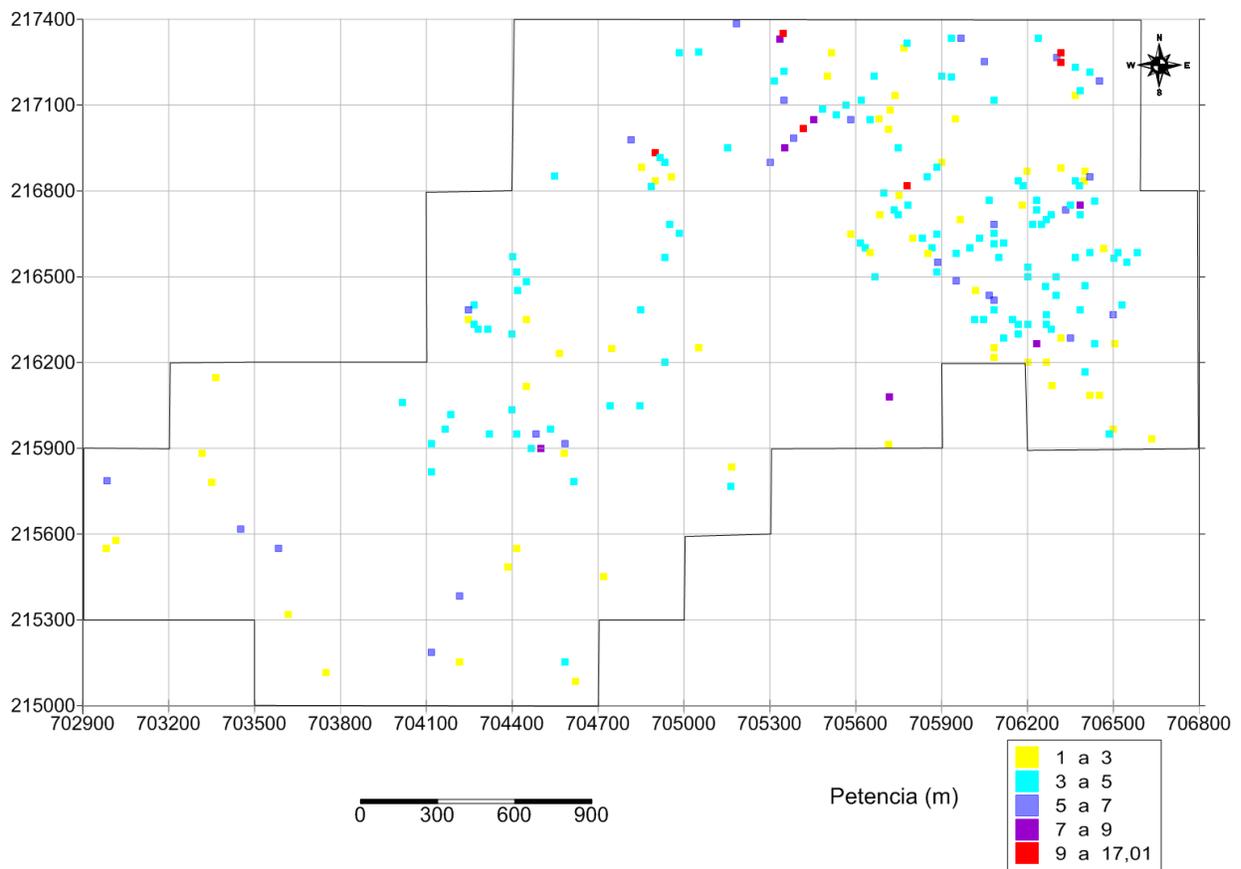


Figura 3.29. Imagen del mapa de potencia de las intercalaciones no industriales.

3.4.2 Análisis de los elementos útiles y nocivos en las intercalaciones no industriales

El hierro en las intercalaciones va desde 5.1 hasta 52.41 %. Predomina la clase con valores de 40 a 52.41 %, siendo éstos los valores de hierro más representativos entre las intercalaciones no industriales. Ver figura 3.30.

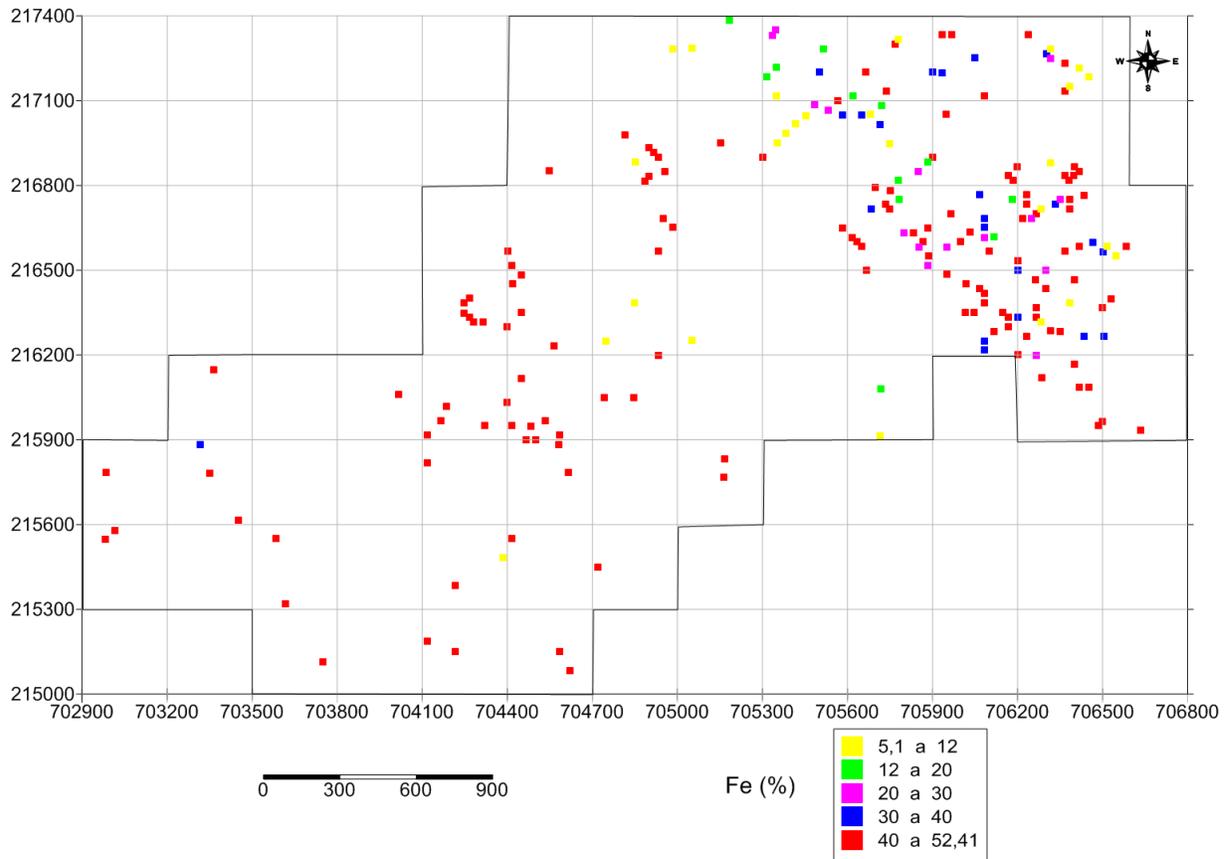


Figura 3.30. Imagen del mapa de isocontenido de Fe en las intercalaciones no industriales.

El níquel varía desde 0.17 hasta 1.817 %, la clase más representativa es la de 0.7 a 0.9 %, ubicada desde el centro y hacia el NE, en menor medida al SW en correspondencia con la aparición de las intercalaciones, la que menos aparece es la de 0.9 hasta 1.817 % que se encuentra en 11 pozos ubicados al NE del yacimiento. Ver figura 3.31.

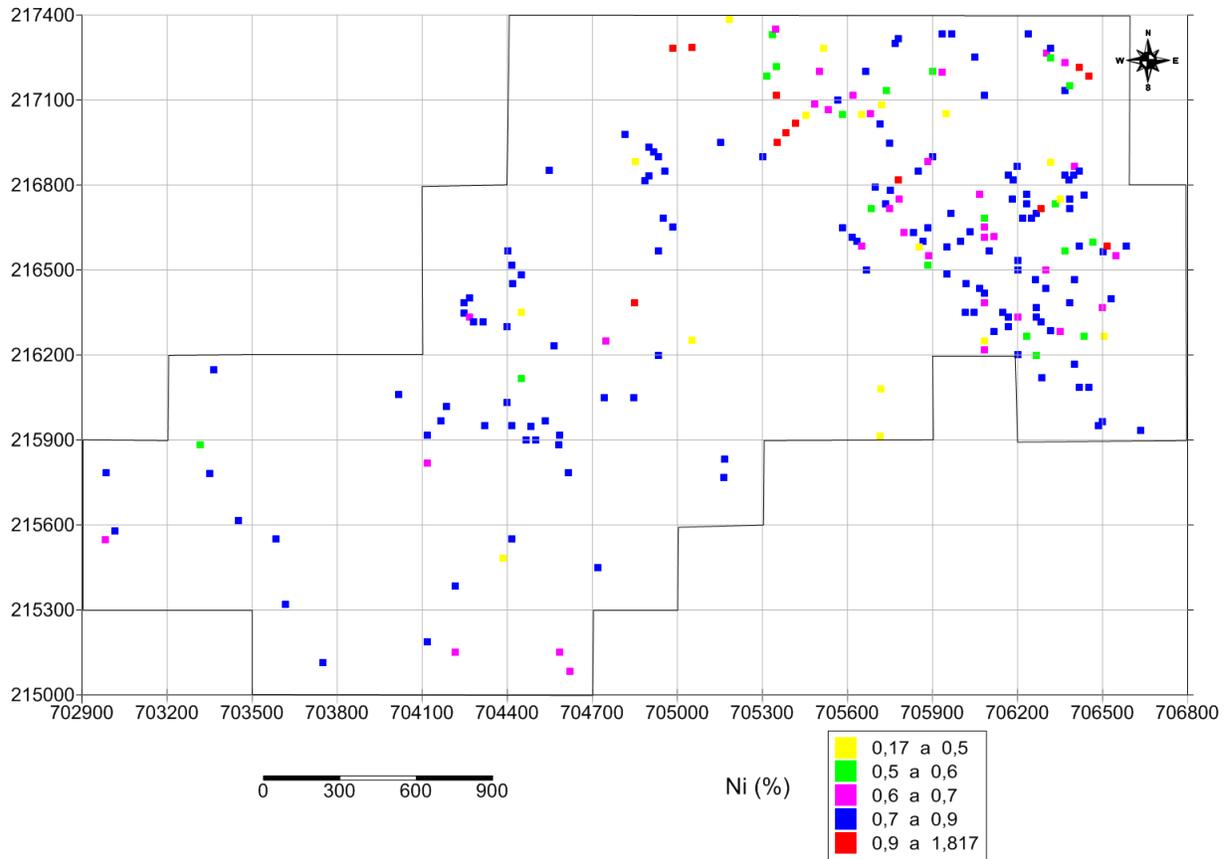


Figura 3.31. Mapa de contenido de Ni en las intercalaciones no industriales.

El cobalto oscila entre 0.07 y 0.427 %, se caracteriza por tener valores bajos dentro de las intercalaciones no industriales, siendo la clase más representativa la de 0.007 a 0.1 % predominando hacia el NE del yacimiento y en menor medida en el centro. Los valores mayores de 0.1 % están diseminados por toda la zona de intercalaciones y de forma dispersa. Ver figura 3.32.

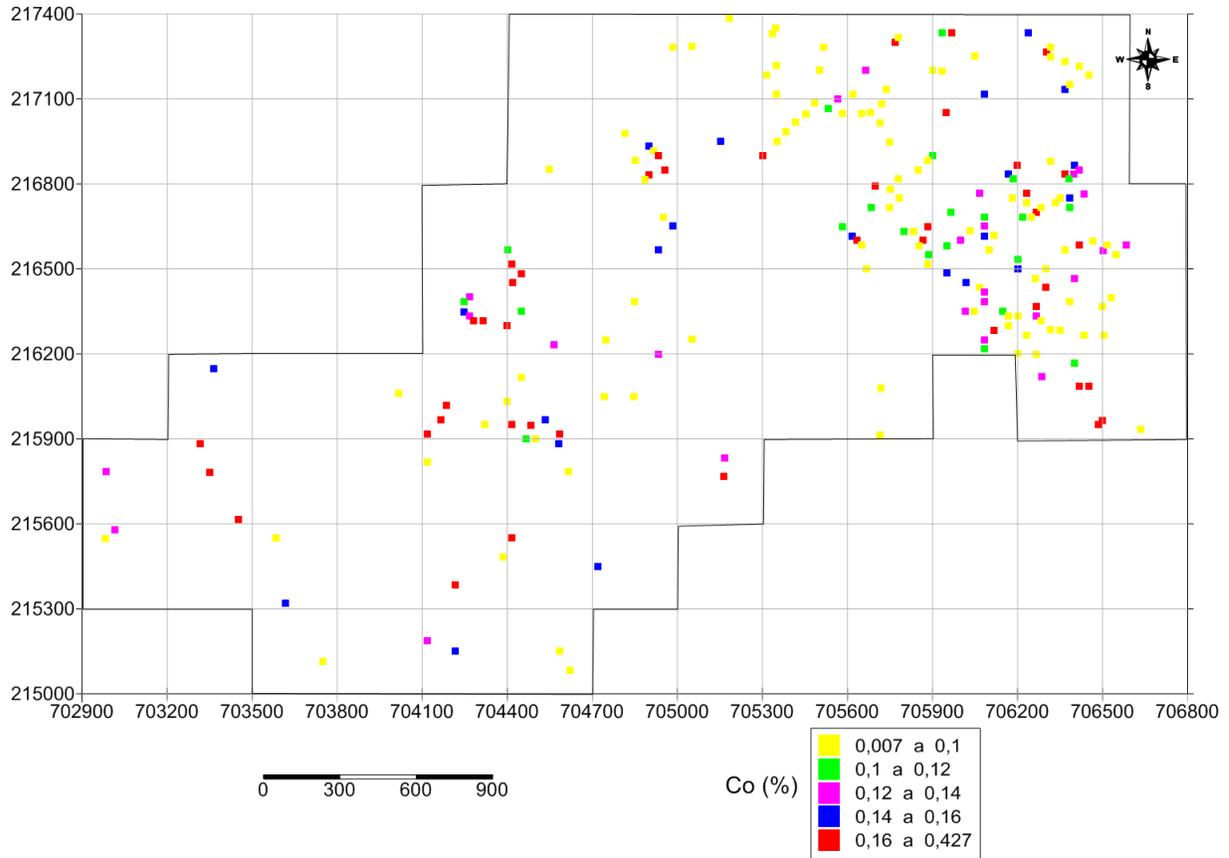


Figura 3.32. Mapa de isocontenido de Co en las intercalaciones no industriales.

La sílice varía desde 1.045 hasta 39.8 %, las intercalaciones tienen un comportamiento estable en cuanto a este elemento, predominando en toda el área de estudio la case de 1 a 10 %, los valores extremos aparecen solo en 9 pozos los que no son representativos. Ver figura 3.33.

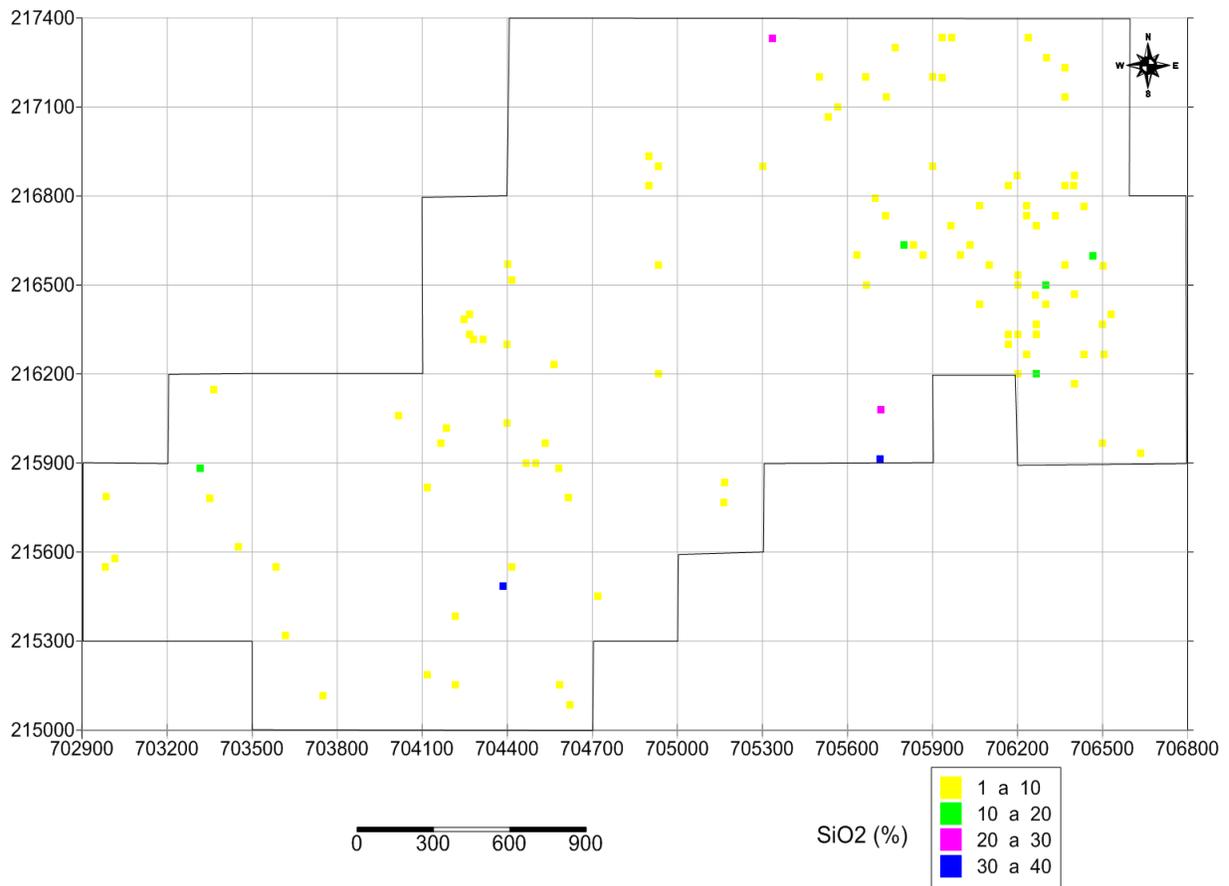


Figura 3.33. Mapa de isocontenido de SiO_2 en las intercalaciones no industriales.

El contenido de magnesio varía desde 0.238 hasta 38.2 %, predominan valores bajos menores del 4 % en toda la zona de estudio, las concentraciones mayores del 4 % aparecen en 6 pozos los cuáles se encuentran aislados y no son representativos. Ver figura 3.34.

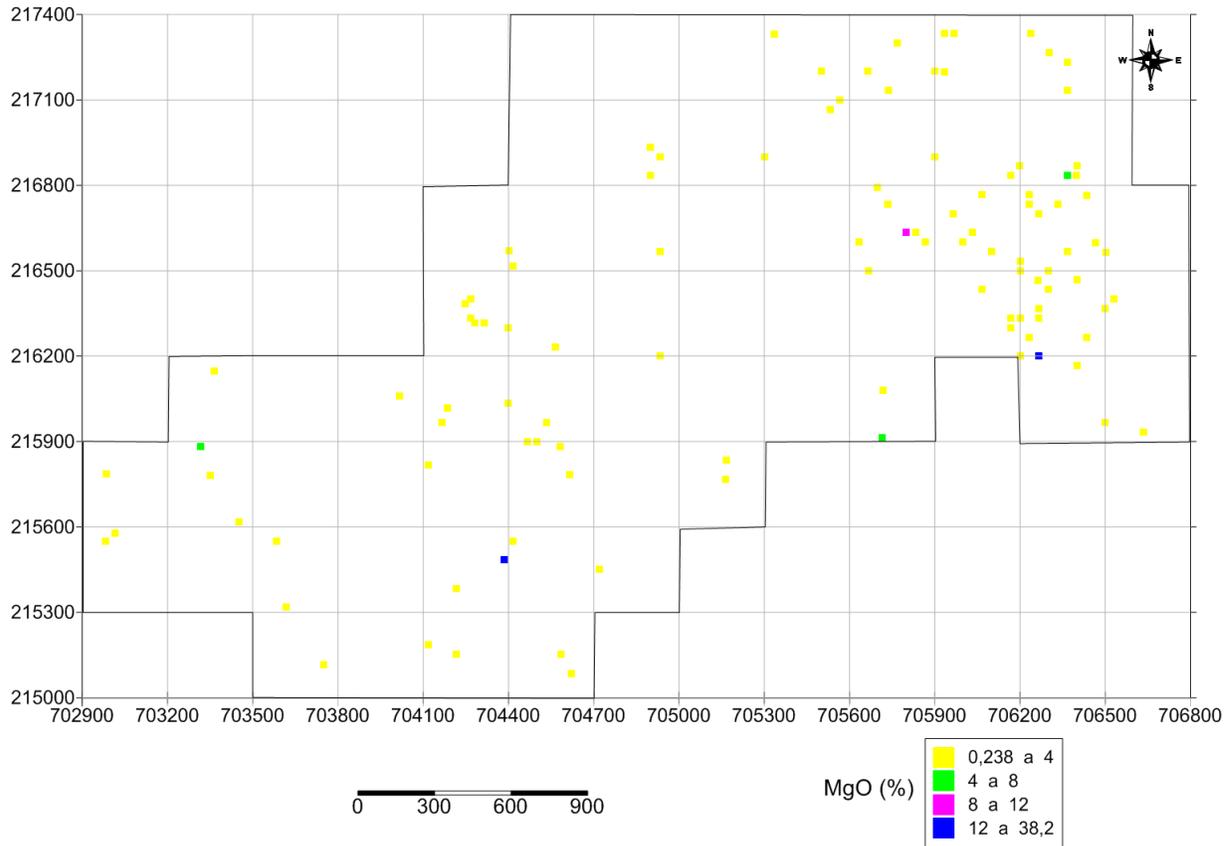


Figura 3.34. Mapa de isocontenido de MgO en las intercalaciones no industriales.

La alúmina presenta valores que van desde 1.18 y 32.59 %. Al NE del yacimiento predominan los valores más altos desde 10 hasta 30 %, el valor más alto coincide con un cuerpo de gabros. Hacia el centro existen valores poco representativos que están entre 1 y 10 %. Al SW las concentraciones de Al_2O_3 varían a entre 10 y 20 %. Ver figura 3.35.

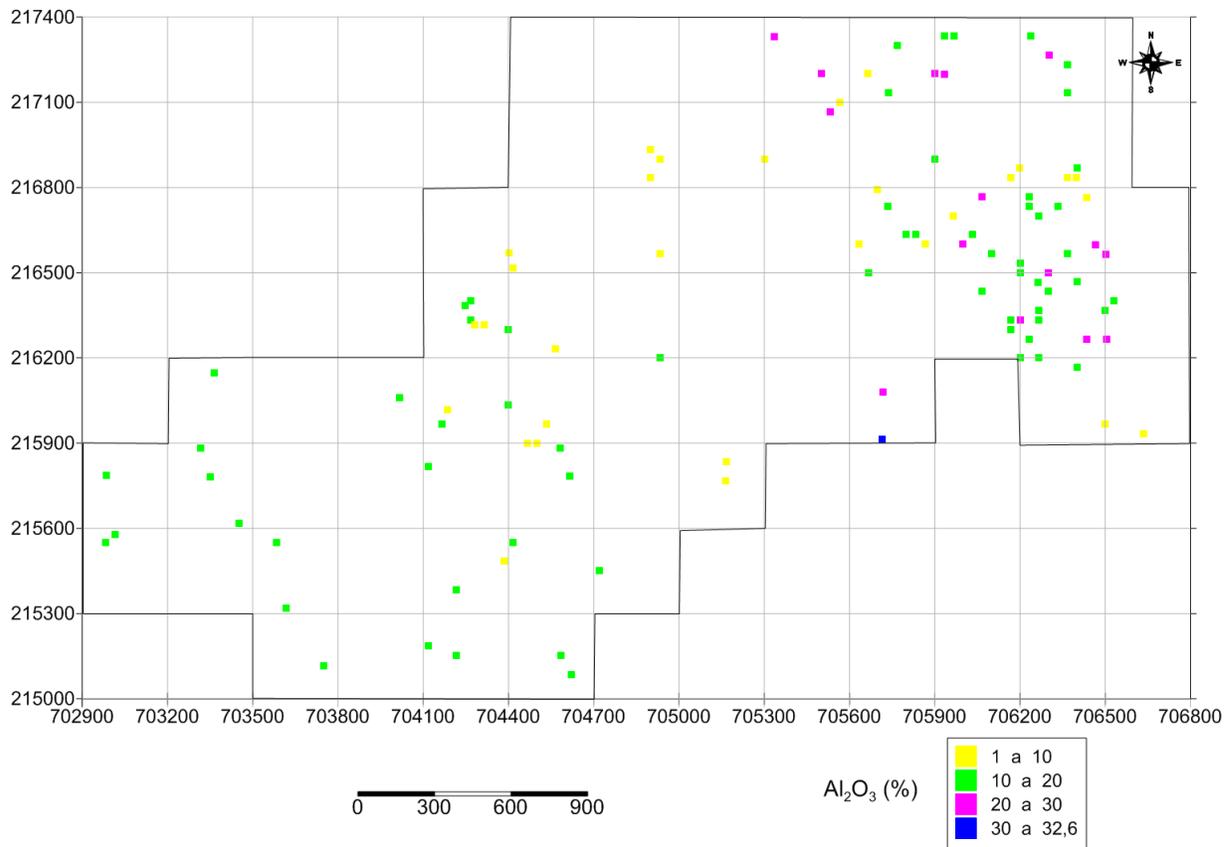


Figura 3.35. Mapa de isocontenido de Al_2O_3 en las intercalaciones no industriales.

Las intercalaciones no industriales están concentradas hacia la parte NE, al SW existen en menor cantidad y de forma aislada. Las intercalaciones de forma general son de alto contenido de Fe y bajo Ni, en particular existen altas concentraciones de Fe y de Al_2O_3 , lo que es característico de las menas FF y LF, el MgO y la SiO_2 son bajos en toda el área de estudio, el Co tiene valores bajos principalmente al NE.

Según la clasificación de la intercalaciones no industriales de (De Dios_Leyva, 2000), existen 5 tipos de intercalaciones no industriales, de ellas relacionamos las que a nuestra consideración existen en el yacimiento Camarioca Este. (Ver figura 3.36)

Las intercalaciones no industriales del tipo I

Que se caracterizan por tener los rasgos siguientes:

- Están constituidas por un material ferruginoso, proveniente de la parte alta de la zona de intemperismo del perfil laterítico.
- Están relacionadas con los horizontes del perfil laterítico donde encuentran mayor desarrollo los OICC, OISC y parte alta de los OEF.
- Mineralógicamente están representadas por la fase de la Goethita.
- Se caracterizan por tener un contenido de Ni menor que el contenido mínimo industrial (0.90%) y el de Fe es $\geq 35.00\%$.
- Aparecen ubicadas generalmente en el horizonte laterítico niquelífero del perfil donde tienen su desarrollo las menas LB. (Limonita de balance).

Las intercalaciones no industriales del tipo II

Que se caracterizan por tener los rasgos siguientes:

- Están constituidas por un material serpentínico, proveniente de la parte media del horizonte saprolítico, donde tienen su desarrollo las menas silicatadas de Ni, con predominio de los minerales del grupo de la serpentina.
- Litológicamente están relacionadas con el horizonte del perfil laterítico donde encuentran su mayor desarrollo las serpentinitas lixiviadas.

- Mineralógicamente, están representadas por los minerales del grupo de la serpentina.
- Se caracterizan por tener un contenido de $0.70 \% \leq \text{Ni} < 0.90 \%$ y el contenido de $\text{Fe} < 35 \%$.
- Aparecen ubicadas generalmente en la parte baja del perfil laterítico donde tienen su desarrollo las menas serpentínicas niquelíferas (SB), y a la que pertenece la zona superior del horizonte saprolítico donde se desarrollan los OEI.

Las intercalaciones no industriales del tipo III

- Son intercalaciones no industriales compuestas de un material que proviene del substrato rocoso, formado por las rocas ultrabásicas.(SD)
- Mineralógicamente están representadas por harzburgitas total o parcialmente serpentinizadas, que están compuestas fundamentalmente por olivino como el mineral principal portador de Ni.
- Se caracterizan por tener contenidos de $\text{Ni} < 70 \%$, el valor del $\text{Fe} < 20 \%$, el cobalto alcanza valores bajos de 0.007 y 0.072 %.

Las intercalaciones no industriales del tipo IV

Son caracterizadas por la autora y tiene los mismos rasgos que el tipo III, solo se diferencian en el contenido de los elementos químicos:

- Su contenido de Ni es alto, varía desde 0.98 hasta 1.81 %, el Fe es bajo y está entre 7.23 y 10.63 %, el Co es bajo con poca variación entre 0.01 y 0.02 %. Están relacionadas con la mena SF.

Según la clasificación anterior podemos decir que en el área de estudio predominan las intercalaciones no industriales de tipo I, siendo menos representativas las de los demás tipos, esto indica que la tectónica, el relieve la erosión y la acumulación jugaron un papel importante en la formación de las intercalaciones. (Ver figura 3.36)

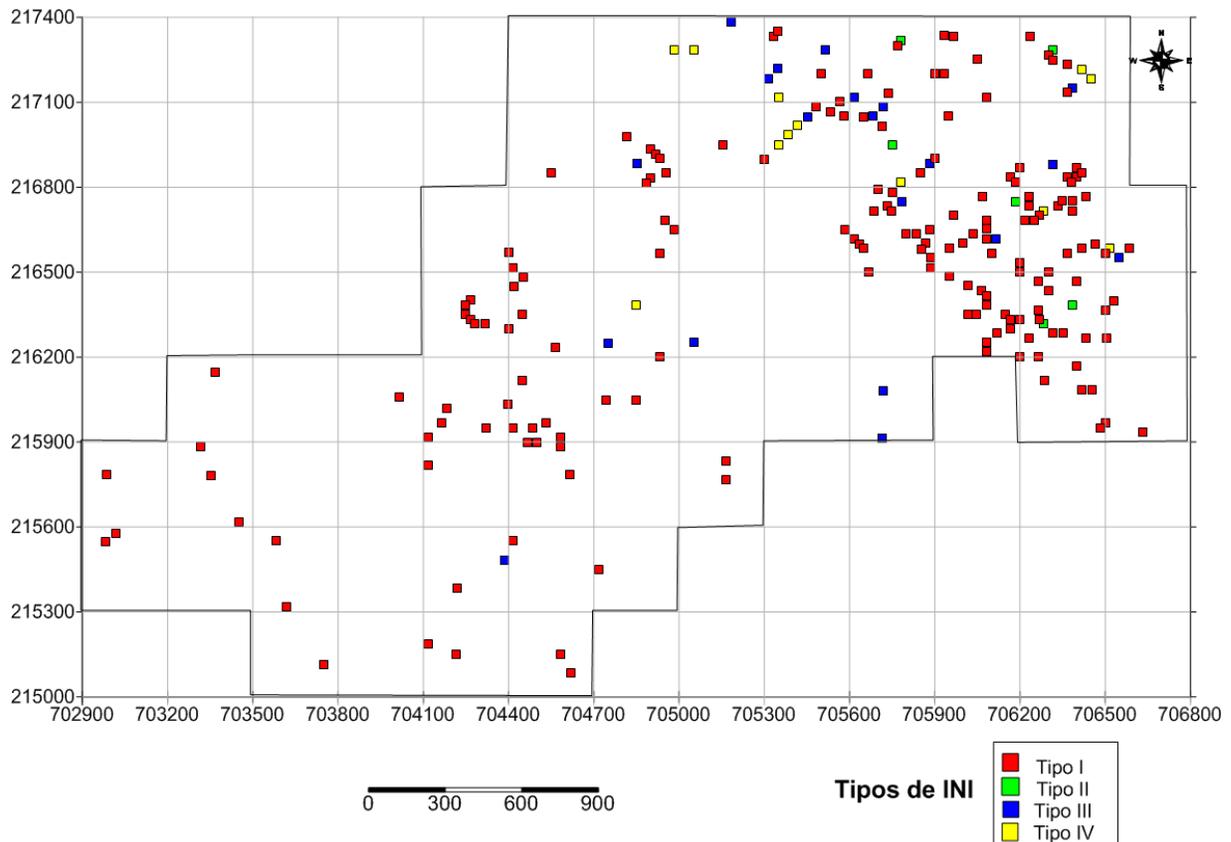


Figura 3.36. Mapa de tipos de Intercalaciones no industriales.

TABLA 3.6. Estadística de la potencia y elementos útiles y nocivos de las intercalaciones no industriales.

Estadígrafos	Potencia %	Fe %	Ni %	Co %	SiO ₂ %	MgO %	Al ₂ O ₃ %
máximo	17,00	52,40	1,817	0,427	39,79	38,2	32,6
mínimo	1,00	5,10	0,170	0,007	1,05	0,2	1,2
media	2,68	26,30	0,682	0,053	2,49	0,7	11,2
promedio	3,51	37,38	0,747	0,112	4,47	1,7	13,8
desv est.	2,07	13,89	0,211	0,076	6,30	4,0	5,9
varianza	4,29	192,08	0,044	0,006	39,29	16,0	34,1

3.5 Evaluación de los parámetros Geólogo-Industriales en el yacimiento Camarioca Este

A través de la interpretación de los mapas de potencia, isocontenidos de elementos útiles y nocivos y de intercalaciones no industriales, además de los mapas de

pendientes, de tipos de perfiles litológicos y de basamento se pudo caracterizar cada una de las menas de la zona de estudio.

Finalmente se proponen las zonas más perspectivas para la minería o posibles dominios industriales. A continuación realizaremos la evaluación de los parámetros geólogo-industriales teniendo en cuenta los resultados de los mapas obtenidos.

3.5.1 Potencia de menas del yacimiento Camarioca Este

La potencia de escombro tiene un comportamiento estable en el yacimiento, predominando valores bajos, los mayores de 3 metros están alineados con la falla principal al NE, hacia el centro y SW éstos aparecen de manera puntual. Por lo que se considera que las altas potencias están relacionadas con la tectónica y el relieve. El valor más alto está relacionado con el cuerpo de gabro del NE.

La potencia de LB es la que más varía dentro del yacimiento, (Ver tabla 3.2.) existiendo un marcada diferencia entre el sector NE y el SW. Siendo el sector SW el bloque que se levantó durante los movimientos tectónicos.

La potencia de SB es más alta y concentrada hacia el NE, esto está relacionado con el grado de madurez de la corteza. En la zona predominan los perfiles laterítico-saprolíticos. Al SW predominan los perfiles lateríticos estructurales incompletos.

Dentro de las intercalaciones industriales predominan las que están entre 3 y 5 m fundamentalmente al NE, donde se considera que hay una mezcla de corteza residual y redepositada.

3.5.2 Elementos útiles y nocivos del yacimiento Camarioca Este

En el escombro el hierro presenta los más altos valores al NE del yacimiento, siendo menos representativos al SW donde no existe una continuidad de este horizonte, debido fundamentalmente a la erosión.

El níquel y el cobalto son bajos al igual que la sílice y el magnesio, el hierro y la alúmina son altos, lo que es típico de estas menas. El elemento más variable es el Fe y el menos variable el Ni. (Ver tabla 3.2)

La limonita de balance se caracteriza por tener valores altos de Fe y de Co, el Ni tiene un valor promedio de 1.154, la sílice, el magnesio y la alúmina son bajos. Los elementos más variables son el Fe y la SiO₂. (Ver tabla 3.3)

La saprolita de balance se caracteriza por tener altos contenidos de Ni, SiO₂ y MgO, el Fe y el Al₂O₃ son bajos. Lo cual está relacionado con la roca que le dio origen a la corteza y a la posible evaluación de mena SD como SB. (Ver tabla 3.4)

La mena total (LB+SB) se caracteriza por tener valores altos de Fe, los demás elementos se comportan en valores medios para este tipo de yacimientos. El elemento más variable es el Fe y luego la SiO₂. (Ver tabla 3.5)

Las zonas más perspectivas para la minería son aquellas que tienen contenidos de Ni ≥ 1.10 % y Fe ≥ 39 %, lo cual se muestra en la figura 3.38, con colores rojo y verde. Ubicadas fundamentalmente en la parte NE del yacimiento, al SW existen algunas zonas dispersas lo cual tiene que ver con la red de exploración empleada.

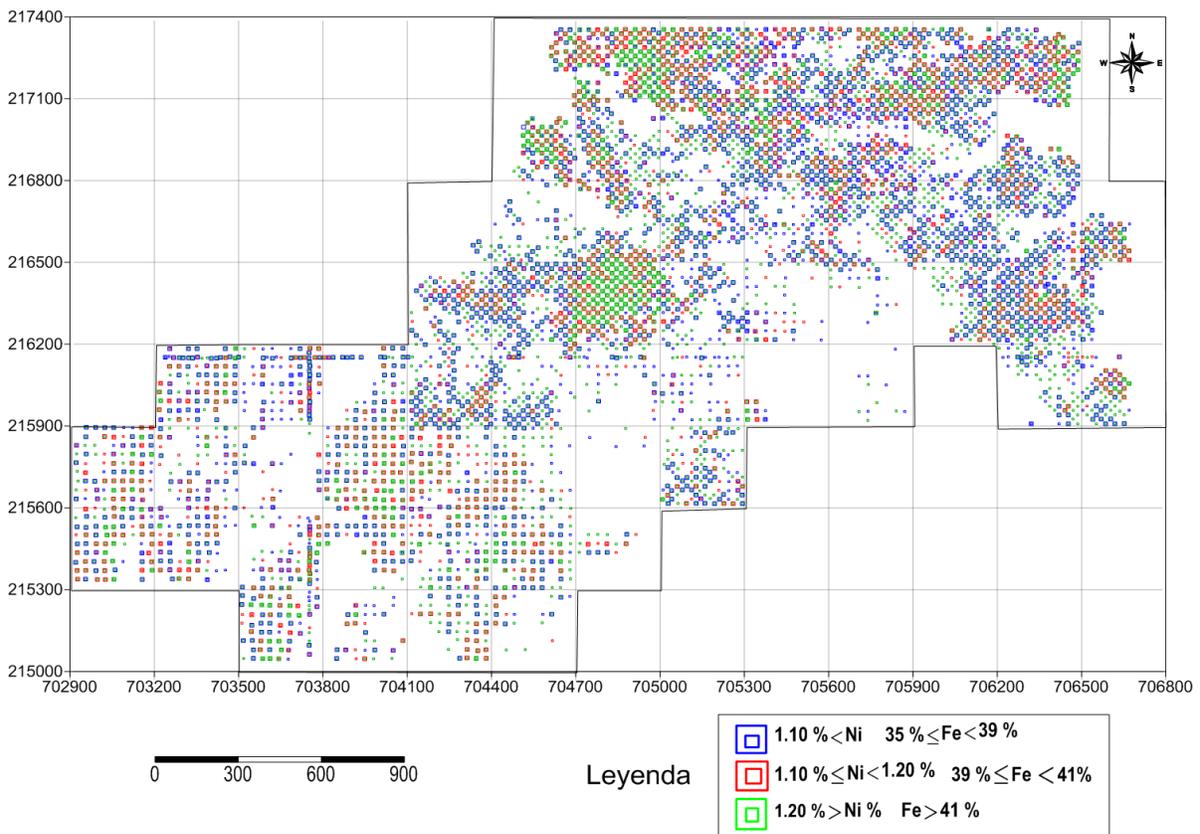


Figura 3.37. Mapa de zonas perspectivas para la minería.

3.5.3 Intercalaciones no industriales

Las intercalaciones no industriales se caracterizan por tener contenidos bajos de Ni, Co, SiO₂ y MgO. El Fe y el Al₂O₃ tienen altas concentraciones, unas deben su origen al grado de inmadurez de la corteza en el sector SW y las del sector NE a la redeposición. En este último caso ocurrieron movimientos tectónicos donde el bloque sur se levantó ocurriendo el proceso de erosión y redeposición. Luego se mezcló en el proceso de meteorización de la corteza. El elemento más variable es el Fe. (Ver tabla 3.6)

Los yacimientos redepositados son el resultado del desplazamiento de la masa mineral meteorizada bajo la influencia de la fuerza de gravedad o la energía del agua. (Smirnov, 1976).

Mayoritariamente, los perfiles de meteorización se desarrollan in situ, y pueden ser completos, en los cuales se reconocen todos los horizontes, o incompletos, donde algún horizonte puede estar ausente, producto de la erosión mecánica. Asimismo, los perfiles pueden ser más complejos, a causa de la erosión, sedimentación y de procesos que favorecen la formación de depósitos transportados (“lateritas redepositadas”). Finalmente, algunos depósitos sedimentarios pueden ser enterrados, litificados, plegados y metamorfozados. Golightly, (2010). (Proenza _A, 2015)

Las cortezas redepositadas se hacen evidentes a través de:

- Presencia de fósiles en los horizontes superiores e intermedios del perfil laterítico.
- Presencia de estratificación o pseudo estratificación y estratificación cruzada en diferentes horizontes.
- Repetición de horizontes en el perfil laterítico.
- Omisión de horizontes en el perfil laterítico.

- Presencia de perdigones en los niveles inferiores, en ocasiones como bolsones de acumulación o como lentes discordantes sobre las serpentinitas o saprolitas.
- Presencia de formas de relieve cársico enterradas bajo la corteza meteórica.

Las evidencias que justifican la existencia de cortezas redepositadas en las cortezas de intemperismo en el nordeste de Cuba oriental, se representa en el esquema de la Figura 3.38. (Muñoz_Gómez, J. N et al., 2009)

Modelo genético teórico: cortezas redepositadas

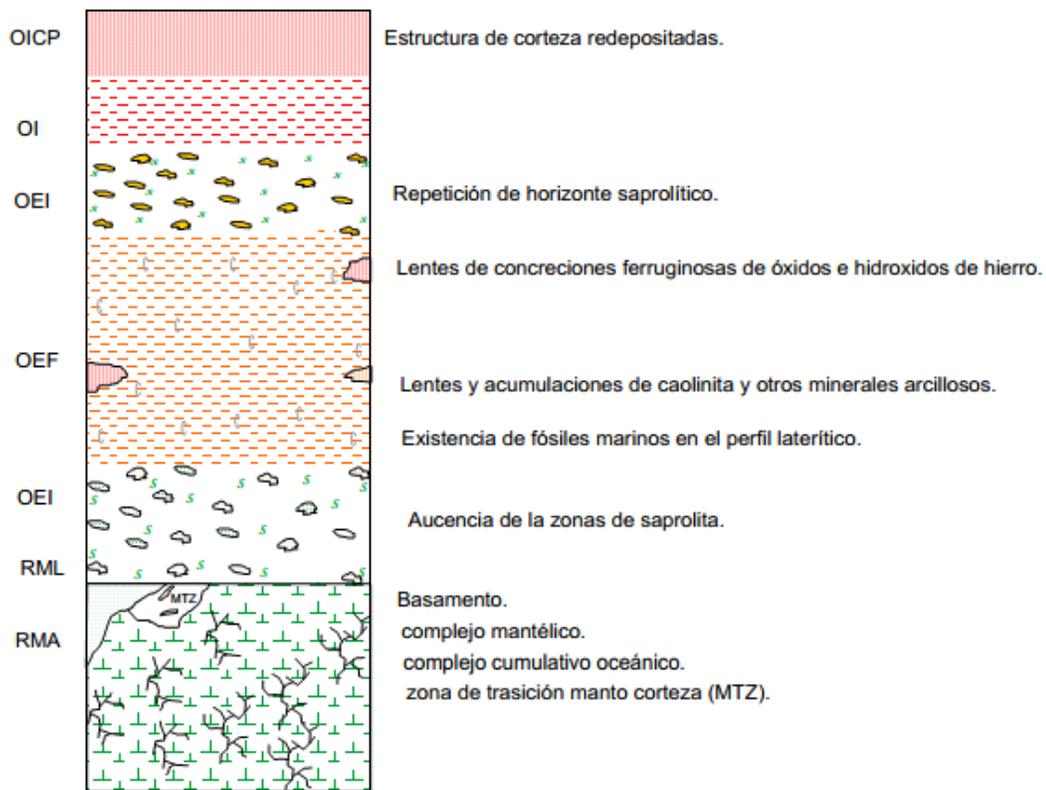


Figura 3.38. Modelo genético teórico de cortezas redepositadas.

Todos estos criterios y la caracterización de las intercalaciones no industriales nos permiten decir que en el sector NE del yacimiento existe corteza redepositada, a causa del levantamiento del bloque Sur se produjo la erosión mecánica y la sedimentación, continuando el proceso de meteorización de la corteza.

A continuación mostramos dos ejemplos de pozos donde existe la ausencia de un horizonte o la repetición de alguno de ellos.

El pozo 205625-2 se caracteriza por tener los horizontes invertidos y la ausencia del horizonte saprolítico. En cuanto a al comportamiento de los elementos químicos en profundidad, el Fe, el Ni y el Co se mantienen con poca variación en la profundidad, el SiO₂ y el MgO son mínimos en los horizontes superiores y aumentan con la profundidad, mientras que el Al₂O₃, es alto en el escombro y disminuye en la LB, haciendo un pico de valor máximo a los 7 metros, este valor aunque es alto no da indicios que el basamento sea gabro.

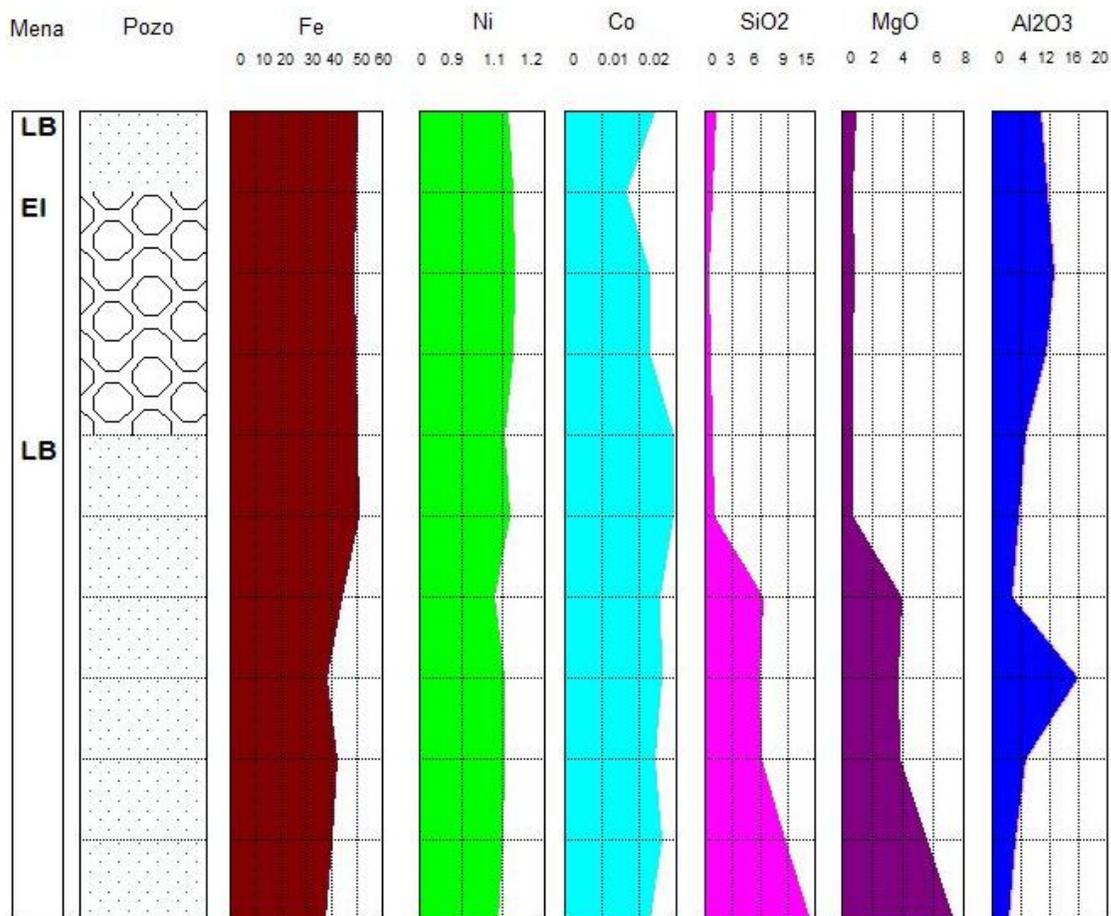


Figura 3.39. Columna litológica y comportamiento del quimismo en profundidad del pozo 205625-2.

El pozo 225304 es uno de los que presenta Intercalaciones no industriales y el perfil invertido. Existen 4 horizontes de escombros intercalados con la mena útil. El Fe tiene una distribución normal con sus valores más altos en la superficie, valores medios en la mena FF y descendiendo con la profundidad en las menas LF, FF, SF y RE, el Ni en la superficie es bajo y se comporta de manera similar al Fe desde el primer horizonte intercalado de mena FF. El Co alcanza sus valores más altos en la mena LB y el primer horizonte de FF, en el resto del pozo sus valores son bajos. La SiO₂ y el MgO aumentan en la profundidad. La Al₂O₃ disminuye en la profundidad teniendo su pico máximo en el primer horizonte de FF. Los elementos útiles y nocivos tienen una distribución normal para las menas del pozo, excepto para los horizontes de mena FF.

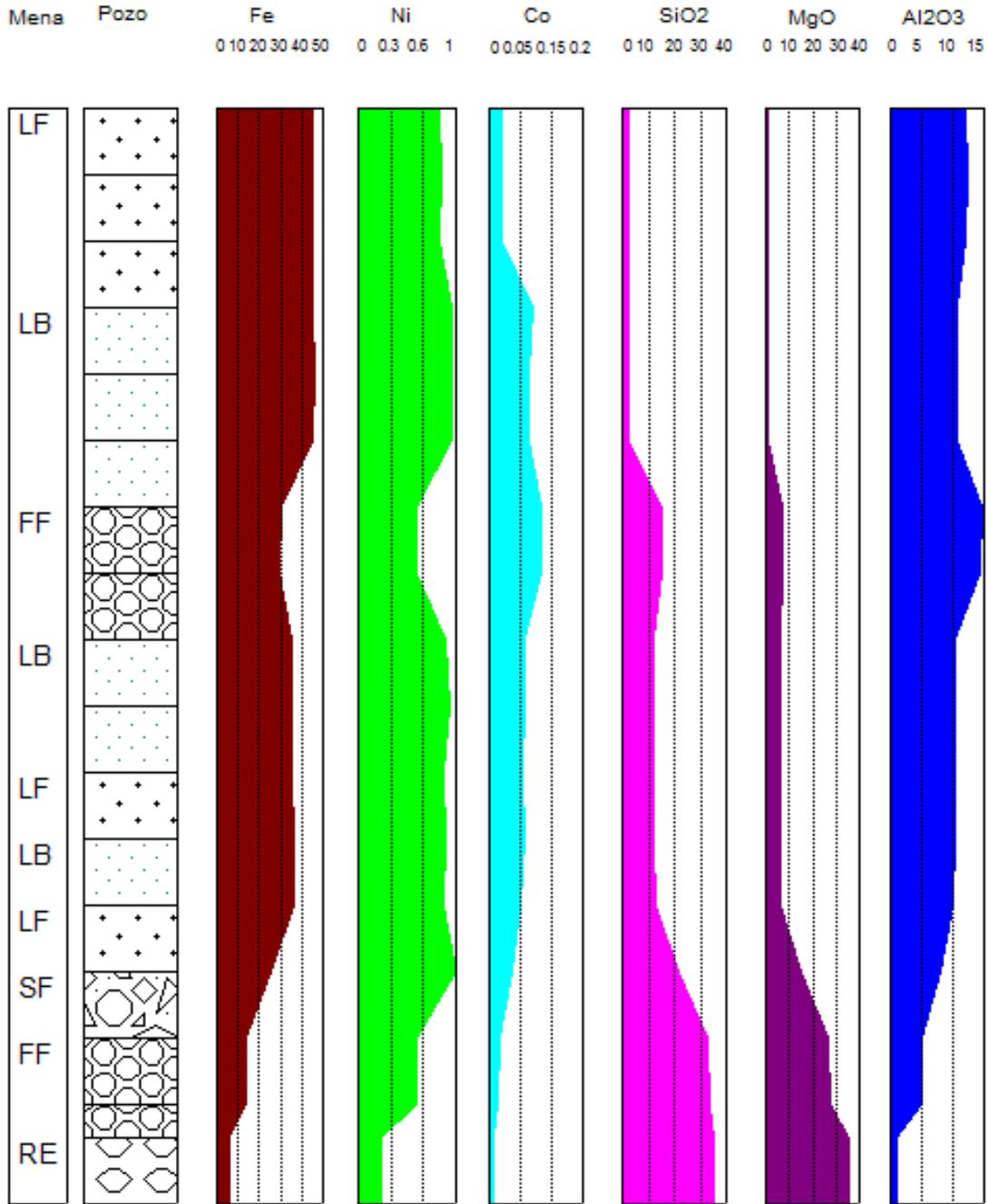


Figura 3.40. Columna litológica y comportamiento del quimismo en profundidad del pozo 225304.

3.6 Conclusiones

1. La interpretación de los mapas de distribución de los elementos químicos útiles y nocivos y de la potencia, así como el comportamiento estadístico de las variables analizadas reveló los parámetros geólogo-industriales de cada una de las menas, evidenciándose una marcada diferencia entre las partes NE y SW del yacimiento.
2. El análisis de las columnas de pozos ubicados en los sectores con comportamiento anómalo en los contenidos de elementos útiles y nocivos en profundidad permitió caracterizar las intercalaciones no industriales, las que se clasificaron en cuatro tipos: I- Ferruginosas, provenientes de la parte alta de la zona de intemperismo del perfil laterítico, II- constituidas por un material serpentínico, proveniente de la parte media del horizonte saprolítico, III- compuestas de un material que proviene del substrato rocoso, formado por las rocas ultrabásicas (SD) y IV- compuestas de un material que proviene del substrato rocoso relacionadas con la mena (SF).
3. En el yacimiento quedan establecidos dos dominios geológicos a partir de las diferencias en los parámetros geólogo-industriales analizados.

CONCLUSIONES

1. En el yacimiento Camarioca Este el análisis de la potencia de las menas evidenció que su comportamiento no es homogéneo, siendo la LB la que presenta la mayor variabilidad. Los mayores espesores de la mena LB+SB se encuentran en el SW, en sectores alineados y paralelos entre sí, de dirección NE-SW.
2. En los contenidos de elementos útiles el Ni alcanza sus mayores valores en las menas SB, con valores medios aceptables en la LB, mientras que el Fe tiene una distribución normal en el perfil, descendiendo con la profundidad. El Cobalto es más alto en la LB, alcanzando valores bajos en la SB.
3. Dentro de los elementos nocivos la SiO_2 y el MgO alcanzan sus mayores valores en las menas SB con valores promedio de 21.6 % y 14% respectivamente por lo que sobrepasan la condición industrial para esta mena, en la LB son bajos. La Al_2O_3 tiene una distribución normal en el perfil laterítico descendiendo en profundidad, los valores más altos en la mena LB y bajos en la SB; este elemento alcanza un valor promedio de 9.12 % por lo que no se considera nocivo para este yacimiento.
4. Las intercalaciones no industriales fueron cartografiadas y caracterizadas según su potencia y contenidos de elementos útiles y nocivos, éstas se concentran al NE, predominan las ferruginosas, que provienen de la zona más alta de la corteza de intemperismo (Tipo I) y nos dan indicios de la existencia de corteza redepositada. Como resultado de los movimientos de ascenso del bloque SW a través de la falla de orientación NW-SE, comienza el proceso de erosión y acumulación de sedimentos que luego forman parte de la corteza de intemperismo. Existen otras intercalaciones poco representativas constituidas por un material serpentínico.
5. En el yacimiento quedan establecidos dos dominios geológicos a partir de las diferencias en los parámetros geólogo-industriales analizados. El contacto entre los dominios es tectónico a través de la falla NW-SE. El dominio NE

ocupa la parte más baja del yacimiento, de mayores pendientes, bajas potencias de mena predominando los perfiles lateríticos-saprolíticos, las intercalaciones no industriales están concentradas en esta zona. En el dominio SW están las cotas más altas y de bajas pendientes con potencia de escombro más alta pero discontinua debido al proceso erosivo. La mena SB aparece de forma aislada en correspondencia con el predominio de perfiles lateríticos. Las intercalaciones no industriales son menores y dispersas.

6. Se logra determinar las zonas más perspectivas para la minería en cuanto a la calidad de la mena. Las que se localizan fundamentalmente al NE y en la parte más al NE del dominio SW.

RECOMENDACIONES

1. En la ejecución del proyecto de explotación minera debe tenerse en cuenta los altos contenidos de los elementos nocivos SiO_2 y el MgO en la mena SB, lo que la hace no industrial para estos elementos.
2. Debe prestársele vital importancia a la potencia de intercalaciones no industriales y su contenido de elementos útiles y nocivos, ya que el yacimiento es de baja potencia.
3. Se debe elevar la eficiencia de la documentación de la perforación, porque se está caracterizando SD como SB, y no es posible que existan valores tan altos de SiO_2 y MgO en la SB, si la roca que la subyace no es gabro.
4. Tener en cuenta durante el proceso de explotación toda la información que brinda esta investigación.

BIBLIGRAFÍA

- Alvarez. (1990). *Estudio de los Principales Parámetros Geólogo Industriales del Sector Zona A, Yacimiento Moa*. (Trabajo de Diploma), ISMM, Moa, Holguín.
- Andó, Miklos, & Ríos. (1989). Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín - Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. *Revista Minería y Geología*, Vol. 7, No.1,.
- Barea_Valdes, & Barrera_Veitía. (2008). Estudio morfotectónico del área enmarcada por las concesiones mineras La Delta, Cantarana y Santa Teresita para el establecimiento de los dominios geomorfológicos.
- Barrabí, Lavaut, & Perez. (1999). Informe geológico para la exploración detallada en 11 bloques del yacimiento Camarioca Este en la red de 33.33 m X 33.33 m.
- Castellanos_Medina, Lopez, Rodríguez_Cardona, & Hernández_Ransay. (2011). Selección, toma de muestra, preparación y representatividad de las muestras complementarias para pruebas metalúrgicas a escala de banco en el yacimiento Camarioca Este.
- Castillo_Ramos. (2014). Comportamiento Geoquímico de los Componentes principales y nocivos en las menas lateríticas del Yacimiento La Delta.
- Cobiella. (1984). Sobre el origen del extremo oriental de la fosa de Bartlett. Editorial Oriente.
- Crespo. (1996). Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMM
- Cuador_Gil. (2001). *METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN Y SIMULACIÓN GEOESTADÍSTICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS GEÓLOGO-INDUSTRIALES EN EL YACIMIENTO LATERÍTICO PUNTA GORDA*. (Tesis Doctoral).
- De Dios_Leyva. (2000). *PARTICULARIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS INTERCALACIONES NO INDUSTRIALES PRESENTES EN EL "SECTOR CENTRAL" DEL YACIMIENTO PUNTA GORDA*. (Maestría), ISMM. MOA, HOLGUÍN.
- Fernández_Martínez, & León_Mariño. (2009). *Consideraciones acerca de la Dilución en Yacimientos Lateríticos de Ni y Co. factores que influyen en su comportamiento*. Paper presented at the Tercera Convención cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2009 Memorias en CD-Rom, La Habana, 16-20 de Marzo de 2009, Palacio de las Convenciones, La Habana. Cuba.
- Fonseca, Zelepugin, & Heredia. (1985). Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*.

- Formell_Cortina, & Oro_Alfonso. (1980). Sobre los procesos de redeposición en el yacimiento Punta Gorda. *CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL ESPACIO*, 2, 15. doi: DU SSt.I.OS3:SS1.3.0St(7I9.1)
- Gallardo_Tamara, Chang_Alfonso, Tauler_Esperanza, & Proenza_Joaquín. (2010). El Yacimiento de San Felipe (Camagüey, Cuba): un Ejemplo de Lateritas Niquelíferas Tipo Arcilla.
- Gutiérrez, & Beyra. (1993). *Introducción al Análisis Variográfico de Yacimientos de Corteza de Intemperismo*.
- Ilidio. (1999). Análisis Variográfico del Yacimiento Camarioca Norte.
- Iturralde_Vinent. (1998). Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana.
- Ivanov, Cobian, Martín, Ponce, Shoj, & Lavaut Copa. (1985). Informe geológico final de la Exploración Detallada del yacimiento de menas niquelíferas "Las Camariocas", realizada durante los años 1976- 1978 con cálculo de reservas actualizadas hasta el 1ro de Enero de 1984.
- Labrador, Proenza, Galí, J.c., Tauler, Rojas-Purón, . . . Rodríguez-Vega. (2006). Minerales de Mn-Co-Ni en las lateritas de cuba oriental : Resultados preliminares. .
- Lavaut_Copa. (2003). CLASIFICADOR PARA MODELACION LITOLOGICA DE LATERITAS.
- Lavaut_Copa. (2005). *Problemática del Estudio Geológico de los Principales Yacimientos Lateríticos de Cuba Orienteal*. Paper presented at the PRIMERA CONVENCIÓN CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS´2005. Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.
- Lavaut_Copa. (2008). Informe de la exploración detallada por la red de 33.33x33.33 m del yacimiento Camarioca Este, Tomo I EGO Santiago de Cuba.
- Lavaut_Copa, Barrabí, Lobarda, & Hernández_Ransay. (2003). Informe de prospección y exploración de Ni + Co en Corteza de Intemperismo ferroniquelífera de los Yacimientos Yagrumaje Norte, Oeste, Camarioca Este.
- Legrá_Lobaina. (1999). Metodología para el pronóstico, planificación y control de la minería en yacimientos lateríticos .Tesis en opción al grado de doctor en ciencias técnicas. 1999. ISMM, Moa Holguín.
- Legrá_Lobaina. (2014). Elementos de un diseño de investigación científica (Versión 6).
- Martínez_Vargas. (2006). Modelación de los Contenidos de Hierro en los yacimientos Lateríticos Heterogéneos de Níquel y Cobalto. Caso de Estudio Yacimiento Moa Oriental. Tesis Doctoral *Instituto Superior Minero Metalúrgico, Facultad de Geología y Minería, Departamento de Geología*. Doctor en Ciencias Técnicas

- Muñoz, & Campos. (1994). Las paragénesis minerales en las menas cromíferas del yacimiento "Potosí", Moa, Holguín, Cuba. *Minería y Geología*, Vol 3.
- Muñoz_Gómez. (2004). Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co.
- Muñoz_Gómez, Rodríguez_Infante, Vera_Sardiñas, & Martínez_Vargas. (2009). Modelo genético teórico de los yacimientos lateríticos asociados al macizo ofiolítico de Moa-Baracoa: implicaciones de la exploración de explotación. Departamento de Geología, ISMMM. *CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL ESPACIO*.
- Oleg_Vladimirovich, & Ariosa_Iznaga. (1986). *Búsqueda, exploración y evaluación geológica económica de yacimientos minerales sólidos. Primera parte* (Vol. I).
- Pérez, & Ortiz. (1994). Informe de la exploración orientativa del Yacimiento Las Camariocas sectores Camarioca Este (IV), Camarioca Norte (V) y Camarioca Sur (VI) para la evaluación de las menas lateríticas ferroniquelíferas cobaltíferas, ejecutadas entre los años 1986–1990, con cálculo de reserva en el año 1994.
- Proenza. (1997). Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento merceditas. Tesis Doctoral, ISMM.
- Proenza _A. (2015). Mineralogía y Geoquímica de Ni, Co, EGP, Sc, REE en Y Y acimientos L L ateríticos. *Revista de la sociedad española de mineralogía*.
- Proenza_Fernández, Gervilla, & Melgarejo. (1999). LA MOHO TRANSITION ZONE EN EL MACIZO OFIOLITICO MOA-BARACOA (CUBA): UN EJEMPLO DE INTERACCION MAGMA PERIDOTITA. *Revista Sociedad Geológica España*, 12 (3-4).
- Quintas_Rodríguez. (1989). *Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas*. . (Tesis doctoral), I.S.M.M.
- Reyes. (1982). *Estudio de la Variabilidad de la Potencia y el Contenido del Yacimiento Martí*. ISMM, Moa, Holguín.
- Ríos, & Cobiella. (1984). Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín. *Minería y Geología*, 2
- Riz_Romero. (1984). *Estudio de la Variabilidad de la Potencia y el Contenido del Yacimiento Pinares de Mayarí*. ISMM. Moa, Holguín.
- Robert. (2012). *Comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos en el Yacimiento Camarioca Sur y su incidencia en la explotación*., ISMM.

- Rodríguez_Cardona, Madariaga_Young, Castellanos Medina, Perez Sánchez, Hernández Ramsay, Cadete La O, & Ivonnet López. (2013). Exploración Detallada al yacimiento Camarioca Este. Informe final etapa II.
- Rodríguez_Infante. (1998). *Estudio Morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la Evaluación de Riesgos de Génesis Tectónica*. (Tesis en opción al título de Doctor en ciencias geológicas.), ISMM-MOA, Moa.
- Rojas_Purón. (1994). *Principales fases portadoras de Níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa*. Tesis en Opción al título de Doctor en ciencias geológicas., ISMM-Moa, Moa.
- Sitnikov, Apud, Koldsev, & Almaguer-Furnaguera. (1976). Informe de la Exploración Orientativa del yacimiento Camarioca realizado en 1973-76 con el Cálculo de Reservas según su estado para el 1ro de Enero de 1984.
- Smirnov. (1976). *Geología de yacimientos mineraes*.
- Tamayo_Regalado. (1985). *Variabilidad de los parámetros fundamentales del Sector Central del Yacimiento Punta Gorda*. Tesis de Grado., ISMM. Moa. Holguín.
- Torres. (1987). Característica de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el arco volcánico Cretácico. Trabajo de Diploma. Centro de Información. ISMMM.
- Velázquez_Calzadilla. (1985). *Estudio de la Variabilidad de los Elementos Fe y Ni de la Capas Industriales LB y SB en 15 Bloques del Sector Central del Yacimiento Punta Gorda*. . (Trabajo de Diploma.), ISMM. , Moa, Holguín.
- Vera_Sardiñas. (2001). *Procedimiento para la determinación de las redes racionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa*. (Tesis en Opción al grado Científico de Doctor en Ciencias), INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMENEZ.
- Vera_Sardiñas, Rodriguez_Vega, Cordovés_Pedrianes, & Legrá_Lobaina. (2001). Dominios Geológicos del Yacimiento Laterítico de Punta Gorda, Moa: Delimitación y Caracterización *Minería y Geología, XVIII*. 3_4, 12 páginas.