



*Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
Facultad de Geología y Minería  
Departamento de Geología*

*Título: Rasgos geoquímicos de la corteza de  
intemperismo de sector Cantarrana, Moa,  
Holguín.*

*Tesis presentada en opción al Título Académico de Master  
en Geología*

*Maestría en Geología  
9na Edición*

*Mención: Prospección y exploración de yacimientos  
minerales sólidos.*

*Autora: Ing. Lisandra Donal Sánchez*

*Tutor: Dr. C José Nicolás Muñoz Gómez*

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





## **AGRADECIMIENTOS**

- *Agradecerle a Dios por darme la oportunidad y el intelecto para llegar a master.*
- *Quiero agradecer a todas las personas que de una forma u otra ayudaron y apoyaron la realización de esta tesis de maestría, profesores y compañeros del Departamento de Geología.*
- *A mi familia por el apoyo incondicional.*
- *A mi niñita por ser tan buena.*
- *A mi esposo por apoyarme y ayudarme en la casa para poder tener tiempo para finalizar la tesis.*

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis se la dedico en especial a mi niñita Mailly, para que vea en mí un ejemplo a seguir.*

*Se la quiero dedicar a mi esposo por el apoyo, la ayuda y la espera.*

*A mis padres Martica y Arnolis por confiar y por su amor.*

*A mi hermana para que siga mis pasos y se dé cuenta que en la vida todo se puede lograr sólo se necesita del apoyo de las personas que nos rodean.*

*Quiero dedicarle este triunfo además a mi suegra Oneida que es la excepción de la regla, tan querida y tan buena, esta tesis también va para tí.*



## **PENSAMIENTO**

*“La voluntad de Dios nunca te lleva donde la gracia de Dios no te proteja”.*

*Anónimo*

*“Antes de discutir, respira; antes de hablar, escucha; antes de escribir, piensa; antes de herir, siente; antes de rendirte, intenta”.*

*Anónimo*



## Resumen

El presente trabajo titulado rasgos geoquímicos de la corteza de intemperismo del sector Cantarrana, Moa, Holguín, se basa en la caracterización geoquímica de los componentes principales y nocivos del sector antes mencionado. Los resultados de los análisis químicos se realizaron mediante las técnicas de difracción de rayos-x (DRX) y espectroscopia de masa con ICP-MS acoplado (modelo Spectro Arcos de fabricación alemana) de las concentraciones de los elementos útiles y nocivos en los pozos. Las técnicas empleadas arrojan que los elementos útiles presentan variaciones de los contenidos: Níquel Mínimo 0.73 %, Máximo 2.08 %, Mediana 1.21 %; Hierro Mínimo 6.12 %, Máximo 54.82 %, Mediana 47.2 % y Cobalto Mínimo 0.001 %, Máximo 1.42 %, Mediana 0.132 %. Los resultados de la investigación demuestran que el sector Cantarrana presenta altos contenidos de Sílice, Aluminio y Magnesio en sectores muy puntuales lo que implica un alto consumo de ácido en el proceso de lixiviación ácida para el tratamiento de las menas cuyas exigencias industriales para las menas de Lateritas de Balance (LB) es  $Ni \geq 1 \%$ ,  $Fe \geq 35 \%$  y para la Saprolita de Balance (SB) es  $Ni \geq 1 \%$  y  $12 \% \leq Fe < 35 \%$ . Se confeccionaron los mapas de isocontenidos de los elementos útiles y nocivos y los gráficos de su comportamiento en profundidad, con la elaboración de los mapas de contenidos a partir de la información de 2 645 pozos de control, para un total de 22 328 muestras analizadas. La importancia de este trabajo radica en la definición de área con mayores perspectivas para la explotación de la Laterita de Balance, mena de Ni y Co.

## **Abstract**

This work shows the geochemical behavior of major and harmful components in the reservoir Cantarrana. It is based on the geochemical characterization of the main and harmful components of the before mentioned deposit, using the techniques of X-ray Diffraction (XRD) and mass spectroscopy with coupled ICP-MS (Model Spectro Arcos of German production) of the concentrations of useful and noxious elements in the drillwholes.

The variations of the weight percentages (contents) of the useful elements are: Nickel 0.73 % Minimum, Maximum 2.08 %, 1.21 % Medium; Minimum 6.18 % Iron, 54.82 % Maximum, Medium 47.2 % and 0.001% Cobalt Minimum, Maximum 1.42 %, 0.132 % Medium.

The results of the examined area show high contents (in weight percentages) of noxious elements (Mg, SiO<sub>2</sub> and Al) in specific sectors, which will imply high acid consumption in the process of acid leaching for the treatment of the ores.

The industrial cut off grade for the Laterites of Balance (LB) ores is Ni ≥ 1%, Fe ≥ 35 % and for Saprolites of Balance (LB) it is Ni ≥ 1% and 12 % ≤ Fe < 35 %.

Isocontent maps of useful and noxious elements and graphs of their behavior in the depth where elaborated for the area. This is based on maps containing information from 2645 monitoring wells, with a total of 22328 samples which were analyzed. The importance of this work lies in the definition of most promising area for exploitation of the LB, ore mineral of Ni and Co.



## Índice

<b>Introducción</b>	<b>7</b>
Diseño de la investigación	8
marco teórico conceptual	9
Tipos de corteza de intemperismo	9
Clasificación litológica de los perfiles lateríticos en Cuba	9
Características de las menas de los yacimientos hipergénicos de Ni y Co	10
Variabilidad de los perfiles lateríticos	13
Historia de las investigaciones precedentes	15
<b>Capítulo I: Rasgos generales del área de estudio</b>	<b>23</b>
Introducción	23
Ubicación geográfica	23
Geología Regional	24
Recursos minerales	27
Vías de comunicación	28
Flora y Fauna	28
Clima	29
Hidrografía	30
Relieve	30
Geomorfología del área de estudio	31
Dominios geomorfológicos del área de estudio	33
Geología del sector en estudio	34
<b>Capítulo II: Métodos y técnicas empleadas</b>	<b>42</b>
Introducción	42
Metodología de investigación	43
Etapa preliminar	43
Trabajos experimental y de laboratorio	44
Etapa de gabinete	48
<b>Capítulo III: Análisis e interpretación de los resultados obtenidos</b>	<b>51</b>
Introducción	51



Análisis de la distribución de los componentes principales y nocivos de E	54
Análisis de la distribución de los componentes principales y nocivos de LB	57
Análisis de la distribución de los componentes principales y nocivos de SB	68
Análisis de la distribución de los componentes principales y nocivos del sector	71
áreas con mayores perspectivas para la explotación de las menas lateríticas	75
Caracterización de los perfiles típicos de la corteza de intemperismo	76
<b>Conclusiones</b>	<b>99</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>100</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>101</b>
<b>Anexos</b>	<b>108</b>



## Introducción

Los yacimientos ferroniquelíferos ubicados en el extremo nororiental del territorio cubano, específicamente en el municipio Moa, constituyen uno de los recursos minerales más importante del país debido a su extensión y reservas, desempeñando un rol fundamental en el desarrollo económico de nuestro archipiélago; geográficamente se ubican dentro del sistema montañoso Mayarí-Sagua-Baracoa donde se encuentran los principales yacimientos lateríticos.

El municipio de Moa tiene gran importancia en el país, principalmente por su actividad minera; ubicada dentro de la faja de litologías de la asociación ofiolítica dislocadas en el norte del territorio cubano. Los afloramientos se registran desde el occidente del país hasta el este de la provincia de Guantánamo. (Adamovich, A. y Chejovich, V., 1963).

Geológicamente la región del noreste de Cuba se caracteriza por la existencia de rocas pertenecientes al macizo ofiolítico, representadas por ultramafitas piroxénicas serpentinizadas: dunitas, harzburgitas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas, como parte de las rocas mantélicas, en correspondencia con el esquema de Streckeisen, A. (1975); rocas de la base de la corteza oceánica, representadas por la presencia de gabros normales, gabros olivínicos, troctolitas, noritas, gabro-noritas; y rocas típicas de las zonas de transición, tales como dunitas plagioclásicas, harzburgitas impregnadas, trondhjemitas, gabro-pegmatitas y cromititas.

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

El sector Cantarrana constituye una de las áreas menos estudiadas dentro de la geología de Cuba oriental. En el año 2012 se llevó a cabo un proyecto de exploración geológica en dicha área. Durante los trabajos de levantamiento geológico realizados en las etapas preliminares del proyecto fueron documentados afloramientos donde se tomaron muestras de rocas para su posterior análisis y

clasificación. El estudio de estos tipos de rocas permitió caracterizarlas petrológicamente ayudando así a la etapa de exploración geológica del yacimiento.

En la corteza ferroniquelífera, junto a los minerales portadores de níquel se encuentran elementos químicos nocivos que dificultan el proceso de lixiviación ácida a presión, complejizando así el proceso metalúrgico. La presencia de los componentes nocivos está relacionada tanto con la composición y tipo de la roca madre, como de procesos hipergénicos que han alterado su composición primaria. Por la importancia que revisten los principales rasgos geoquímico de las zonas prospectas a explotar y debido a los problemas que pueden causar la extracción de menas con poco contenido industrial o con mucho contenido nocivo se hace necesario hacer un estudio y un análisis de los rasgos geoquímico de la corteza de intemperismo del sector Cantarrana para poder determinar las áreas más perceptivas para su explotación, por lo que se plantea a continuación la metodología para resolver esta investigación.

**Problema:** Necesidad de conocer los rasgos geoquímicos de la corteza de intemperismo del sector Cantarrana, Moa, Holguín.

**Objeto de estudio:** Corteza de intemperismo del sector Cantarrana.

**Campo de acción:** Los rasgos geoquímicos de la corteza de intemperismo del sector Cantarrana.

**Objetivo general:** Analizar los rasgos geoquímicos de la corteza de intemperismo del sector Cantarrana, para definir las áreas con mayores perspectivas para la explotación de recursos.

**Objetivos específicos:**

1. Analizar la distribución de los componentes principales Ni, Fe, Co en el sector Cantarrana.
2. Analizar la distribución de los componentes nocivos Al, Si, Mg en el sector Cantarrana.

3. Caracterizarlos perfiles de la corteza de intemperismo en función de las rocas del basamento.

**Hipótesis:** Si se logran caracterizar los rasgos geoquímicos de la corteza de intemperismo del sector Cantarrana y la distribución de los componentes principales y nocivos del horizonte menífero (LB), entonces es factible definir las áreas con mayores perspectivas para la explotación de los recursos y optimizar los futuros planes de minería.

### **Marco teórico conceptual de la investigación.**

#### **Historia de las investigaciones precedentes.**

Una de las primeras investigaciones realizadas a la estructura geológica cubana en particular al bloque oriental cubano son las realizadas en 1901 por los geólogos extranjeros: Hayes, C. W; Vaughan, T. W y Spencer, A. C, donde analizan las diferentes estructuras de la antigua provincia de oriente en su “Informe sobre investigaciones geológicas en Cuba”.

Pero no es hasta comienzo del siglo XX que por primera vez las cortezas de intemperismo de las hiperbasitas de Cuba fueron estudiadas como minerales útiles; en el intervalo de 1908-1911 las compañías norteamericanas realizaban trabajos de exploración geológica para el mineral de hierro, relacionadas con las cortezas de intemperismo de las hiperbasitas. Con la realización de estos trabajos se determinaban los contenidos de Fe y Co en las menas. (Barea, I. 2010).

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

Las cortezas de intemperismo en Cuba comenzaron a considerarse como fuente de Ni y Co a partir de inicio del año 40 del siglo XX. En 1918, Burch y Burchard, citado por Robert, P. (2012), realizaron evaluaciones para el pronóstico de los yacimientos minerales de la antigua provincia de Oriente, entre ellos, las menas

lateríticas, cromíticas y minerales de manganeso. Sin embargo, en la región de Moa, comenzaron a estudiarse con este objetivo a partir de 1952.

Una década más tarde fue realizado por (Adamovich, 1962,1963) el levantamiento geológico a escala 1:50 000 en un plazo de tiempo muy corto (Enero-Junio de 1962). 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. Los trabajos de prospección acompañantes evaluaron de manera preliminar y permitieron ofrecer un pronóstico de los recursos minerales de las lateritas, citado por Muñoz, J.N, 1997. Aunque la red de itinerarios era muy escasa (0.8-1.2 Km) y el levantamiento se realizó con un volumen pequeño de trabajos mineros, el mapa geológico confeccionado hasta ahora sirve como base para todos los trabajos realizados en la región. En 1963 se destacan los trabajos de los especialistas soviéticos Adamovich A. y Chejovich V., que constituyeron un paso fundamental en el conocimiento geológico del territorio oriental, esencialmente para las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas.

En el yacimiento La Delta los trabajos de búsqueda fueron realizados en los años 1965-1966 simultáneamente con trabajos análogos a los yacimientos Camarioca, Cantarrana y Piloto realizados por V.Ogarcov en 1976.

En 1971 M. E .Zamashikov y V. Tabachkov realizaron un levantamiento a escala 1:50 000, durante el cual se emplearon los métodos gravimétrico y magnético orientado a la búsqueda de cromitas y asbesto-crisotilo en los yacimientos Majayara-Ranch Yagua de la parte suroeste del macizo Moa-Baracoa, en un área de desarrollo laterítico de 200 Km<sup>2</sup>. En este trabajo se confeccionó un esquema geológico donde se delimitaron las áreas de desarrollo de cortezas laterítica, además se tomaron 548 muestras a las cuales se les midieron la densidad y susceptibilidad magnética.

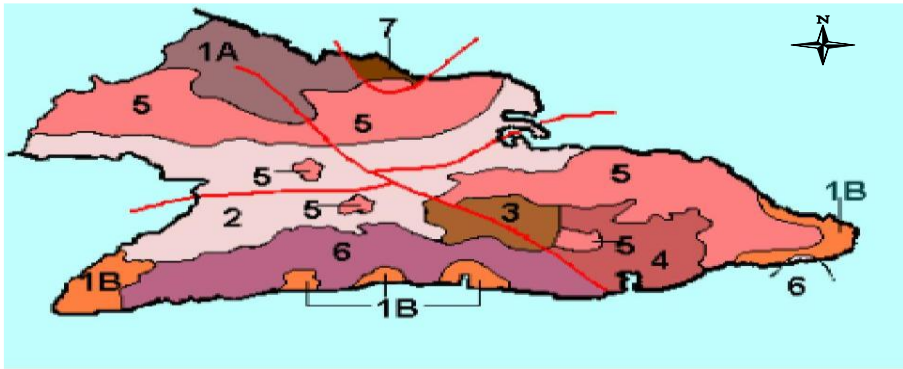
En 1972-1973 E. Guerasimov realizó el análisis geomorfologénico de la costa norte de la antigua provincia de oriente con un volumen pequeño de itinerarios y observaciones geofísicas en la línea divisoria de las aguas de los ríos Quesigüa-



Yamanigüey. En este trabajo se propusieron las áreas de cortezas desarrolladas sobre gabro con perspectivas para bauxita.

En 1972 se inician investigaciones de carácter regional en el territorio oriental cubano por especialistas del Departamento de Geología de la Universidad de Oriente, luego el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa estableció en 1976 que la tectónica de sobre empuje afecta también a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas, detectándose en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del Cretácico Superior sobreyaciendo las secuencias terrígenas del Maestrichtiano-Paleoceno Superior y planteando además el carácter alóctono de los conglomerados-brechas de la formación la Picota, demostrándose en investigaciones posteriores (Cobiella, J., Rodríguez, J. 1978) el carácter predominantemente autóctono de estas secuencias formadas en las secuencias superpuestas del Arco Volcánico del Cretácico (AVK). Con estos nuevos conocimientos se reinterpreta la geología del territorio y se esclarecen aspectos de vital importancia para la acertada valoración de las reservas minerales.

En el período 1972-1976, se realiza el levantamiento geológico de la antigua provincia de Oriente a escala 1: 250 000 por la Brigada Cubano - Húngara de la Academia de Ciencias de Cuba, siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba Oriental. En este trabajo la región oriental se divide en cinco unidades estructuro faciales y tres cuencas superpuestas como se muestra en la figura No.1.

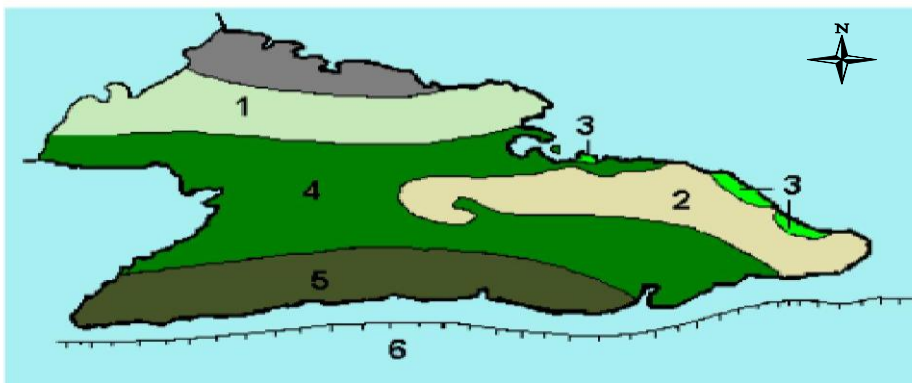


**Leyenda**

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

Figura No 1. Esquema tectónico según E. Nagy, 1976

Cobiella J. (1978) propone un esquema tectónico que resume una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba Oriental delimitando cinco zonas estructuro faciales. En 1978 Cobiella J. y Rodríguez J. subdividen las anteriores estructuras propuestas en seis zonas, como se muestra en la figura No.2.



**Leyenda**

- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1- Anticlinorium Camagüey - Holguín | 4- Sinclorium Central           |
| 2- Anticlinal Oriental              | 5- Anticlinorium Sierra Maestra |
| 3- Cuenca Nipe - Baracoa            | 6- Fosa de Bartlett             |

Figura No.2: Esquema tectónico según Cobiella y Rodríguez, (1980). Tomado de Vera O, 2001



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

En 1985 se llevó a cabo un “Informe sobre los resultados de los trabajos de búsqueda detallada y evaluativa realizada en los sectores La Delta, Cantarrana, Santa Teresita, Cupey y Piloto, con el cálculo de reserva 1-1-85” por la variante I. Realizado por los ingenieros Orestes Rodríguez, Héctor Rodríguez entre otros.

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

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

Dos años después se obtiene el “Informe de la exploración orientativa del yacimiento Cantarrana”, a cargo de los ingenieros Gonzalo Olivo, Aida Almaguer, Rafael Pérez entre otros pertenecientes a la empresa Geólogo Minera Oriental. Los que realizaron una serie de trabajos topográficos, hidrogeológicos, entre otros, además del cálculo de reserva para las variantes I y II.

Barea, I. y Barrera, M. (2008) desarrollaron un trabajo de diploma donde realizan un estudio morfotectónico del área enmarcada por las concesiones mineras La Delta, Cantarrana y Santa Teresita para el establecimiento de los dominios geomorfológicos.

Urrea, J., Cirión, R., Figueras, M., en el año 2009 realizaron un reporte técnico sobre la estimación de recursos y reservas en los yacimientos La Delta, Cantarrana y Santa Teresita, para la expansión de las áreas de explotación de estos recursos de la empresa antes mencionada, donde realizan una caracterización completa del yacimiento en estudio y proporcionan datos útiles para esta investigación.

Durante los últimos 5 años se han realizado trabajos de diplomas relacionados con esta investigación pero en otros yacimientos, pertenecientes a la Empresa Moa Níckel S.A “Comandante Pedro Soto Alba”.

Robert, P. (2012) desarrolló un trabajo de diploma donde analiza el comportamiento de los componentes principales y nocivos en el yacimiento Camarioca Sur y la incidencia en la explotación donde realiza una serie de mapas de contenidos de los componentes principales y nocivos del sector, mapas de potencias del horizonte menífero del yacimiento y además elabora los gráficos del comportamiento geoquímico en profundidad para los valores anómalos.

Pérez, Y. (2013) analizó el comportamiento de los componentes principales y nocivos en el yacimiento Zona Septentrional, donde realiza una serie de mapas de contenidos de los componentes principales y nocivos del sector, presenta un mapa de potencia del horizonte menífero de yacimiento, elabora los gráficos del comportamiento geoquímico en profundidad para los valores anómalos y además elabora perfiles a partir de los pozos perforados.

Castillo, P. (2014) desarrolló un trabajo de diploma donde analiza el comportamiento de los componentes principales y nocivos en el yacimiento La Delta donde realiza una serie de mapas de contenidos de los componentes principales y nocivos del sector, presenta un mapa de potencia del horizonte menífero de yacimiento y elabora los gráficos del comportamiento geoquímico en profundidad para los valores anómalos.

Cruz, J.F. (2014) desarrolló una metodología con el uso del procesamiento de imágenes para precisar los contenidos minerales de las rocas que afloran en el sector Cantarrana, donde se propone una metodología para la determinación de los contenidos minerales con el uso de la video-cámara digital ocular MDCE-5A con cable USB 2.0 y el uso del software ScopePhoto, se determinan los tipos de rocas a partir de la composición mineralógica cuantitativa y se clasifican petrográficamente las rocas a partir de los diagramas de Streckeisen y Le Maitre.

Alonso, M.A. (2015) desarrolló un tema de investigación titulado “Consideraciones genéticas del dominio No.3 del yacimiento Camarioca Sur” donde realiza una serie de mapas de isocontenidos de elementos principales y nocivos además de establecer relaciones geoquímicas entre las rocas del basamento y la corteza de intemperismo, características que se presentan en esta tesis dando como resultado conclusiones favorables para el yacimiento en cuestión.

Leyva, D. (2015) desarrolló un tema de investigación titulado “Consideraciones genéticas del dominio No.2 del yacimiento Camarioca Sur” donde realiza una serie de mapas de isocontenidos de elementos principales y nocivos además de establecer relaciones geoquímicas entre las rocas del basamento y la corteza de intemperismo, características que se presentan en esta tesis dando como resultado conclusiones favorables para el yacimiento en cuestión.

Ruíz, R. et al., (2015), desarrollaron un informe preliminar mineralógico de los minerales y rocas presentes en el área de estudio, donde presentan una serie de gráficos y esquemas demostrando la presencia de complejos importantes en el área de estudio.

Figueras, M. et al., (2015), realizaron un informe de los trabajos de exploración detallada para la elevación de categoría de los recursos del yacimiento Cantarrana donde las empresas Moa Nickel S.A, CIH, Geominera – Oriente y Geocuba Oriente Sur, trabajaron como un equipo interdisciplinario para llevar a cabo la realización del mismo.

## **Tipos de cortezas de intemperismo**

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

## **Clasificación litológica de los perfiles lateríticos en Cuba**

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

1. Perfiles lateríticos, con cuatro tipos de perfiles litológicos: 1) inestructural completo; 2) inestructural incompleto; 3) estructural completo, y 4) estructural incompleto;
2. Perfiles laterítico-saprolíticos, con dos tipos de perfiles: 5) estructural completo, y 6) estructural incompleto;
3. Perfiles saprolíticos, con dos tipos de perfiles: 7) estructural completo, y 8) estructural incompleto.

En Cuba, el 60 % de las reservas de menas de Fe-Ni-Co se relacionan con el tipo de perfil litológico laterítico-saprolítico, y el 35 % con el perfil litológico laterítico. En algunos lugares se observa la cementación de las concreciones ferruginosas, formando bloques o pseudoestratos con tabiques ferruginosos de unión entre ellos en cortezas típicas de ultramafitas, lo que testimonia su génesis infiltrativa por removilización parcial del hierro en medios superficiales con pH ácidos.

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

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

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

Un resumen de las principales fases minerales por horizonte en el perfil laterítico en los yacimientos de Moa (Rojas, A. 1994), se aprecian en la tabla No.1, pudiéndose extrapolar esta composición mineralógica para los yacimientos Nicaro y Pinares de Mayarí. La tabla No.1 muestra claramente que la goethita constituye la fase mineral predominante en el horizonte laterítico.

Tabla No.1. Composición mineralógica de las cortezas lateríticas de los yacimientos cubanos. (Rojas, A. 1994).				
Fases Minerales	Contenido por horizonte en %			
	Concreciones ferruginosas	Ocres	Serpentinita alterada	Serpentinita dura
Goethita	60	69	18	5
Espinelas	8	10	2	3
Hematita	7	5	-	-
Minerales de Mn	2.5	3	-	-
Gibbsita	15	8	2	-
Cuarzo	2.5	2.5	2	-
Esmectitas	-	-	3	-
Nepouita	-	-	8	3
Enstatita	-	-	2	5

Cloritas	2.5	2.5	5	3
----------	-----	-----	---	---

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

Las asbolanas y litioforita constituyen las principales fases representantes de los minerales de Mn en estos perfiles lateríticos, ellas se encuentran en muy poca cantidad y tienden a concentrarse en la zona de ocre medio y superior (ocre estructural e inestructural sin perdigones). En los perfiles también se ha detectado la presencia de elisabentinskita (aunque en poca cantidad), como una de las fases minerales de Mn presentes en la mena laterítica. (Castillo, P. 2014).

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

Dentro de los minerales serpentínicos el más abundante en los perfiles lateríticos es la lizardita, que suele presentarse con una coloración verde a verde grisáceo, asociado a fibras de crisotilo asbesto y antigorita, difíciles de diferenciar unos de otros por rayos- x. (Bientz, 1990). Tomado de Castillo, P. (2014)

Sobre la composición mineralógica de los perfiles lateríticos se puede concluir que muchos de los componentes principales pueden presentarse en más de mineral, por las numerosas fases minerales en que pueden aparecer, detectándose los compuestos ferrosos ( $Fe_2O_3$  y  $FeO$ ), óxidos de Mg y sílice ( $SiO_2$ ). Es de



señalarse que el Fe puede presentarse en varias formas mineralógicas, desde goethita y hematita, hasta espinelas (magnetita y cromoespinelas), cada una de ellas con sus características cristaloquímicas específicas, lo que influye en la diferenciada forma de retención y afinidad que tienen cada una de estas fases minerales respecto al níquel. Algo parecido se observa con el magnesio y la sílice, los cuales se pueden presentar según varias fases minerales.

Es necesario resaltar además, que no existen minerales propiamente de Ni en las menas oxidadas de estos yacimientos, lo que le confiere una enorme importancia a las fases minerales portadoras de este elemento. La nepouita constituye la fase mineral de Ni presente en estas cortezas, pero es un filosilicato que predomina en la zona de serpentinita lixiviada o alterada, estando en muy poco contenido en el material laterítico (de un 5% o menos), y se corrobora que ésta es relativamente abundante en el yacimiento San Felipe, Camagüey, fundamentalmente en la parte donde el intercambio hídrico está por debajo del nivel freático, no siendo así en el resto de los yacimientos.

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

En las rocas ultrabásicas la mayor parte del níquel se encuentra en la estructura cristalina del olivino, mientras que el cobalto se encuentra preferentemente en la estructura cristalina de los piroxenos; esta es la consecuencia de que la relación níquel – cobalto sea mayor en dunitas que en piroxenitas, he aquí una razón más para el estudio de la composición de la roca madre, sobre todo si el proyecto minero a ejecutar se encuentra en la etapa de exploración preliminar. (Castillo, P. 2014)

## **Variabilidad de los perfiles lateríticos en los yacimientos ferroniquelíferos de Moa.**

### **1. Perfil de intemperismo sobre rocas mantélicas**

El predominio de las rocas mantélicas representadas por dunitas, harzburgitas, lherzolitas y en menor grado, wherlitas y websteritas, total o parcialmente serpentinizadas, constituyen las rocas madres del basamento ofiolítico que originaron un perfil laterítico de menas ferro-niquelíferas y cobaltíferas, siendo el más distribuido en las cortezas de intemperismo de los yacimientos lateríticos del macizo Moa–Baracoa. Los agentes de intemperismo, en un clima tropical-subtropical y un relieve de montañas bajas de poca pendiente, crearon las condiciones óptimas para la desintegración de los minerales de las rocas ultramáficas, en particular del olivino y piroxenos. (Muñoz, J.N, et al. 2015)

### **2. Perfil de intemperismo sobre rocas de la corteza oceánica**

En la región Moa–Baracoa existen áreas extensas donde afloran las rocas que representan la antigua corteza oceánica, en particular se destaca la existencia de las rocas máficas: gabros normales –bandeados, típicos de la base de la corteza oceánica– gabros olivínicos, en menor grado gabro-noritas y troctolitas. Las relaciones espaciales con las rocas ultramáficas son tectónicas, con predominio de gabros isotrópicos (Gyarmati, 1990).

En el perfil de las cortezas de intemperismo desarrolladas sobre las rocas máficas, en particular sobre los gabros, se desarrollaron cuatro horizontes muy similares a los formados por las rocas de la asociación mantélica, pero con un predominio de la formación de minerales del grupo de las arcillas, en particular de las arcillas caoliníticas: dickita, nacrita, halloysita y montmorillonita, incrementando el contenido de aluminio en el perfil laterítico sin llegar a constituir mena del metal, aportando además valores anómalos de sílice. El horizonte superior se caracteriza por concreciones de bauxitas y minerales arcillosos del grupo de la caolinita.

Las cortezas desarrolladas sobre las rocas de la antigua corteza oceánica no aportan valores de interés de níquel y cobalto, pero presentan contenidos de

hierro entre 24,5 y 12,0 % y de alúmina entre 12,0 y 18,5 %.(Muñoz, J.N, et al. 2015)

### **3. Perfil de intemperismo sobre rocas de la zona de transición manto-corteza oceánica**

De acuerdo con los criterios de Proenza, Gervilla y Melgarejo (1999) la denominada zona de transición, en los complejos ofiolíticos, representa la transición física del manto a la corteza oceánica (Benn et al. 1988). Esta zona puede ser equivalente a las denominadas Moho petrológico (Greenbaum 1972; Malpas y Stevens 1977) y Moho geofísico (Cann 1970). Según Benn et al. (1988) la Moho Transition Zone –MTZ- se caracteriza por ser una zona compleja que representa una importante continuidad lateral, localizada entre las peridotitas residuales infrayacentes y la sección cortical de gabros, representativos de la parte basal de la corteza inferior. Desde el punto de vista petrológico la zona de transición está compuesta por harzburgitas, como litología principal, dunitas, dunitas plagioclásicas, cromititas, wherlitas, troctolitas, piroxenitas, sills y diques de gabro-pegmatitas, entre otras (Proenza, Gervilla y Melgarejo 1999). La zona de transición entre la porción superior del manto terrestre -astenosfera- y el nivel inferior de la corteza oceánica, constituye el contacto físico de las rocas mantélicas, representadas por ultramafitas tectonizadas y las rocas máficas del horizonte inferior de la corteza oceánica, representada por gabros normales, gabros olivínicos, noritas, troctolitas y sills de diabasas. (Muñoz, J.N, et al. 2015)

### **4. Perfil de intemperismo mixto y complejo.**

Las cortezas de intemperismo originadas sobre las rocas afloradas del complejo ofiolítico no se desarrollaron de forma continua en el tiempo geológico ni bajo condiciones geodinámicas estables. Desde el punto de vista tectónico, diferentes eventos condicionaron la posición espacial de las rocas e incluso, de las cortezas desarrolladas. El propio proceso de acreción de las rocas del complejo ofiolítico, determinó la disposición de escamas de diferentes litologías superpuestas, favoreciendo que en ocasiones se encuentren rocas mantélicas sobre rocas de la



corteza oceánica, resultando una corteza de intemperismo donde el comportamiento geoquímico resulta totalmente caótico debido a la migración vertical de los elementos químicos. Bajo esas condiciones, altos contenidos de Ni pueden estar asociados a concentraciones anómalas de Al y sílice. (Muñoz, J.N, et al. 2015)



# CAPÍTULO I

## **Capítulo I. Rasgos generales del área de estudio.**

### **1.1 Introducción**

### **1.2 Ubicación geográfica del área de estudio**

### **1.3 Geología Regional**

### **1.4 Recursos minerales**

### **1.5 Vías de comunicación**

### **1.6 Flora y fauna**

### **1.7 Clima**

### **1.8 Hidrografía**

### **1.9 Relieve**

### **1.10 Geomorfología del área de estudio**

### **1.11 Dominios geomorfológicos del área de estudio**

### **1.12 Geología del sector en estudio.**

#### **1.1 Introducción**

En el capítulo se abordarán los temas referidos a las características físicas-geográficas, geológicas regionales, geografía del área de estudio, su ubicación, así como los principales rasgos geomorfológicos, hidrográficos, climáticos y tectónicos relacionados con el yacimiento, además de una panorámica de la geología existente en el área de estudio.

#### **1.2 Ubicación geográfica del área de estudio**

El área de estudio se encuentra ubicada en el extremo nororiental del territorio cubano específicamente en el municipio Moa, provincia Holguín. Situada al Este del río Quesigua y al Oeste del río Yamanigüey. En la figura 1.1 se muestra el mapa de ubicación geográfica del área de estudio. Según el sistema Lambert se ubica en las coordenadas siguientes:

X: 710 100- 712 600

Y: 212 600- 215 600

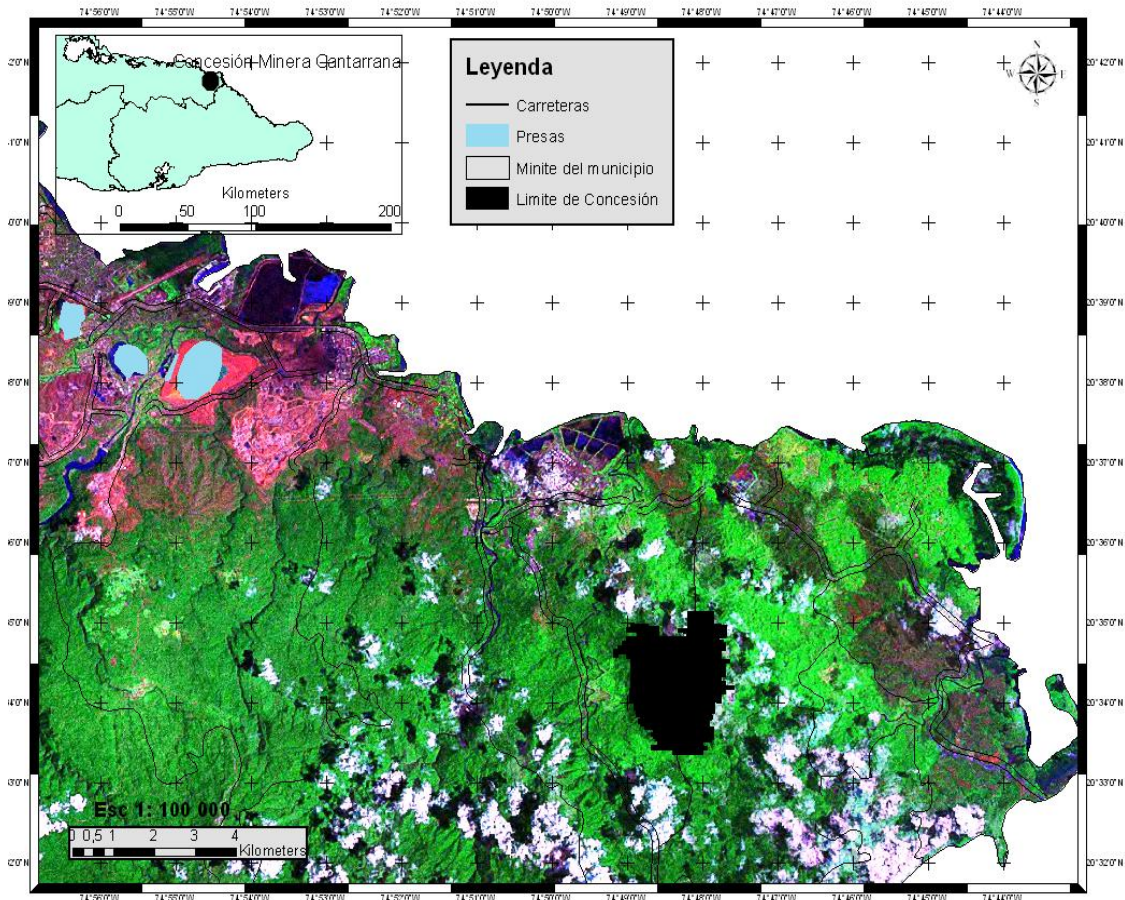


Figura No.1.1. Versión digital del mapa de ubicación geográfica del área de estudio. Esc: 1: 100 000. (Barea, I. 2014).

### 1.3 Geología regional

El desarrollo del Mesozoico en Cuba se produjo según el modelo geotectónico que caracteriza a los sistemas de arcos insulares y cuencas marginales que se desarrollan en las periferias de los márgenes continentales como consecuencia de la convergencia (Rodríguez, A.1998).

A fines del Maestrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico cretácico cubano, iniciándose los procesos de compresión de sur a norte que originan, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobre-corrimiento con mantos tectónicos altamente dislocados de espesor y composición variable.

Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas sobre el borde pasivo de la Plataforma de



Bahamas. A partir del Eoceno Medio y hasta el Mioceno Medio las fuerzas de compresión tangenciales se reducen, tomando importancia para la región los movimientos verticales que caracterizan y condicionan la morfotectónica regional, iniciándose a partir del Mioceno Medio el proceso de ascenso del actual territorio de la isla de Cuba.

Si bien es cierto que los movimientos verticales responsables de la formación del sistema de horts y grabens, van a caracterizar los movimientos tectónicos recientes, hay que considerar la influencia que sobre Cuba oriental tienen los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente desde el Eoceno Medio-Superior (Moreno, y otros, 2000), que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste, que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano. (Rodríguez, A.1998).

La complejidad geológica que presenta el territorio en el cual se encuentran enmarcados la concesión minera Cantarrana y como resultado de la evolución de diferentes eventos geológicos que experimentó el territorio en épocas pasadas dio lugar a una amplia variedad de estilos tectono-estratigráficos, morfológicos y litológicos que influyen en la génesis, conservación y explotación de las cortezas lateríticas.

En la "*sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba*" elaborado por Iturralde-Vinent en 1998 se reconoce que en el territorio cubano se pueden distinguir dos niveles estructurales principales, el substrato plegado constituido por diferentes unidades, algunas de origen continental, otras de naturaleza oceánica y finalmente una tercera donde ambos elementos están mezclados con distinto grado de aloctonía y el neoaútctono formado luego de la consolidación del substrato plegado en el Eoceno Superior, donde dominan los movimientos verticales oscilatorios, que dieron lugar a la formación de una estructura de bloques distintamente elevados.

El macizo ofiolítico Mayarí-Baracoa sobre el cual se encuentran los yacimientos ferroniquelíferos del nordeste holguinero, presentan unidades de naturaleza oceánica comprendidas por las ofiolitas septentrionales, además de las rocas del arco volcánico del cretácico, las secuencias de la cuenca 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. Estando ausentes las unidades de naturaleza continental.

El neoaútóctono está constituido por materiales terrígenos y carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

Es característico para el área que engloba a las concesiones mineras el predominio de rocas de origen mantélico como dunitas, peridotitas piroxénicas, wherlitas, lherzolitas, harzburgitas en ocasiones con presencia de plagioclasas, algo característico para la concesión Cantarrana. Dentro de las rocas que se originan en la zona del basamento de la corteza oceánica se encuentran los gabros normales, gabros olivínicos, noritas y troctolitas. Hay que destacar que todas las rocas se encuentran en mayor o menor grado serpentinizadas. Además de las rocas antes mencionadas se hallan rocas pertenecientes a la zona de transición (denominada Moho Transition Zone) entre las que se encuentran los diques de gabros-pegmatitas y las cromititas.

Hay que acentuar que el contacto entre los gabros y las hiperbasitas desde lo regional (complejo ofiolítico) hasta local es de carácter tectónico, lo que corrobora el carácter alóctono de las litologías del macizo ofiolítico. Sin embargo en algunos sectores puede ser transicional (Proenza, y otros, 1999).

En la concesión Cantarrana por sus características petroquímicas se pueden distinguir los complejos de rocas máficas y ultramáficas, así como variedades de ultramafitas con plagioclasas a las cuales se encuentran vinculados altos valores de  $\text{SiO}_2$  (34.28 %) y los menores de MnO para la corteza que se desarrolla sobre ella. El sector es comparable con la concesión minera La Delta para la cual se encuentran rocas semejantes.

Entre las variedades de rocas ultramáficas que componen la concesión se encuentran las harzburgitas, dunitas, wherlitas, peridotitas, plagioharzburgitas, todas serpentinizadas en mayor o menor grado y por otra parte rocas gabroicas representadas por troctolitas, leucotroctolitas, gabros, leucogabros, gabros olivínicos y melanogabros.

Los cúmulos de peridotitas se desarrollan en la zona central de la concesión y sus variedades plagioclásicas hacia la parte norte y noreste sin embargo las rocas gabroicas cubren como una envoltura la concesión y están más desarrolladas en general hacia la parte norte y sur.

Sin embargo, la concesión minera Cantarrana se puede clasificar como poco compleja según lo planteado por (Oliva, P, y otros, 1992) ya que en la misma hay un predominio de perfil ocroso y no se observan perfiles complejos por lo tanto no hay zona de redeposición.

La continuidad de la zonación geoquímica vertical en la corteza de intemperismo, la correspondencia de sus características químicas y mineralógicas con las rocas del substrato que permita diferenciar las zonas de gabro de las plagioperidotitas y otras hiperbasitas demuestra que en los sectores estudiados son característicos los yacimientos in-situ de corteza de intemperismo cobalto-niquelífera-ferrosa.

#### **1.4 Recursos minerales**

La región de Moa constituye una de las más ricas del país en lo que a recursos minerales se refiere, siendo el centro minero de mayor importancia nacionalmente. Los yacimientos lateríticos de Ni y Co, de tipo único por su escala, que se encuentra en la mayor región representan la mayor riqueza mineral del país y una de las mayores del mundo. Asimismo, unido a la corteza de intemperismo se localiza una de las reservas más importantes de mineral de Fe a escala mundial. Además, vinculada a la corteza de intemperismo se encuentran importantes reservas de espinelas cromíferas diseminadas en la provincia de Camagüey, que a consideración de Thayer, 1947, los volúmenes sobrepasan los 4 650 t métricas por hectárea de laterita hasta una profundidad de 30 cm. (Thayer, T.P, 1942).

### 1.5 Vías de comunicación:

Las vías de comunicaciones en Moa han ido en constante desarrollo y están representadas por tres formas diferentes:

**1-Terrestre:** Se destacan como vía de acceso fundamental la carretera que conduce al municipio de Sagua de Tánamo y la carretera que comunica Moa con la ciudad de Baracoa y una amplia red de caminos.

**2-Aérea:** Existe un moderno aeropuerto nacional que posibilita el establecimiento de las líneas de vuelo hacia distintas ciudades como son: Santiago de Cuba, Ciudad Habana, Holguín.

**3-Marítima:** Esta vía se ha hecho posible debido a la existencia del puerto de Moa que es utilizado para la exportación de mineral y recepción de materia prima para la obtención de níquel más cobalto. Además cuenta con una moderna instalación telefónica y una estación postal telegráfica que asegura la rápida comunicación con las demás provincias del país y con el extranjero. (Donal, L., 2012)

### 1.6 Flora y fauna

Respecto a la flora, el informe "Monitoreo de las variables ambientales en los yacimientos La Delta, Cantarrana y Santa Teresita", (Geocuba, 2012), basado en una secuencia de muestreos para evaluar el comportamiento dinámico de diferentes parámetros bióticos y la reacción de los ecosistemas ante los impactos recibidos durante los estudios mineros en esas áreas a partir de 2008, señala que el área de Cantarrana está dentro de las zonas de mayor endemismo de la flora de Cuba.

De los grupos florísticos más estudiados: plantas vasculares, espermatofitas y helechos, se reportan para el área un total 153 especies, de ellas 116 de plantas con flores y 37 de helechos, que se distribuyen en unas tres formaciones vegetales diferentes, (Capote y Berazaín, 1984: bosque aciculifolio (pinar), matorral xeromorfo subespinoso sobre serpentina (charrascal) y pluvisilva.

Respecto a la recuperación de la cobertura vegetal, a través del monitoreo se determinó que las trochas y caminos recientes no presentan composición florísticas y en los más antiguos, se ha manifestado alguna recuperación pasiva de la vegetación, pudiendo cuantificarse solo 15 especies para 9.8 %.

En cuanto al comportamiento de la fauna del suelo, ha sido dañada debido a la afectación de nichos, oquedades, neonatos, ovoposición y otros aspectos de su conducta y ecología. Sin embargo, grupos muy móviles y conspicuos como las aves, los lepidópteros diurnos (mariposas), tuvieron una buena presencia en áreas de la concesión, observándose 19 especies de mariposas diurnas y 46 especies de aves, entre endémicas, residentes permanentes y residentes invernales en Cuba.

El área en su funcionamiento para las aves es considerada una trampa ecológica debido a los niveles de impactos y degradación de su estructura biofísica, no obstante la riqueza de especies de la ornitofauna inventariada se considera satisfactoria.

La fauna fluvial, representada por los crustáceos, moluscos, insectos acuáticos y los peces dulceacuícolas, con un total de 12 especies tienen su principal centro de ocupación el río Quesigua que bordea por la parte occidental el yacimiento. Dentro del mismo solo existen pequeños afluentes pobres en vida acuática, así como en el río Yamanigüey al este. (Figueras, M., et al. 2015)

## **1.7 Clima**

El clima de la zona es del tipo tropical húmedo, el cual se ve influenciado por la orografía, ya que las montañas del grupo Sagua-Baracoa sirven de barrera a los vientos alisios del NE, los cuales descargan toda su humedad en forma de abundantes precipitaciones en la parte norte de la región. En la misma se distinguen de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos de lluvia (Mayo-Junio) y (Octubre-Enero) y dos períodos de seca (Febrero-Abril) y (Junio-Septiembre). La temperatura media anual oscila entre 22.26 y 30.5°C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los más fríos enero y febrero,

siendo los meses más lluviosos noviembre y diciembre y los meses más secos marzo, julio y agosto. (Donal, L. 2012).

### **1.8 Hidrografía**

La región se caracteriza por una abundante red hidrográfica representada por numerosos ríos, entre ellos Quesigua y Yamanigüey, que bordean el yacimiento por el oeste y el este respectivamente.

La dinámica fluvial dentro del yacimiento está condicionada por una red de drenaje, de densidad moderada, constituida por ríos jóvenes del primer y segundo orden que drenan sus aguas hacia los cauces principales antes referidos y solo en la porción sur occidental aparecen pequeños tramos de cursos de tercer orden, tributarios del río Quesigua.

Existen numerosas líneas de drenaje de distintas microcuencas alineadas entre sí, lo que indica el control estructural del drenaje, existiendo además paralelismo entre los cursos de segundo orden, los que son cortados ortogonalmente por cárcavas y cañadas. En la parte central del área se observa un comportamiento radial del drenaje. (Figueras, M., et al. 2015)

### **1.9 Relieve**

El área de estudio se encuentra ubicada específicamente en el borde occidental del bloque morfotectónico de mayor levantamiento de la región, lo que le confiere una mayor inestabilidad e irregularidad de la topografía, por lo que aun cuando predomina el relieve de montañas bajas aplanadas, en su morfología aparecen numerosos barrancos, escarpes y deslizamientos, así como sectores diseccionados. Los barrancos son frecuentes en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tienen un fuerte control estructural, alcanzando su mayor expresión en la parte centro meridional y llegan a desarrollar pendientes de hasta 45° con alturas máximas de 240 m, lo cual hace susceptible a estos sectores al deslizamiento y arrastre de suelos. (Cruz, J.F., 2014)

### **1.10 Geomorfología del área de estudio:**

Genéticamente el relieve de Moa está clasificado como de tipo horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionadas. Según sus rasgos morfológicos, posiciones hipsométricas y observaciones de campo en Moa existen dos zonas geomorfológicas: la de llanura y la de montaña, siendo esta última la más representativa (Infante, 1998).

En el área predomina el relieve de montañas bajas aplanadas que sobre las rocas ofiolíticas se ha desarrollado; haciendo posible la formación y conservación de los yacimientos lateríticos. Se observan además elementos geomorfológicos desplazados o limitados por estructuras tectónicas activas, antiguas o recientes. Ello determina la importancia de los estudios tectónicos en la caracterización de los yacimientos niquelíferos (Rodríguez, y otros, 1985).

De igual forma la concesión Santa Teresita se encuentra estructurada en forma de meseta escalonada, presentando una red fluvial radial; las mayores posiciones hipsométricas se localizan hacia la parte sur alcanzando valores de hasta 500 metros disminuyendo gradualmente hacia el noreste, lo que no sucede con Cantarrana que se comporta en forma de una meseta homogénea.

Hay que destacar un amplio desarrollo de cárcavas fundamentalmente hacia la porción sur-oriental y sur respectivamente de la concesión, relacionado con los movimientos de ascenso del relieve, que pueden influir en la actividad minera.

En la región no existen fenómenos cársticos típicos debido a la ausencia de depósitos carbonatados, no obstante se han establecido hundimientos en el terreno y cavernosidad análoga a las cársticas las cuales están ligadas a la erosión y transportación que ejercen las aguas subterráneas sobre los productos de intemperismo de las hiperbasitas (Rodríguez, y otros, 1985).

Según lo planteado por (Infante, 1998) estas concesiones se desarrollan mayormente sobre un relieve de montañas bajas aplanadas y en menor grado en el caso de las concesiones La Delta y Cantarrana están presente las premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas. En la figura 1.2 se muestra el mapa geomorfológico del área de estudio. (Rodríguez, A. 1998)

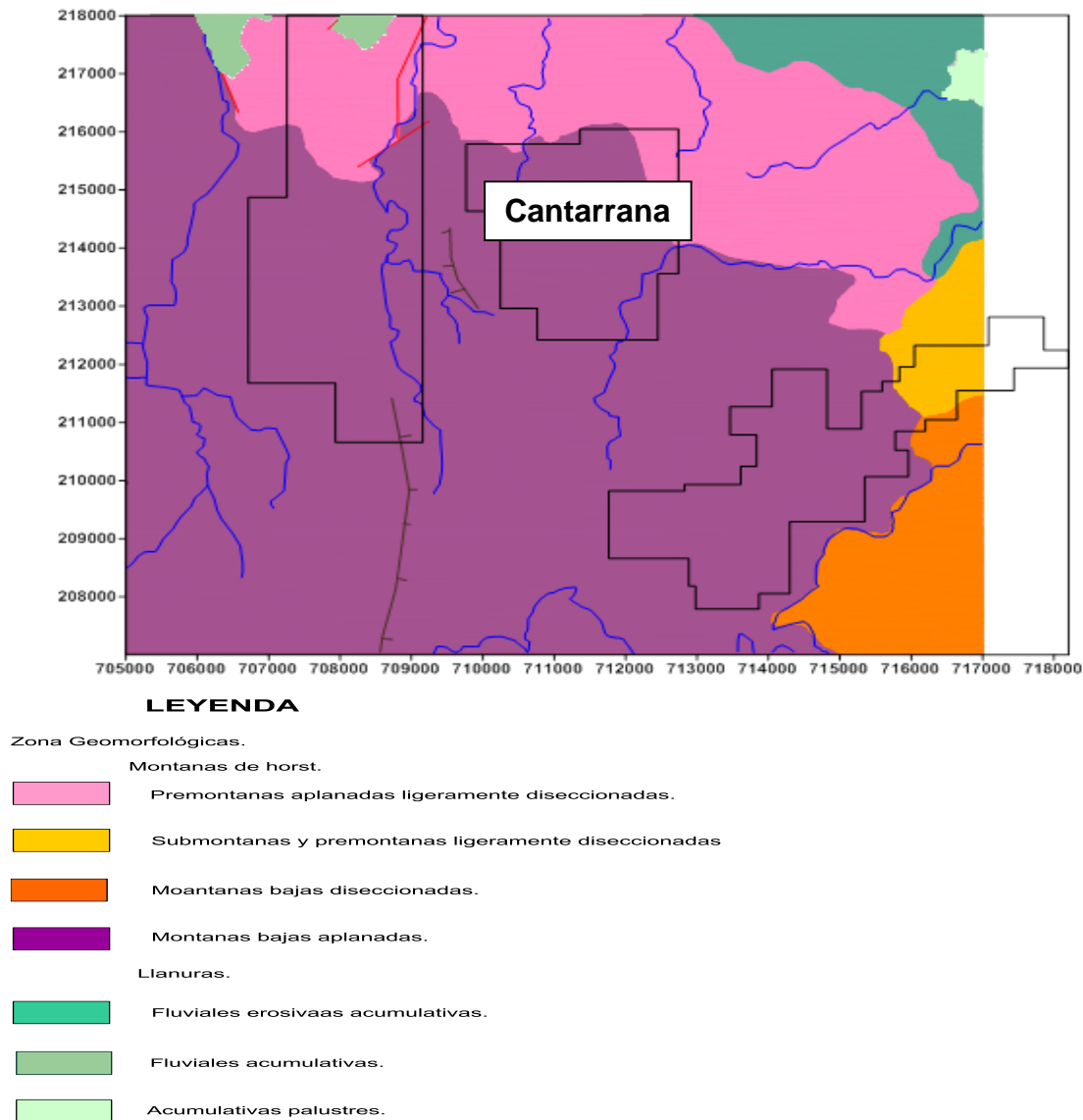


Figura No.1.2.Versión digital del mapa geomorfológico del área de estudio. Esc: 1: 25 000. (Rodríguez, A. 1998).

### **1.11 Dominios geomorfológicos del área de estudio:**

La corteza laterítica del sector Cantarrana está constituida por dos dominios geomorfológicos: Cantarrana Norte (CR-1) y Cantarrana Sur (CR-2), desarrollados sobre el microbloque Cocalito perteneciente al bloque Cupey que se encuentra entre la falla Quesigua y Yamanigüey, dividido en seis microbloques morfotectónicos: Cocalito, El Gallito, Cañete, El Feni, Jiguaní y La Teresa como se muestran en la figura 1.3. Las cotas absolutas del área de estudio están entre 150 y 310 metros. En su porción central se encuentra afectada por la falla Arco Norte la que trae consigo el desarrollo de grandes espesores de corteza laterítica.

Microbloque Cocalito: Se encuentra ubicado entre los microbloques El Gallito, El Feni, La Teresa y Cañete, dentro de las estructuras que constituyen límite de este microbloque podemos mencionar El Medio, Potosí y Arco Sur, siendo cortado en su parte meridional por la falla Arco Norte que es una estructura que presenta un relieve en forma de un arco cóncavo hacia la parte sur, donde en su parte más occidental presenta una dirección N340W y en la porción oriental N600E. Esta estructura está limitada al este y oeste por estructuras más jóvenes: Potosí y El Medio respectivamente. Al parecer esta estructura está asociada al emplazamiento de las ofiolitas que genera un relieve en forma de escama. (Barea, I y Barrera, M. 2008).



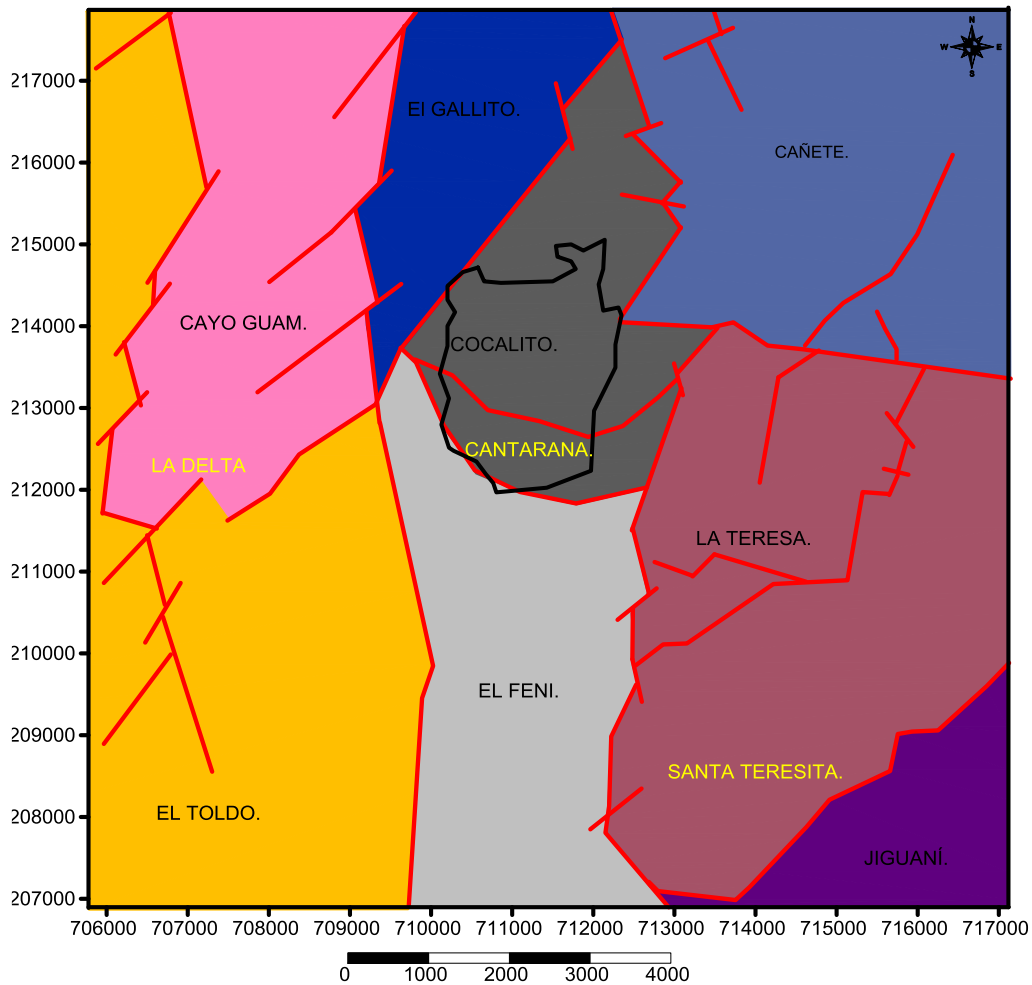


Figura No.1.3. Versión digital del mapa de bloques y microbloques del área de estudio. Esc: 1: 25 000. (Barea, I; Barrera, M. 2008)

### 1.12 Geología del sector en estudio:

El área estudiada posee una extensión de 9,6 Km<sup>2</sup> con cotas que alcanzan hasta 310 m situadas dentro del macizo-montañoso Moa- Baracoa. En la parte sureste se observan fallas bien marcadas, donde se distinguen dos desniveles en forma de escalón donde el bloque norte está elevado con respecto al bloque sur. El bloque de fallas es en el yacimiento, del tipo de sobrecorrimiento con direcciones Este-Oeste, Norte- Suroeste y Noreste-Sur. Las rocas que componen el yacimiento son características propias de esa zona, semejantes a las encontradas por otras investigaciones en la zona de Moa. El yacimiento Cantarrana dentro de la zona de Moa resulta de interés ya que en él están presentes las variedades de rocas que

componen el corte ofiolítico, compuestas por el complejo metamórfico y cumulativo este último hasta su parte alta formado por ultramafitas, ultramafitas con plagioclasas hasta llegar a los gabroides. Por las características petroquímicas se señalan y dividen los complejos, así como pueden llegarse a conocer tipos específicos entre las variedades de ultramafitas con plagioclasas, las cuales por sus características macro y microscópicas se confunden con variedades gábricas.

El estudio del basamento, realizado con el objetivo de conocer las características petrográficas de sus rocas, se basó en la descripción de 319 secciones delgadas con el correspondiente análisis químico de silicatos completo de todas las muestras. Como resultado se determinaron 5 tipos de rocas: serpentinitas, harzburgitas, dunitas, dunitas plagioclásicas y rocas gabróicas, con procesos de serpentización variable y cuyas características generales se describen a continuación. (Figueras, M., et al. 2015).

### Serpentinitas

Son rocas con escasos rasgos texturales y mineralógicos para definir la roca original; su coloración varía desde gris, gris oscuro a gris verdoso con tonalidades parduzcas, manchadas por óxidos e hidróxidos de hierro; textura masiva, presentan grietas rellenas de minerales del grupo de la serpentinita, carbonato y mineralización metálica.

Se han formado a partir de la alteración de dunitas, harzburgitas y dunitas plagioclásicas. La composición mineralógica está representada por minerales del grupo de la serpentina (lizardita, crisotilo, antigorita y serpofita) que componen entre un 60 y 97 % del volumen total de la roca. La lizardita se presenta en fibras gruesas y finas, textura reticular, en el centro de los retículos serpofita y relictos de olivino; antigorita en forma micro hojosa, micro granular y en vetas muy finas; crisotilo fibroso, en ocasiones reemplazando a la lizardita; serpofita en masa mamilar, isótropa; cristales de ortopiroxenos parcial y totalmente bastitizados.

En las serpentinitas a partir de dunitas plagioclásicas se observan plagioclasas alteradas a minerales arcillosos con aspecto isótropo, dispuestas de forma intersticial. Como minerales secundarios clorita y carbonato de calcio. La

mineralización metálica es magnetita en granos muy finos diseminados por toda la roca, en pequeñas vetillas y por las fibras de los minerales serpentínicos; la espinela cromífera en granos irregulares, translúcida; iddingsita bien desarrollada por los bordes de los relictos de olivino. En general son muestras con abundante mineralización metálica.

#### Harzburgita serpentinizada

Rocas con estructura masiva, de colores gris, gris oscuro, verde oscuro, en ocasiones con tonalidades parduzcas producto de la impregnación de óxido de hierro. En mayor o menor grado están fracturadas, agrietadas, serpentinizadas, con textura reticular, fibrosa y pseudomórfica. La composición mineralógica representada por olivino, piroxeno rómbico (enstatita) y minerales serpentínicos. El olivino puede alcanzar entre un 10 y 65 % del volumen total de la roca y el piroxeno parcial o totalmente bastitizado, hasta el 20 % con textura porfiroblástica, con cristales que alcanzan tamaño de hasta de 0,6 mm envueltos por una masa de olivino de tamaño entre 0,1 mm a 0,2 mm y minerales serpentínicos. La mineralización metálica, magnetita en granos muy finos que en algunas muestras puede llegar hasta un 20 %, cromita accesoria más escasa, entre 1 y 2 %, subidiomórfica. Los minerales secundarios clorita, carbonato y talco. Grietas rellenas por mineral metálico y serpentínicos.

#### Dunita serpentinizada

Rocas de colores gris verdoso, verde y verde oscuro, con tonalidades pardas y oscuras producto de la oxidación presente; estructura masiva, granulometría fina, textura reticular, fibrosa, relíctica, con un mayor o menor grado de serpentización. La composición mineralógica está representada por olivino y minerales del grupo de la serpentina; el olivino con birrefringencia alta, tamaños de granos que varían desde 0,2 hasta 0,4 mm alterados a minerales serpentínicos (lizardita, crisotilo y antigorita) en fibras gruesas y finas, formando textura reticular, fibrosa, relíctica; la iddingsita por los bordes de los granos de olivino, que en ocasiones los sustituyen totalmente. Como minerales secundarios clorita y carbonato. Son rocas que se encuentran fracturadas y teñidas por óxidos de hierro.

La mineralización metálica es magnetita en granos muy finos, como un polvillo diseminado por toda la roca. La espinela cromífera aparece en granos irregulares, traslúcida, dispuesta en ocasiones de forma intersticial.

#### Dunitas plagioclásicas serpentinizadas

Rocas de color gris oscuro y verde oscuro, con tonalidades blancuzcas y pardas, estructura masiva y granulometría fina.

Composición mineralógica: olivino entre 50 y 65 %, plagioclasas y clinopiroxenos hasta un 10 %, siendo la proporción de plagioclasas siempre mayor que los clinopiroxenos.

El olivino se presenta en granos finos y gruesos, deformados, con birrefringencia alta y extinción ondulante, alterado a partir de los bordes del grano y es atravesado por las líneas de fracturas rellenas por minerales de grupo de la serpentina (lizardita, crisotilo y magnetita).

Los cristales de plagioclasas están alterados a minerales arcillosos, casi isótropas, pelitizadas, de color blancuzco en la muestra macroscópica y oscuras bajo el microscopio, tanto con nicoles cruzados como paralelos, dispuestas intersticialmente entre los granos de olivino. La mineralización metálica magnetita y espinela cromífera. Son rocas que en su mayoría presentan impregnaciones de óxidos e hidróxidos de hierro.

#### Rocas gabróicas:

Gabro olivínico alterado: Roca compuesta en un 25 % por plagioclasas alteradas, las que aparecen como manchas de aspecto criptocristalino, casi isótropas, relieve alto, pelitizadas, con bordes subredondeados, en parte de la roca se disponen de forma intersticial. El contenido de olivino es de 40 %, serpentizado y dispuesto en el centro de los retículos que forman los minerales serpentiniticos; el clinopiroxeno en un 20 %, parcialmente anfibolitizado; más escaso se observa el ortopiroxeno, que representa un 5 %. Mineral metálico magnetita en granos finos dispersos por toda la muestra y por las fibras de los minerales serpentiniticos, resaltando las mismas.

Gabro pegmatita: Roca de grano grueso y textura alotriomórfica granular. Como minerales principales se presentan plagioclasas, clinopiroxenos y más escaso ortopiroxenos y olivino. Las plagioclasas en un 65 %, de composición labradorita, en cristales gruesos, formas tabulares alargadas y en parte anchas, extinción entre 12 y 13 grados aproximadamente.

El clinopiroxeno poco más o menos que en un 30 %, irregular, en parte dispuesto de forma intersticial en cristales gruesos; el ortopiroxeno en 3 % y el olivino alrededor de un 2 %.

Gabro troctolita alterada: Roca compuesta por plagioclasas y olivino con intensos procesos de alteración. Las plagioclasas en un 35 %, alteradas, saussuritizadas, se presentan como manchas oscuras, casi isótropas, de aspecto criptocristalino, alto relieve, las maclas a penas se observan. El olivino en un 50 %, serpentizado, atravesado por venillas de crisotilo formando textura reticular, y un agregado de magnetita en granos muy finos diseminado por toda la muestra y por las fibras de crisotilo. Manchas de óxido de hierro. (Figueras, M., et al, 2015).

❖ **Breve descripción de la geología y mineralización presentes en los diferentes complejos geológicos del área de estudio.**

Con el movimiento hacia el noreste de la placa sur americana en el periodo cretácico tuvieron lugar una serie de eventos geológicos que dieron como resultados la constitución geológica donde se encuentran enmarcados los yacimientos lateríticos del noreste de Cuba. Conformada por las secuencias del arco volcánico del Cretácico, y la secuencia ofiolítica mayormente. Las estructuras disyuntivas diseccionan los complejos litológicos en bloques morfotectónicos, los que según (Rodríguez\_Infante, 1998) se agrupan en cuatro sistemas. Un sistema relacionado con la acreción del complejo ofiolítico sobre el arco de islas, un segundo sistema asociado a los movimientos de compresión en dirección NE a través de la falla Battler-Caiman, un tercer sistema vinculado con los movimientos tangenciales en dirección NE y un último sistema asociado con el proceso de relajación de los bloques morfotectónicos que componen la región. (Figueras, M., et al, 2015).

A partir de las descripciones petrológicas de las rocas del yacimiento y por la complejidad que presenta la región de estudio se conformaron 4 complejos litológicos para agruparlas, confeccionado por los especialistas de Centro Internacional de la Habana (CIH. SA). A continuación se explican los mismos:

Complejo mantélico: rocas vinculadas a la parte superior del manto, que responden a la composición típica del manto ricas en minerales como olivino, piroxeno, tales como peridotitas, dunitas, harzburgitas, harzburgitas serpentinizadas, serpentinitas, que podemos encontrarlas con mayor abundancia por todo el yacimiento fundamentalmente en la región central. Ver figura 1.4 y anexos 28-31.

Complejo metamórfico: rocas metamórficas pertenecientes al metamorfismo regional del área donde podemos encontrar ultrabasitas, ultramafitas, troctolitas, que se encuentran en la parte noroeste y suroeste del yacimiento, con poco predominio de las mismas. Ver figura 1.4 y anexo 37.

Complejo transicional: rocas pertenecientes a la MTZ que contienen plagioclasas pero no forman gabros, tales como peridotitas con plagioclasas, dunitas plagioclásicas, harzburgitas serpentinizadas, dunitas serpentinizadas y metasomatitas, las cuales podemos encontrar fundamentalmente en la región norte del yacimiento y pequeñas área en la parte central y sur del área del estudio. Ver figura 1.4 y anexos 32-36.

Complejo oceánico: pertenecen a este complejo la formación gabroide de la corteza, rocas compuestas por gabros, tales como gabro olivínico, gabro pegmatitas y gabro troctolita, las cuales podemos observar se encuentran en las porciones más extremas del yacimiento fundamentalmente al noroeste, noreste y sur. Ver figura 1.4 y anexos 38-40.

## Mapa Geológico de Cantarrana

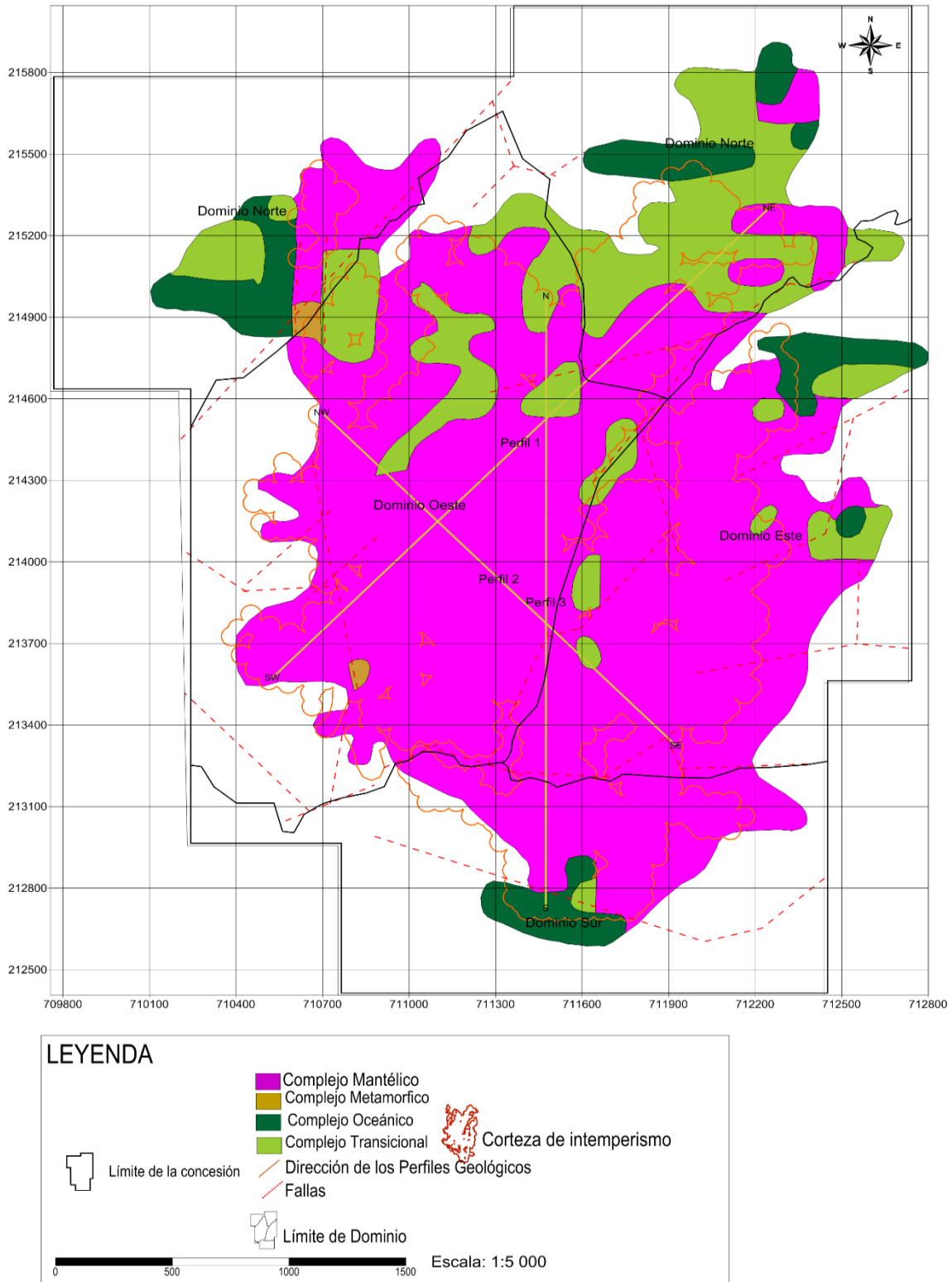


Figura No.1.4: Fotografía del mapa geológico del yacimiento Cantarrana. Escala 1:5 000. (Figueras, M. et al., 2015)



# CAPÍTULO II





## **Capítulo II. Metodología y técnicas empleadas**

### **2.1 Introducción. Organigrama**

### **2.2 Etapa preliminar**

### **2.3 Trabajos experimentales y de laboratorio**

### **2.4 Trabajo de gabinete**

#### **2.1 Introducción**

En el capítulo se describe la metodología aplicada en la investigación, según las etapas principales. Partiendo de la revisión de la información de los trabajos precedentes se adquiere la información base. Se describen los métodos y los procedimientos utilizados para la elaboración de los mapas de potencia de los horizontes meníferos y los mapas de contenido de los componentes útiles y nocivos, además se exponen los programas utilizados para la elaboración de los gráficos que muestran los rasgos geoquímicos de la corteza de intemperismo en profundidad. La investigación en el área de dicho sector, se realizó en tres etapas fundamentales como se muestra en la figura 2.1.

- **Etapa 1. Preliminar**
- **Etapa 2. Trabajos experimentales y de laboratorio**
- **Etapa 3. Trabajos de gabinete**

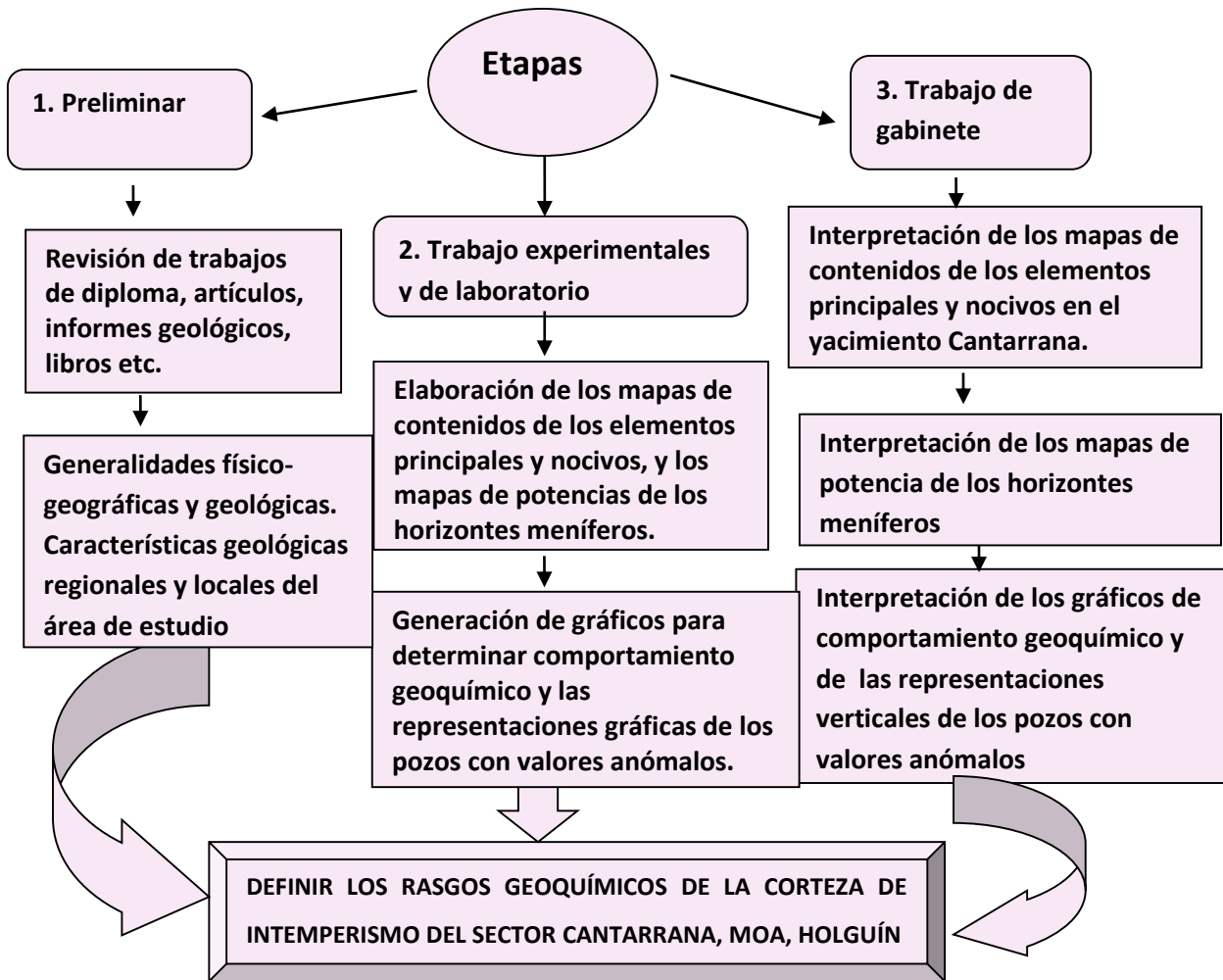


Figura 2.1. Organigrama que resume la metodología de la investigación.

## 2.2 Etapa preliminar

Para la recopilación de la información se consultaron diferentes documentos en formato digital e impresos relacionados con el tema, se utilizó además, toda la información primaria obtenida hasta el momento por el grupo de especialistas del ISMMM que han trabajado en el proyecto de exploración geológica en el sector Cantarrana. Luego de haber desarrollado la consulta bibliográfica de dicha información, se comenzó a procesar e interpretar los datos obtenidos previamente para posteriormente ser llevados a formato digital como parte de la memoria escrita del trabajo y también como documentos gráficos incluidos.

### **2.3 Trabajos experimentales y de laboratorio**

En esta etapa se llevó a cabo el procesamiento de toda la información primaria obtenida en el campo y brindada por la Empresa Moa Nickel S. A. “Pedro Soto Alba”, donde se realizó la validación de la base de datos asumida en esta investigación, donde el levantamiento geológico fue realizado por especialistas de CIH y del departamento de Geología del ISMMM, tomando como base la red de perforación de 35x35 m, con el objetivo de documentar los afloramientos de las rocas del basamento y la corteza de intemperismo, lo que se efectuó en las plataformas de los pozos perforados, trochas, cortes artificiales y caminos mineros y fueron documentados 1670 puntos, además durante los trabajos de levantamiento geológico se tomaron 34 muestras en afloramientos de rocas y de ellas fueron seleccionadas 26 para el análisis petrográfico. Sobre la base de estos datos fueron confeccionados los mapas de contenidos de los elementos Ni, Co, Fe, Mg, Al, Cr, SiO<sub>2</sub> y Mn para la zona de Escombros (E), la Laterita de Balance (LB) y la Saprolita de Balance (SB) del área de estudio, además se generaron los mapas de potencia del yacimiento y del horizonte menífero LB, también se generaron los gráficos que muestran el comportamiento geoquímico de los elementos principales y nocivos en profundidad, para las zonas con valores anómalos y las representaciones gráficas verticales de los mismos. Para la confección de los mapas de isocontenidos se utilizó el promedio de los valores de los elementos químicos por horizontes meníferos en los pozos ordinarios, así como todas las redes de perforación realizadas en el yacimiento. Se emplearon los programas para generar los mapas: Microsoft Access 2010, ArcGIS-10, lo que da respuesta a los objetivos específicos planteados en la investigación.

En la figura 2.2 se muestra el programa ArcGIS-10 con el cual se generaron los mapas de contenidos de los elementos químicos útiles y nocivos, en ellos se puede valorar el comportamiento en las menas (E, LB, SB) de los diferentes elementos analizados, es decir, los valores más predominantes, así como también los menos frecuentes en el área. Se determina además los sectores del yacimiento donde las concentraciones de los elementos son más abundantes, y más escasas. Este programa brinda la posibilidad de resaltar en colores, con un número asignado en por ciento, las zonas con valores anómalos.

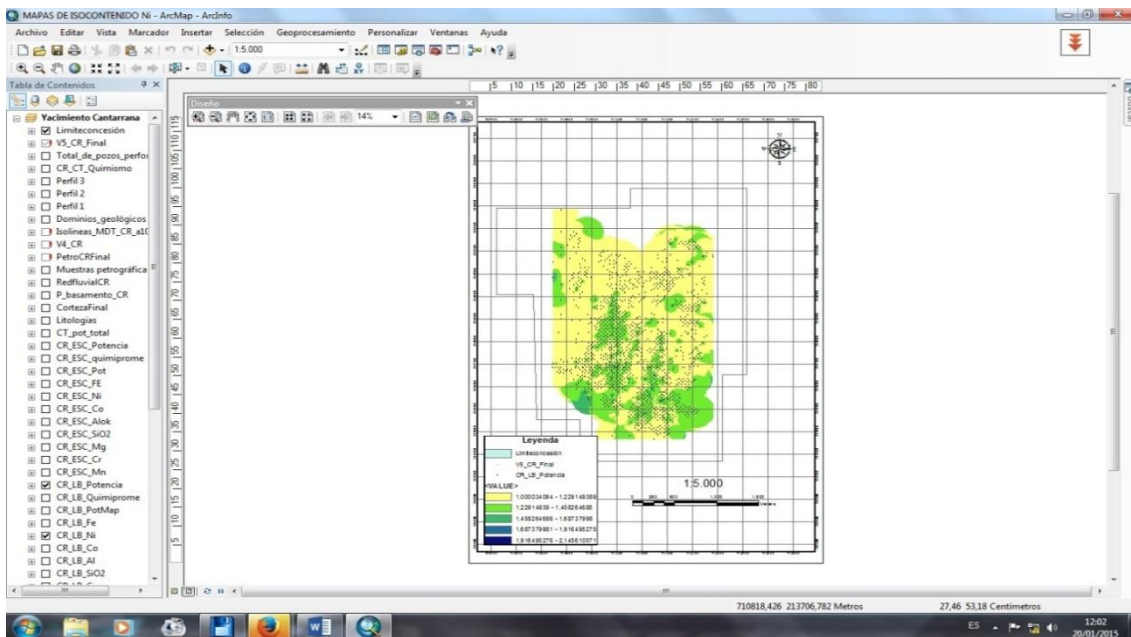


Figura 2.2. Software ArcGIS-10 utilizado en la confección de los mapas de contenido de los elementos químicos útiles y nocivos del sector Cantarrana.

En la figura 2.3 aparece el mapa de potencia de la mena LB durante su confección, en dicho mapa se puede observar como varía la potencia de la mena de Ni y Co en el sector. Se puede apreciar además los sectores caracterizados por presentar los mayores y menores valores de potencia. Al igual que en los mapas de contenidos, el programa le asigna a los mapas de potencia un valor en metro (m) que coincide con cada color representado en el mapa.

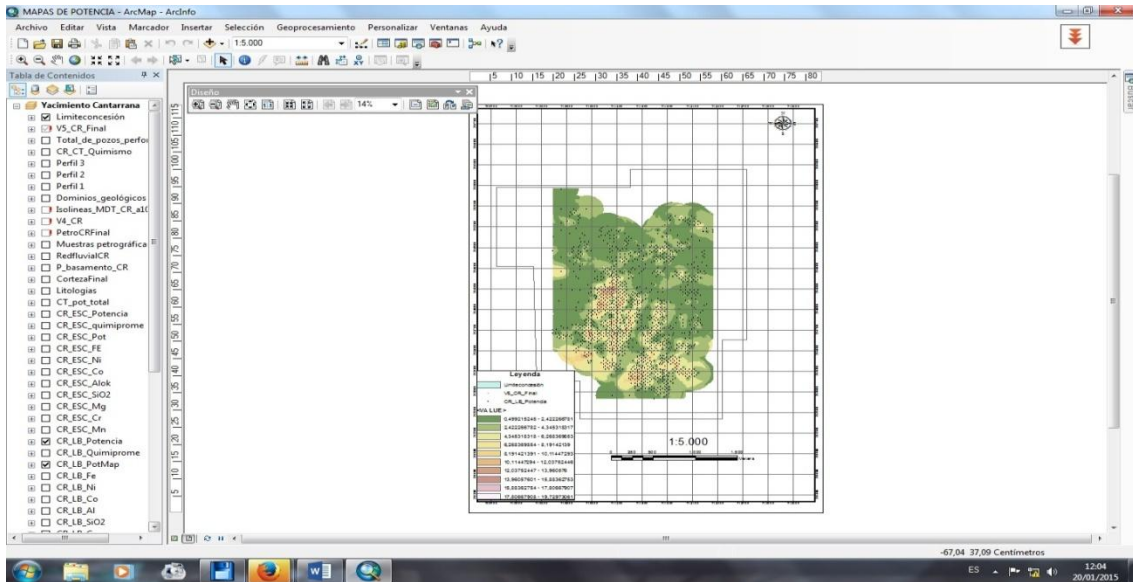


Figura 2.3. Software ArcGIS-10 utilizado en la confección de los mapas de potencia de los horizontes meníferos del sector Cantarrana.

Para la realización de estos mapas se utilizaron los intervalos aprobados por la empresa Moa Nickel para los elementos principales y nocivos en cada horizonte menífero la cual se ve a continuación.

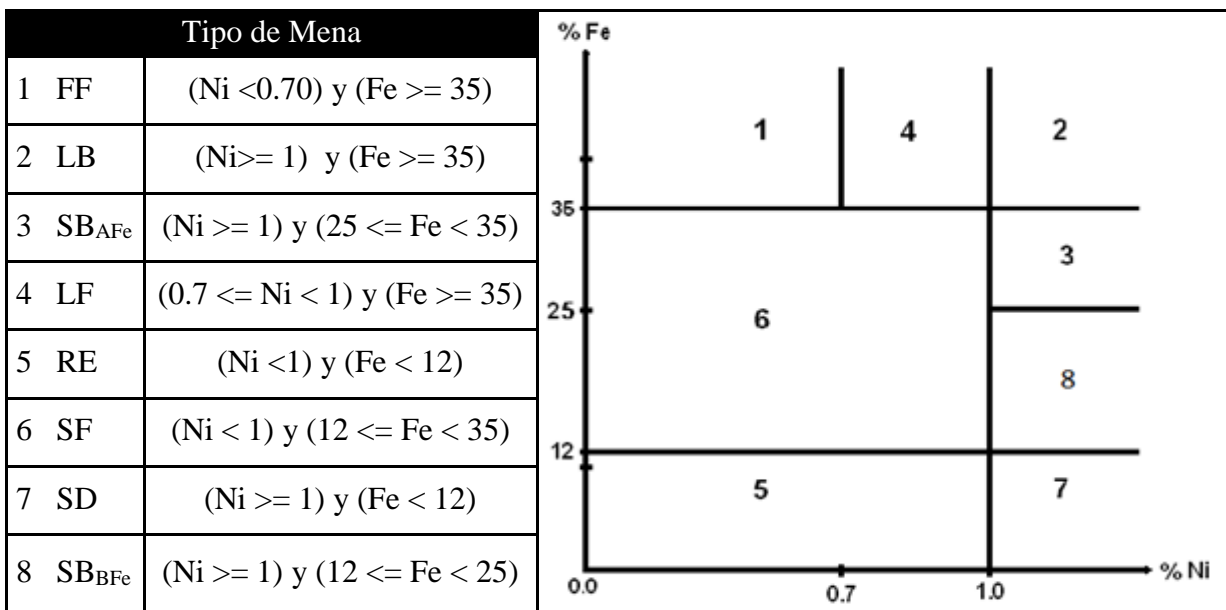


Figura 2.4: Tabla de contenido por tipo de mena. (Dpto de Geología de la empresa Moa Nickel S.A “Pedro Soto Alba”)

Horizontes	Fe %	Ni %	Co %	SiO <sub>2</sub> %	Al %	Mg %
OICP	35-80	0.3-0.7	0.01-0.15	0.5-3.5	6-20	0.25-3
OISP	34.9-70	0.69-0.99				
OEF	35-60	1-1.45	0.02-0.5	2.5-30	3-10	0.85-25
OEI	18-34.9	≤ 2.5				
RML	8-18	0.35-3	0.008-0.05	30-40	0.5-5	22-40
RMA	4-8					

Figura 2.5: Tabla de valores presentes en los horizontes lateríticas para rangos típicos de la composición química de la corteza. (Dpto de Geología de la empresa Moa Nickel S.A “Pedro Soto Alba”)

### Dónde los significados para las abreviaturas son los siguientes:

**FF:** Ferruginosa fuera de balance

**LB:** Laterita de balance

**SB<sub>AF<sub>e</sub></sub>:** Saprolita de balance con alto contenido de Fe

**LF:** Laterita fuera de balance

**RE:** Roca estéril

**SF:** Saprolita fuera de balance

**SD:** Serpentina dura

**SB<sub>BFe</sub>:** Saprolita de balance con bajo contenido de Fe

**OICP:** Ocre inestructurales con perdigones.

**OISP:** Ocre inestructurales sin perdigones.

**OEF:** Ocre estructurales final.

**OEI:** Ocre estructurales inicial.

**RML:** Serpentinita lixiviada, alterada y ocretizada

**RMA:** Serpentinita desintegrada y alterada

Para la elaboración de los gráficos que muestran el comportamiento geoquímico en profundidad de los componentes útiles y nocivos en las menas del sector Cantarrana, se utilizó primeramente la información de la base de datos de dicho yacimiento, la cual se exportó hacia Microsoft Excell 2013, donde se le realizó el análisis estadísticos de los resultados analíticos de las muestras tomadas en los pozos con valores anómalos. En estos gráficos se puede apreciar la variabilidad de los elementos en profundidad, relacionando el contenido (Ni, Fe, Co, SiO<sub>2</sub>, Mg, Al, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Mn) con un color diferente, es decir nos muestra como varían exponencialmente los valores en cada pozo y se multiplicaron los valores en por ciento de Ni y Co por 10 y 100 respectivamente para otorgarle mayor representatividad a los gráficos, además se utilizó el programa Logplot para la generación de las representaciones verticales de los pozos que presentan anomalías. Ver figura 2.6.

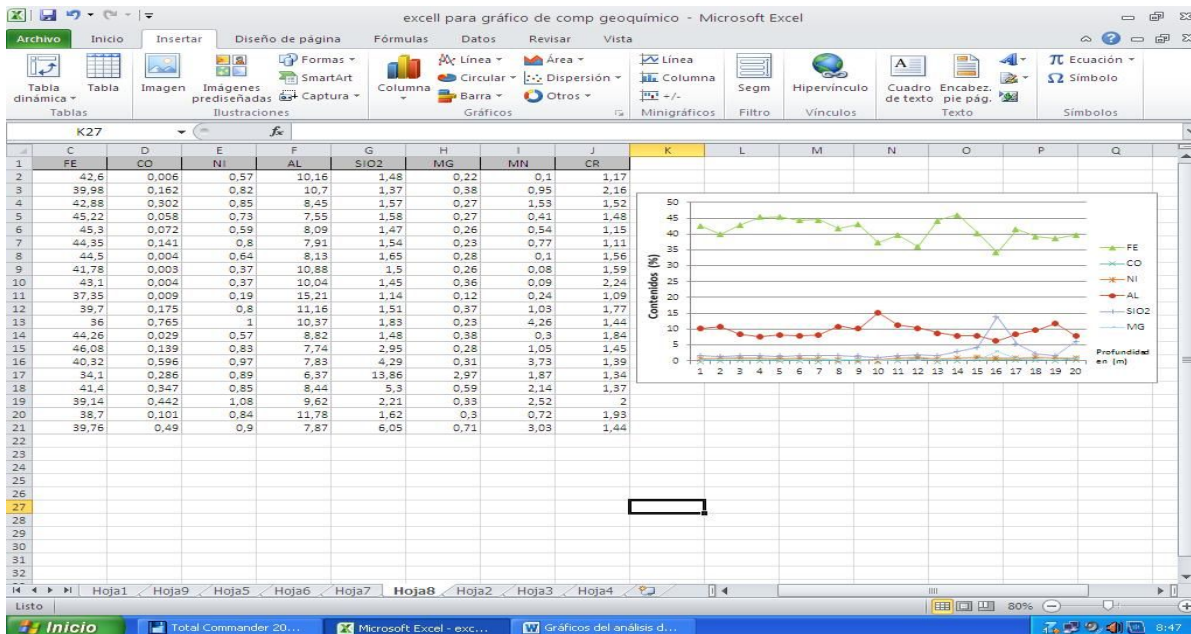


Figura 2.6: Microsoft Excel utilizado para la realización de los gráficos de comportamiento geoquímico de los componentes útiles y nocivos en las menas lateríticas del sector Cantarrana.

## 2.4 Etapa de gabinete

En esta etapa se llevó a cabo la interpretación de los mapas de potencias de los diferentes horizontes meníferos presentes en el sector. Además de los mapas de contenidos de los elementos Ni, Fe, Co, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Mg, Al y Mn de las menas



lateríticas del área en estudio, con ayuda del mapa geológico realizado por los especialistas de CIH, y las descripciones petrográficas realizadas por la empresa Geomiera-Oriente y los especialistas de CIH, se realizó una interpretación detallada de las tres zonas presentes, E, LB y SB, especificando las rocas presentes en cada una de ellas y las posibles fases minerales presentes. Se interpretaron también los gráficos que muestran el comportamiento geoquímico en profundidad de los componentes principales y nocivos, para las zonas con valores anómalos, con el objetivo de identificar zonas con indicios de redeposición, además se realizaron gráficos verticales de los pozos para demostrar la redeposición en estas zonas evaluadas. Con lo antes expuesto se le da respuesta al objetivo principal del trabajo que consiste en analizar los rasgos geoquímicos de la corteza de intemperismo del sector Cantarrana, para definir las áreas con mayores perspectivas para la explotación de recursos.





# CAPÍTULO

## III

## **Capítulo III: Análisis e interpretación de los resultados obtenidos**

### **3.1 Introducción**

**3.2 Análisis de la distribución de los componentes principales Ni, Fe, Co y nocivos Al, Si, Mg en el horizonte de Escombros (E)**

**3.3 Análisis de la distribución de los componentes principales Ni, Fe, Co y nocivos Al, Si, Mg en el horizonte de la Laterita de Balance (LB)**

**3.4 Análisis de la distribución de los componentes principales Ni, Fe, Co y nocivos Al, Si, Mg en el horizonte de Saprolita de Balance (SB)**

**3.5 Análisis de la distribución de los componentes principales y nocivos del sector Cantarrana.**

**3.5.1 Áreas con mayores perspectivas para la explotación de las menas lateríticas en el sector Cantarrana.**

**3.6 Caracterización de los perfiles típicos de la corteza de intemperismo en función de la roca de basamento.**

### **3.1 Introducción**

En este capítulo se exponen los resultados de la investigación, donde se determinan los “Rasgos geoquímicos de la corteza de intemperismo del sector Cantarrana, Moa, Holguín”. Con la realización e interpretación de los mapas de distribución de los contenidos y de potencia, a partir de los valores promedios de cada elemento a evaluar se pudo analizar la distribución espacial de los elementos principales y nocivos del sector.

Se identificaron los perfiles lateríticos existentes según la roca del basamento a partir de la realización de los gráficos de distribución de los contenidos de los componentes principales y nocivos y su comparación con los tipos genéticos de perfiles establecidos para las cortezas lateríticas según los autores Muñoz Gómez, J.N.; Roríguez Infante, A.; Barea Pérez, I., en el año 2015, como se explica en la introducción de esta investigación y se muestra en las figuras siguientes.



Figura No.3.1: Perfil de la corteza de intemperismo desarrollada sobre rocas mantélicas. (Muñoz, J.N, et al. 2015)

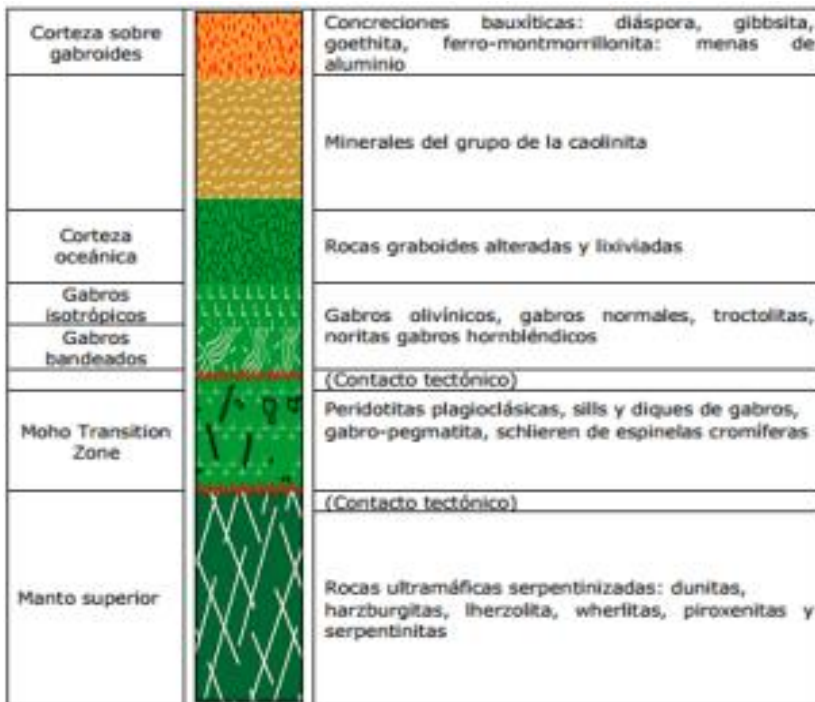


Figura No.3.2: Perfil de la corteza de intemperismo desarrollada sobre rocas de la corteza oceánica. (Muñoz, J.N, et al. 2015)

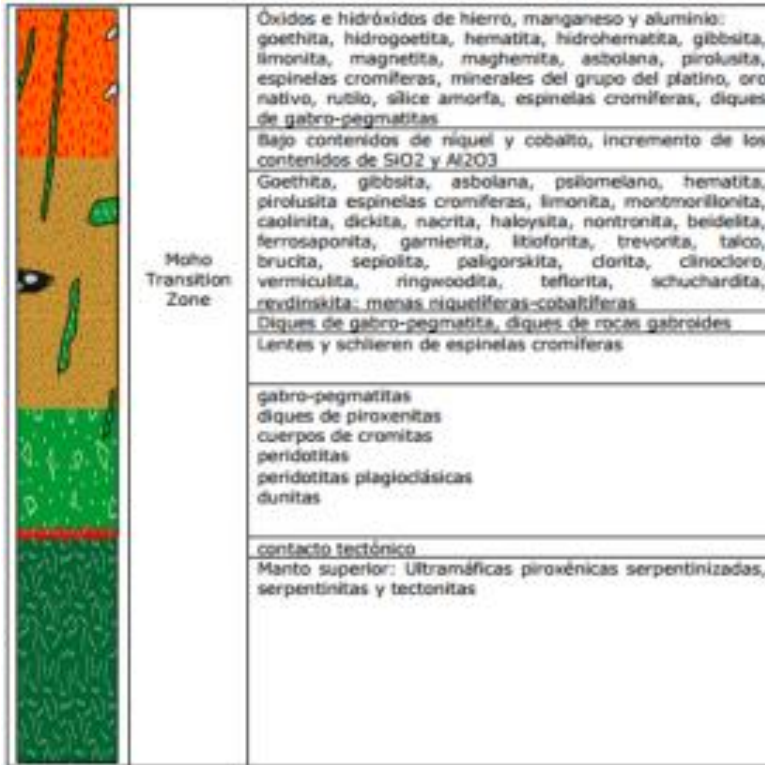


Figura No.3.3:Perfil de la corteza de intemperismo desarrollada sobre rocas de la zona de transición manto–corteza oceánica. (Muñoz, J.N, et al. 2015)



Figura No. 3.4: Perfil de intemperismo mixto y complejo. (Muñoz, J.N, et al. 2015)

### **3.2 Análisis de la distribución de los componentes principales Ni, Fe, Co y nocivos Al, Si, Mg en el horizonte de Escombro (E)**

El horizonte de escombro en el sector Cantarrana está formado por dos zonas; las cuales se explican a continuación:

#### **Ocre inestructural con concreciones de hierro (OICP)**

La zona de ocre inestructural con concreciones de hierro ubicada en el horizonte de escombro de la corteza de intemperismo se caracteriza por la presencia de concreciones goethítico-hematíticas, no conserva los rasgos de la fábrica estructural de la roca madre; su color es pardo oscuro (rojizo), deleznable, los perdigones oscilan entre 10 y 60 %, con diámetro de 1.0 a 10.0 mm, donde la granulometría predominante es < 0.15 mm, con predominio de goethita como composición mineralógica principal, además de gibbsita y maghemita.

#### **Ocre inestructural sin concreciones de hierro (OI)**

La zona de ocre inestructural sin concreciones de hierro ubicada en el horizonte de escombro de la corteza de intemperismo está constituido por un material ocroso de aspecto terroso y coloración que va desde pardo rojizo hasta semiamarillento, prácticamente sin concreciones ferruginosas, no se conserva las características de la fábrica estructural de la roca madre; la granulometría en esta zona es muy fina, las partículas de la clase < 0.15 mm son predominantes, donde la composición mineralógica principal es la goethita y en menor grado maghemita y gibbsita. (Ruíz, R. et al., 2015)

En este horizonte los componentes principales Ni, Fe, Co se encuentran distribuidos de manera irregular por toda el área de estudio, los mayores contenidos de los mismos se encuentran en zonas en las que el basamento está formado por rocas del complejo mantélico y los menores contenidos donde el basamento está formado por rocas del complejo oceánico y transicional.

Los mayores contenidos de Ni ubicados en la región central y sur del sector oscilan entre 0.88 y 0.99 %, en esas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico dentro de las que se encuentran la

harzburgita serpentinizada, dunita y la serpentinita que aunque es una roca metamórfica se agrupa en este complejo debido a su bajo grado de alteración; los menores contenidos se observan hacia el noreste y noroeste del sector y varían de 0.14 a 0.48 % donde las rocas del basamento presentes en esta región pertenecen al complejo oceánico tales como gabro, gabro troctolita, gabro olivínico y gabro pegmatita, tal como se muestra en la figura 1.4 y el anexo 1.

Los mayores contenidos de Fe se encuentran al noreste, sureste y centro del sector, varían de 50 a 54 % y en estas áreas el basamento está constituido por rocas del complejo mantélico; los menores contenidos ubicados hacia el noreste, noroeste y sur que varían de 35 a 42 % se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo oceánico como se visualiza en la figura 1.4 y el anexo 2.

Los mayores contenidos de Co ubicados al centro y sur del sector oscilan entre 0.33 y 0.44 %, se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico fundamentalmente las harzburgitas serpentinizadas; los menores contenidos localizados hacia el noreste, noroeste y sur del yacimiento varían de 0.003 a 0.11 % y se encuentran donde el basamento está constituido por rocas del complejo transicional tales como harzburgitas y dunitas serpentinizadas, metasomatitas, dunitas plagioclásicas, y el complejo oceánico, como se observa en la figura 1.4 y el anexo 3.

Los mayores contenidos de los componentes nocivos del sector se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas que componen los complejos transicional y oceánico y en menor medida el metamórfico; el complejo de menor incidencia en cuanto al porcentaje de elementos nocivos en este horizonte es el mantélico.

Los mayores contenidos de Al se encuentran en la porción noreste y algunos sectores al noroeste y sur del sector, los que varían desde 9.18 a 13.8 %, en esas áreas el basamento está constituido por rocas de los complejos oceánico, transicional y metamórfico; los menores contenidos ubicados al noroeste, centro y sur varían de 2.26 a 4.57 % y se encuentran donde el basamento de la corteza de

intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico, como se observa en la figura 1.4 y el anexo 4.

Los altos contenidos de Mg se encuentran de forma muy puntual por toda el área que ocupa el sector con valores de 2.59 a 7.68 %, donde el basamento está constituido por rocas del complejo mantélico; los bajos contenidos son los valores predominantes que oscilan entre 0.05 y 2.59 %, estos se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos transicional, metamórfico y oceánico como se aprecia en la figura 1.4 y el anexo 5.

Los altos contenidos de Si se ubican al noreste, noroeste, sur y sureste, con valores de 11 a 18 %, el basamento en estas zonas está constituido por rocas de los complejos oceánico y transicional; los bajos contenidos esparcidos por toda la región con valores que oscilan entre 1.1 y 4.6 %, se localizan donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico, como se observa en la figura 1.4 y el anexo 6.

Otros elementos que se evaluaron para determinar los rasgos geoquímicos del horizonte de Escombro en la corteza de intemperismo fueron el Mn y el Cr donde los mayores contenidos de Mn ubicados al centro y sur del sector varían de 1.91 a 2.38 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico; los menores contenidos que se encuentran dispersos por toda el área varían de 0.05 a 0.51 % y se localizan donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos transicional, oceánico y metamórfico, como se visualiza en la figura 1.4 y el anexo 7.

Los mayores y menores contenidos de Cr ubicados al noreste del sector fundamentalmente, varían de 3.0 a 3.7 % y de 0.15 a 0.88 % respectivamente, los mayores contenidos se presentan donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo transicional y los menores contenidos en áreas en las que el basamento está constituido por rocas del complejo oceánico, esto se debe a la presencia de varios complejos en un mismo sector del área investigada, como se aprecia en la figura 1.4 y el anexo 8.



La mayor potencia del horizonte de Escombro se ubica al noreste del sector, varía de 15.83 a 19.69 m, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por los complejos oceánico y transicional con la existencia de rocas tales como: gabro, gabro pegmatita, gabro olivínico, gabro troctolita, harzburgita y dunita serpentizada, metasomatita y dunita plagioclásica, como se visualiza en la figura 1.4 y el anexo 9.

### **3.3 Análisis de la distribución de los componentes principales Ni, Fe, Co y nocivos Al, Si, Mg en el horizonte de la Laterita de Balance (LB)**

El horizonte de la mena de laterita de balance en el sector Cantarrana está integrado por dos zonas las que se explican a continuación:

#### **Ocre estructural final (OEF)**

La zona de ocre estructural final ubicada en el horizonte menífero de laterita de balance de la corteza de intemperismo se caracteriza por presentar una masa ocrosa de color pardo amarillento con variaciones a pardo oscuro (rojizo), semi-compacto, en ocasiones se observa de forma muy discreta la estructura relíctica de la roca madre, además existen óxidos e hidróxidos de hierro; en forma de finas vetillas y pequeños nódulos, se exhiben minerales del grupo del manganeso, en consecuencia, esta zona es la más productiva para cobalto, con predominio de granulometría muy fina, las partículas de la clase < 0.15 mm ocupan el 92.4 % y la composición mineralógica principal es la goethita, con cantidades menores de maghemita y gibbsita.

#### **Ocre estructural inicial (OEI)**

La zona de ocre estructural inicial ubicada en el horizonte menífero de laterita de balance de la corteza de intemperismo se caracteriza por presentar una masa semiocrosa, granulosa, con relictos de minerales primarios y su coloración es abigarrada, va desde pardo amarillento hasta pardo verdoso, con pequeñas cantidades de óxido de manganeso en forma de finas vetillas, pueden observarse relictos de la estructura de la roca madre y la composición mineralógica principal





presente es la goethita, además, minerales arcillosos del tipo nontronita, con tamaño de las partículas predominantes < 0.15 mm. (Ruíz, R. et al., 2015)

En el horizonte menífero del sector los componentes principales Ni, Fe, Co se encuentran distribuidos de manera irregular por toda el área donde los mayores contenidos se encuentran en zonas en las que el basamento está formado por rocas del complejo mantélico y los menores contenidos donde el basamento está formado por rocas del complejo oceánico y transicional.

Los mayores contenidos de Ni se encuentran en la región central, sur y noroeste del sector con valores que oscilan entre 1.68 y 2.14 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico tales como harzburgita serpentizada, dunita y la serpentinita; y las rocas del complejo metamórfico tales como ultrabasitas, ultramafitas y troctolitas; los menores contenidos se encuentran en la región central y al norte del sector con valores de 1.00 a 1.22 %, donde el basamento está constituido por rocas del complejo transicional como harzburgita y dunita serpentizada, dunita plagioclásica y metasomatita, como se visualiza en las figuras 1.4 y 3.5.

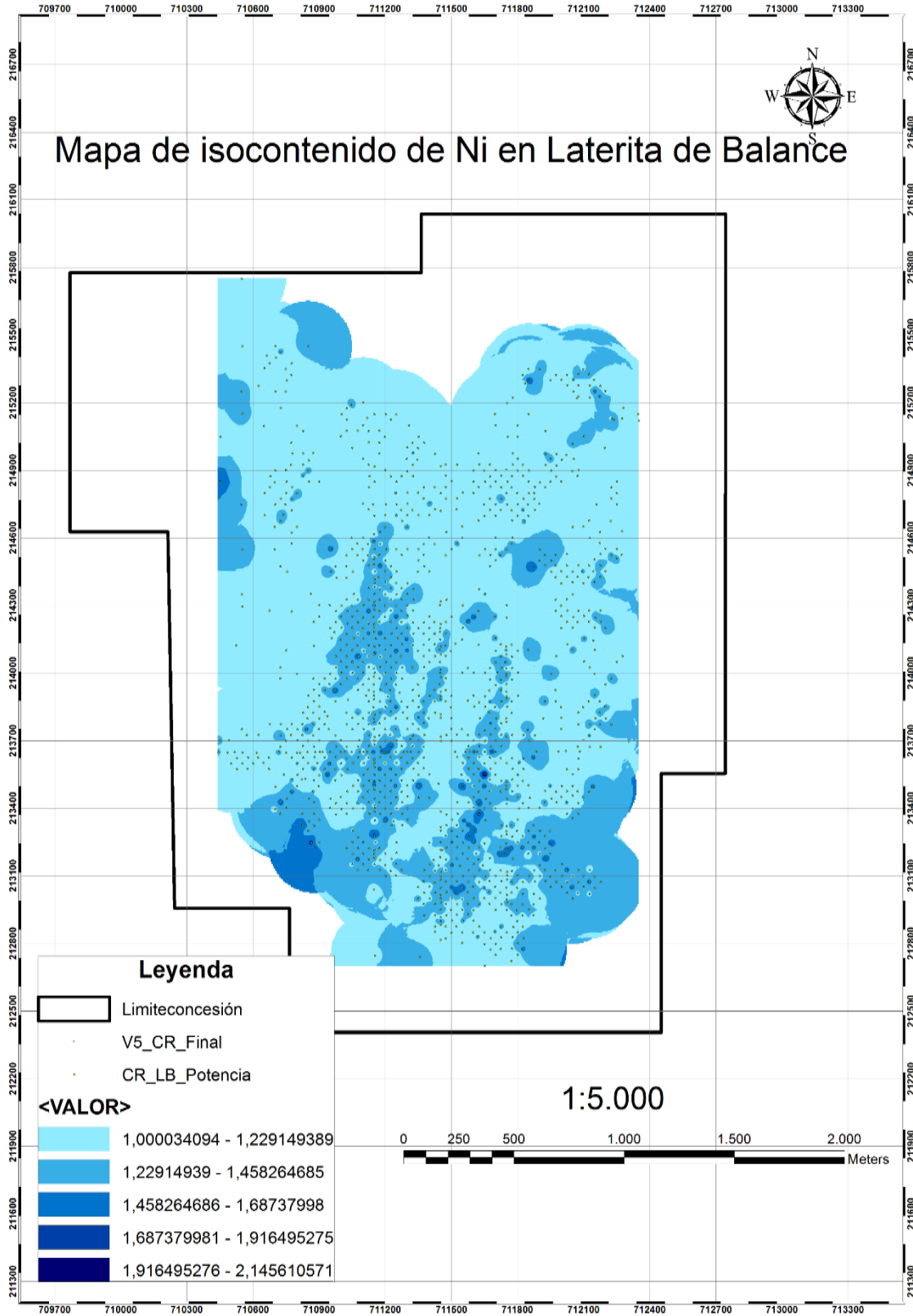


Figura No.3.5. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Ni en la LB, escala original 1: 5000.(Figueras, M. et al., 2015)

Los mayores contenidos de Fe se encuentran al norte y sureste del sector, varían de 50 a 53.76 %, en esas áreas el basamento está constituido por rocas de los complejos mantélico y transicional; los menores contenidos que se localizan al noreste, noroeste y suroeste con valores desde 35 % hasta 38.83 %, se localizan en áreas donde las rocas del basamento pertenecen al complejo oceánico como son gabro, gabro pegmatita, gabro olivínico, gabro troctolita, y rocas del complejo transicional, como se puede observar en la figura 1.4 y 3.6

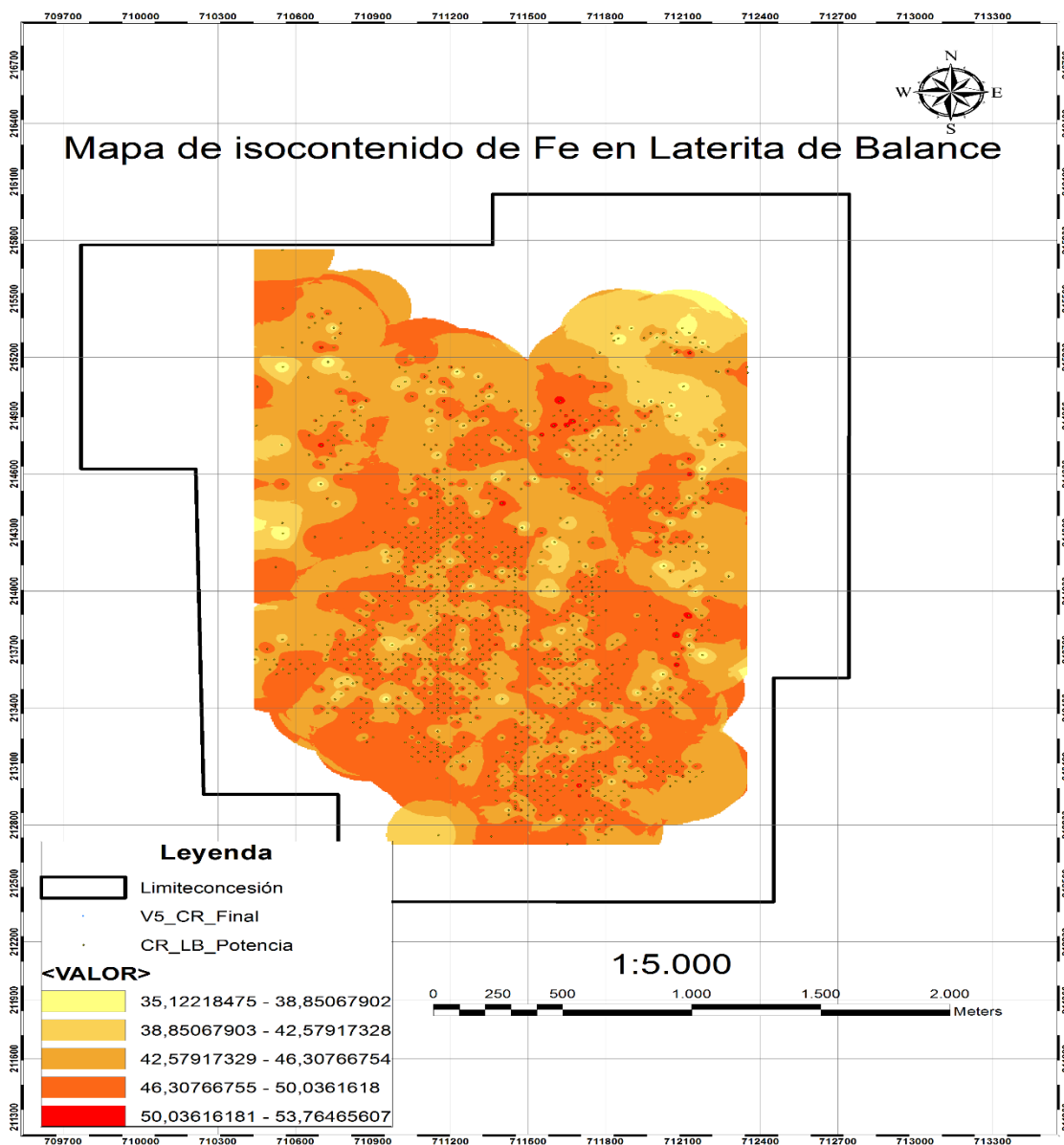


Figura No.3.6. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Fe en la LB, escala original 1: 5 000.(Figueras, M. et al., 2015)

Los mayores contenidos de Co ubicados al noroeste, sur y centro del sector investigado, varían de 0.75 a 0.94 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejo mantélico y metamórfico; los menores porcentajes que se encuentran en gran medida dispersos por toda el área varían de 0.015 a 0.20 % y el basamento en estas zonas está constituido por rocas del complejo oceánico, como se visualiza en las figuras 1.4 y 3.7.

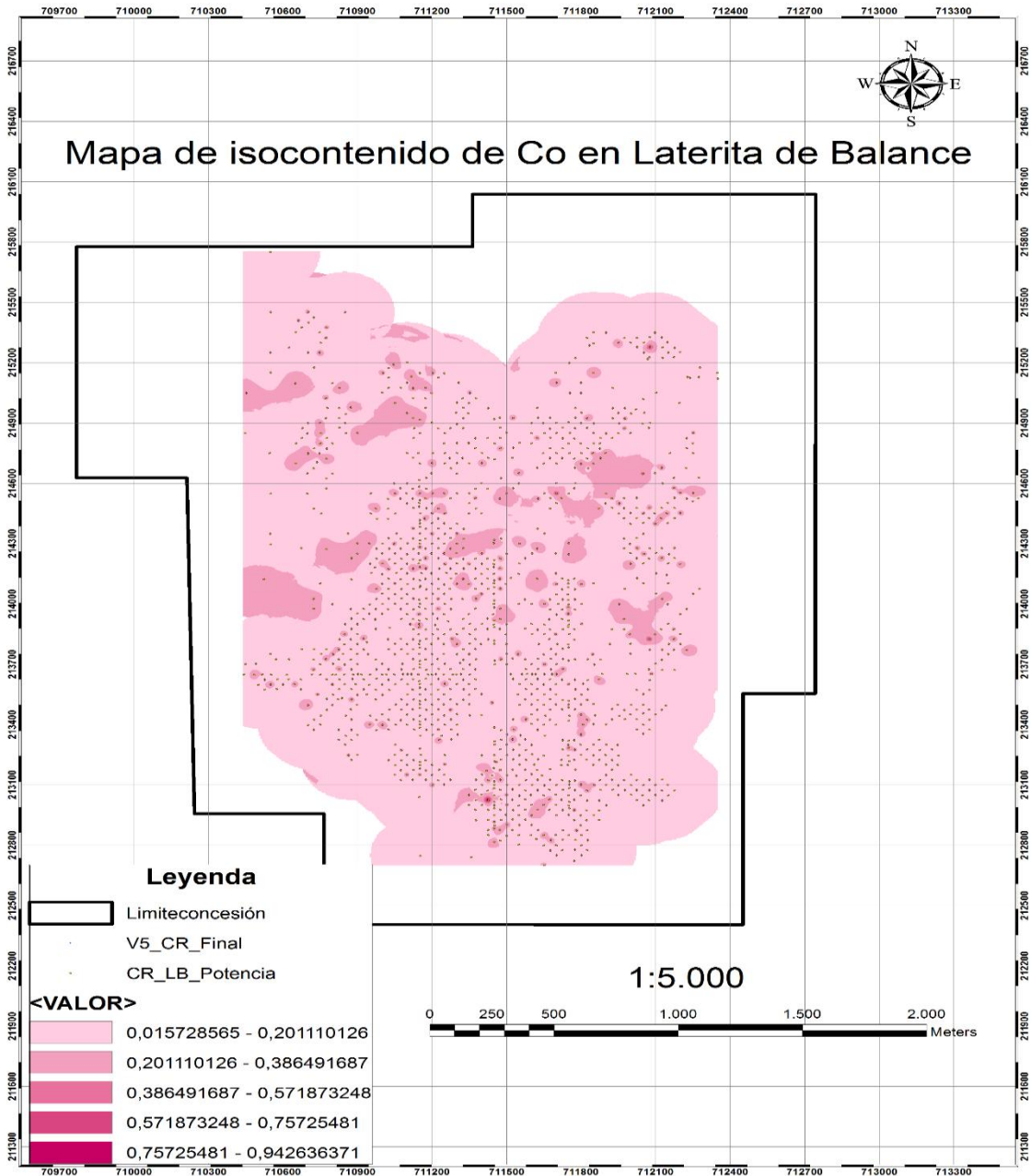


Figura No.3.7. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Co en la LB, escala original 1: 5 000.(Figueras, M. et al., 2015)

Los mayores contenidos de los componentes nocivos del sector se encuentran en áreas en las que el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos transicional y oceánico y en menor medida el metamórfico; el complejo de menor incidencia en cuanto al porcentaje de elementos nocivos en el sectores el mantélico.

Los mayores contenidos de Al se encuentran al noreste, noroeste y centro del sector con porcentajes que varían de 6.45 a 9.87 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos transicional y oceánico; los menores contenidos ubicados hacia el centro y el sureste del sector oscilan entre 1.33 y 3.04 %, se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico, como se observa en las figuras 1.4 y 3.8.

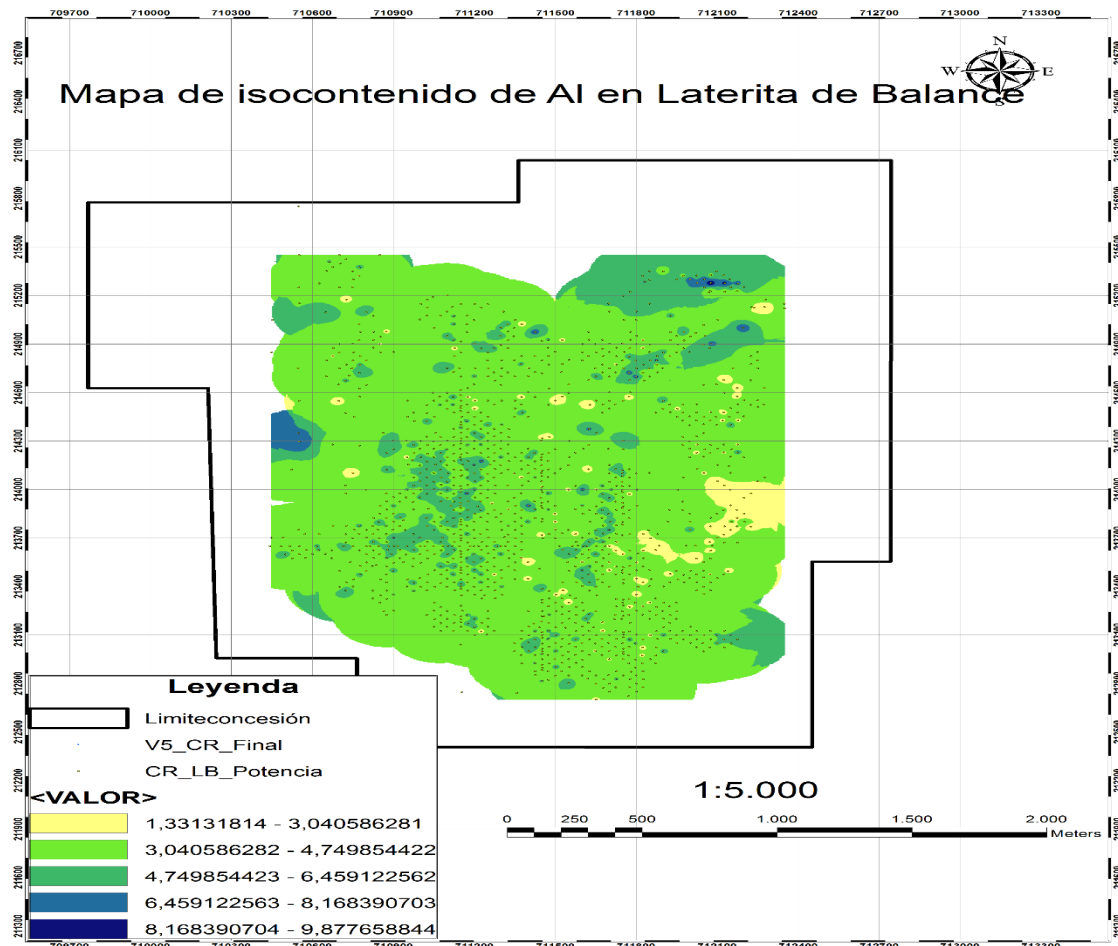


Figura No.3.8. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Al en la LB, escala original 1: 5 000. (Figueras, M. et al., 2015)

Los mayores contenidos de Mg se encuentran de forma puntual por toda el área de estudio predominando al norte, noroeste y sureste del sector, varían de 5.18 a 8.53 %, donde las rocas que conforman el basamento pertenecen al complejo transicional; los bajos contenidos se encuentran ubicados al centro y sur del área fundamentalmente y oscilan entre 0.12 y 1.80 %, donde las rocas que conforman el

basamento pertenecen al complejo mantélico, como se aprecia en las figuras 1.4 y 3.9.

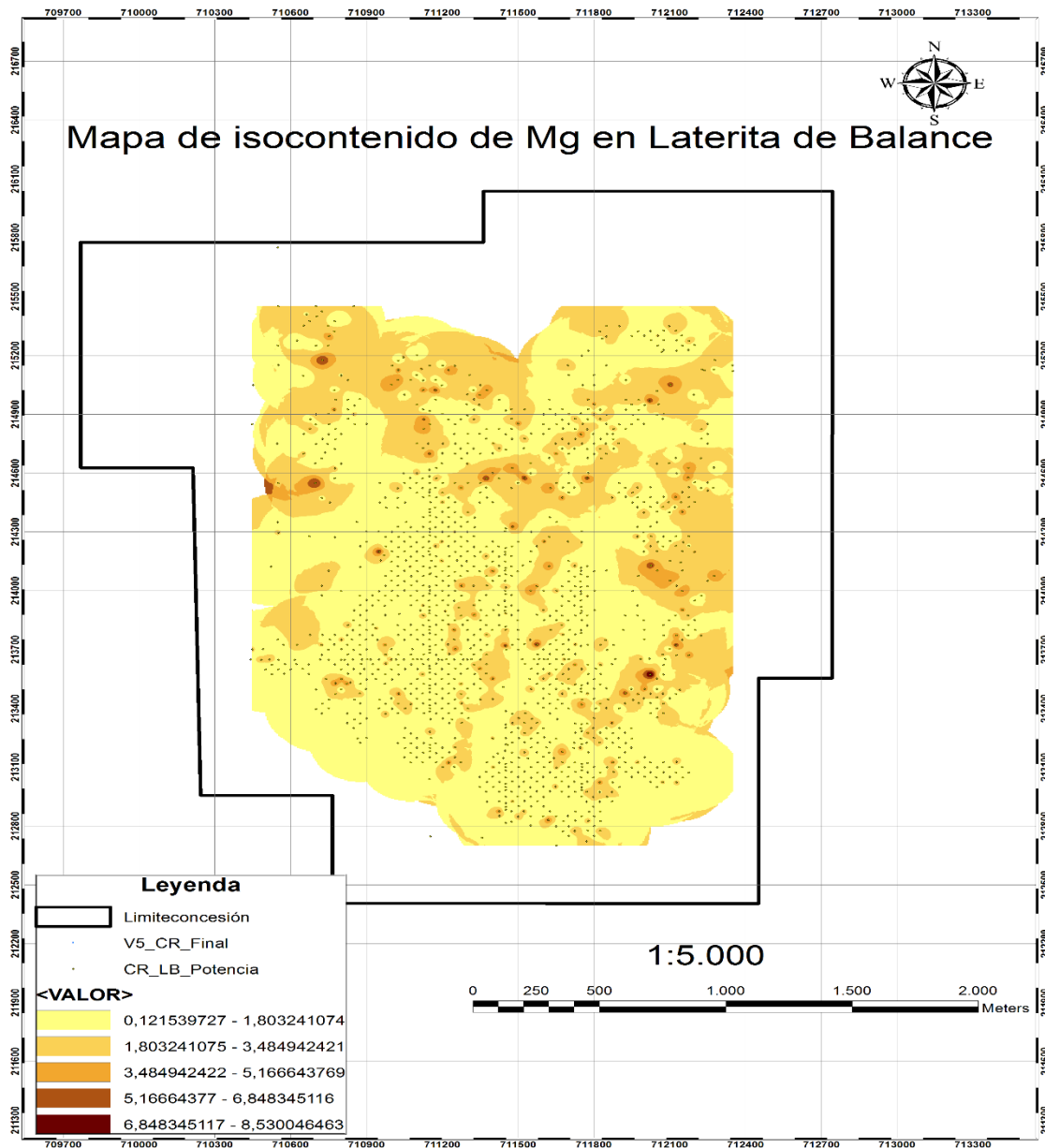


Figura No.3.9. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Mg en la LB, escala original 1: 5 000. (Figueras, M. et al., 2015)

Los mayores contenidos de Si ubicados al noreste, suroeste, sureste y centro del área varían de 17.17 a 21.14 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos oceánico, transicional y metamórfico; los menores contenidos están distribuidos por toda la región de estudio, en mayor medida hacia el centro y sur con valores de 1.31 a 5.27 %, estos



se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas pertenecientes al complejo mantélico, como se visualiza en las figuras 1.4 y 3.10.

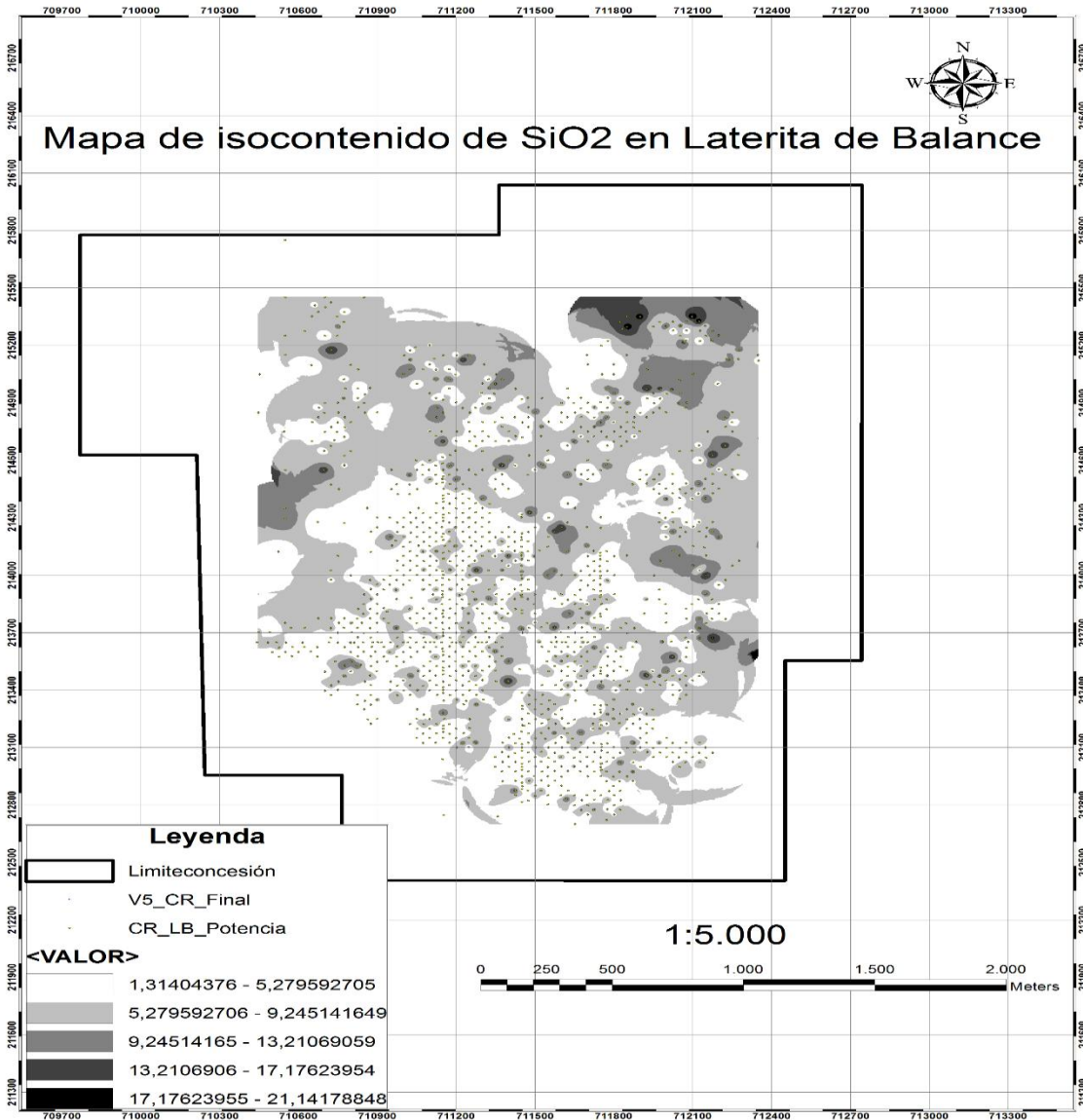


Figura No.3.10. Fotografía del mapa de distribución del contenido de SiO<sub>2</sub> en la LB, escala original 1: 5 000. (Figueras, M. et al., 2015)

Otros elementos que se evaluaron para determinar los rasgos geoquímicos del horizonte menífero de Laterita de Balance en la corteza de intemperismo fueron el Mn y el Cr donde los mayores contenidos de Mn ubicados al noreste y sur del sector varían de 3.41 a 4.22 %, se encuentran donde las rocas que conforman el basamento pertenecen al complejo oceánico; los menores contenidos se encuentran



dispersos por toda el área, varían de 0.19 a 0.99 % y se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico, como se observa en las figuras 1.4 y 3.11.

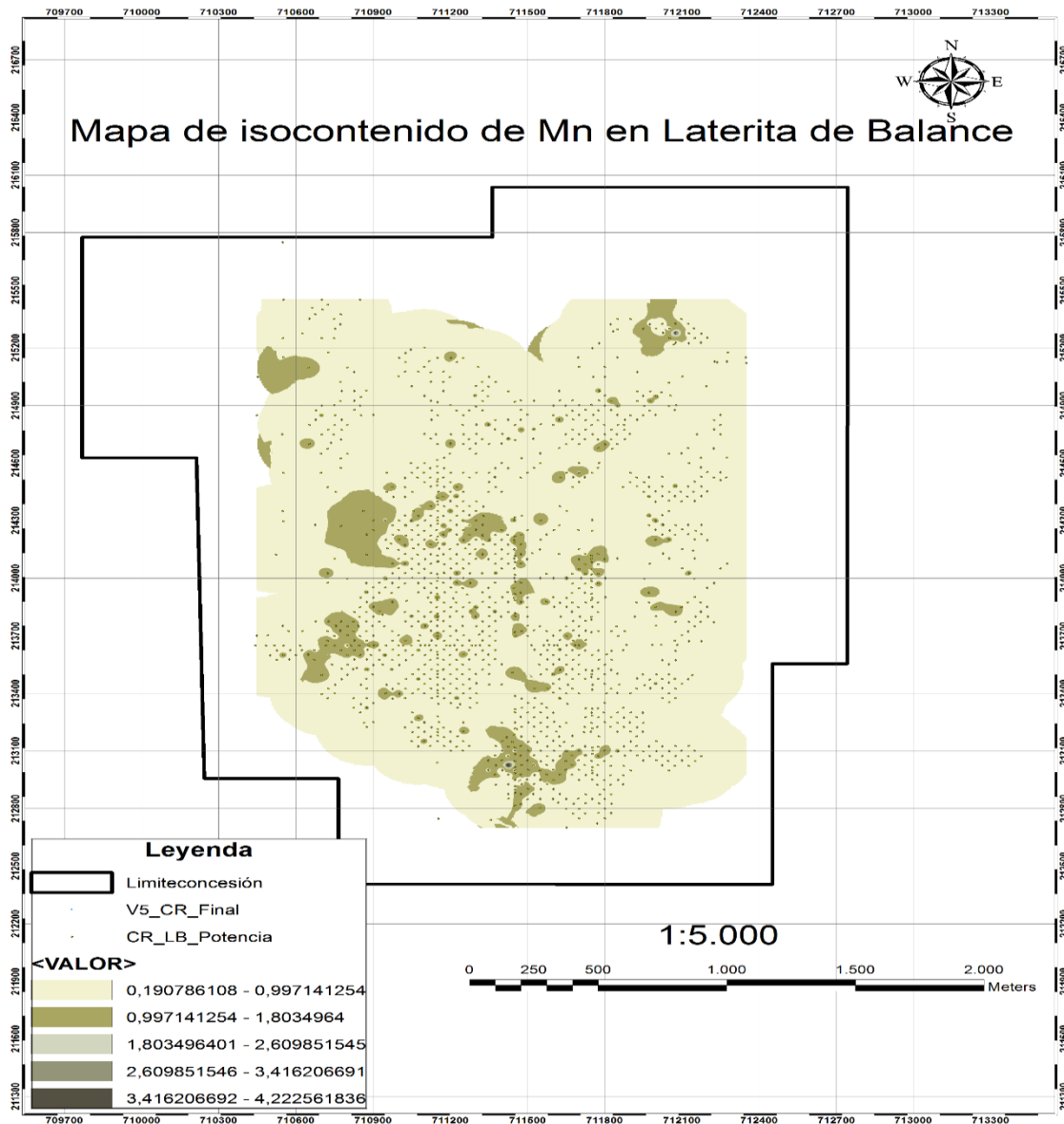


Figura No.3.11. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Mn en la LB, escala original 1: 5 000. (Figueras, M. et al., 2015)

Los mayores y menores contenidos de Cr se encuentran ubicados al noreste del sector fundamentalmente, con valores de 2.76 a 3.39 % y de 0.21 a 0.84 % respectivamente; los mayores contenidos se presentan en áreas donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo transicional y

los menores contenidos donde el basamento está constituido por rocas del complejo oceánico, esto se debe a la presencia de varios complejos en un mismo sector del área investigada, como se visualiza en las figura 1.4 y 3.12.

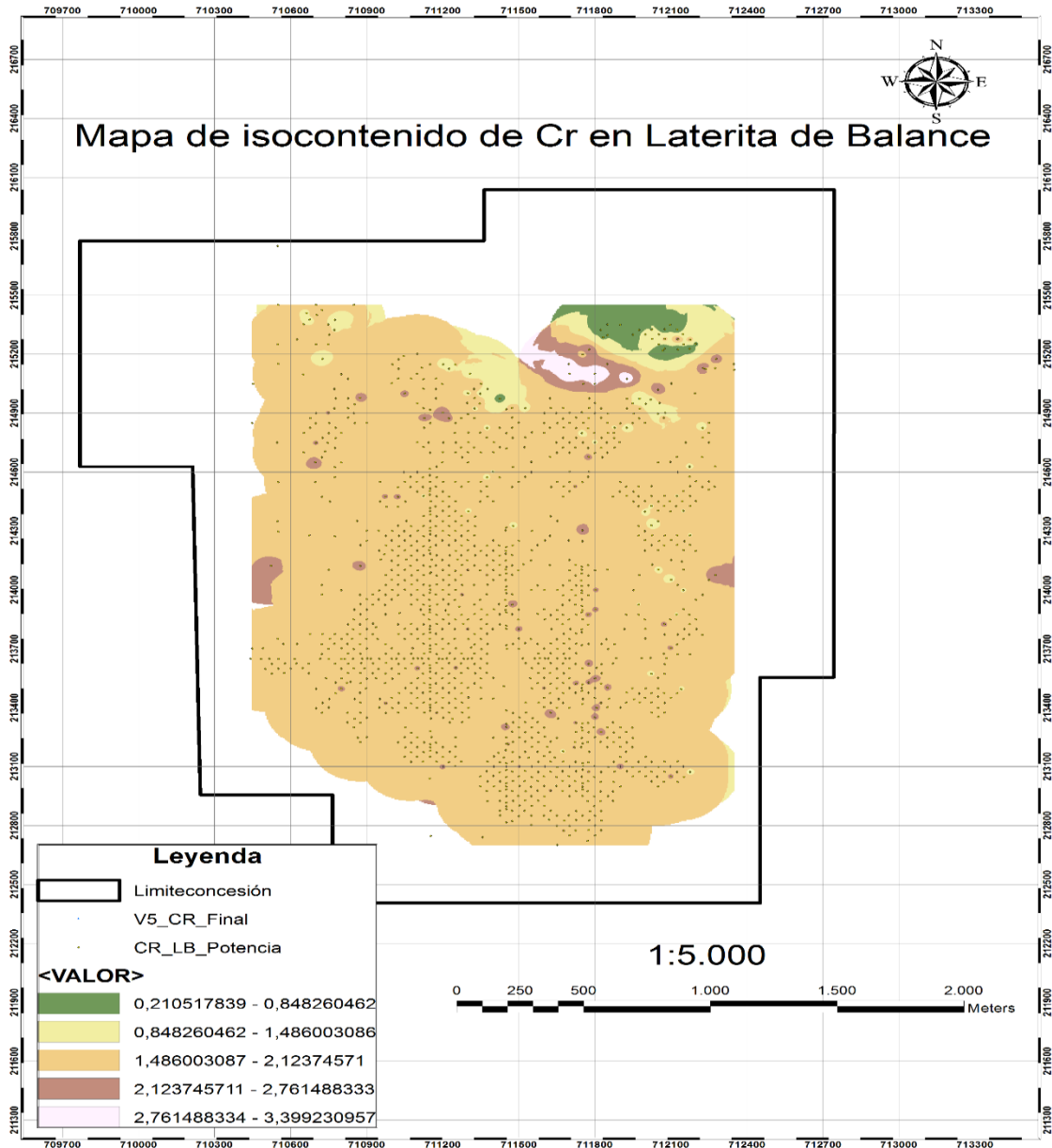


Figura No.3.12. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Cr en la LB, escala original 1: 5 000. (Figueras, M. et al., 2015)

La mayor potencia del horizonte menífero de Laterita de Balance en el sector subicaal centro y sur, varía de 13.96 a 19.72 m, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por el complejo mantélico con la presencia de rocas como, harzburgita serpentizada, dunita y la serpentinita que aunque es una

roca metamórfica se agrupa en este complejo debido a su bajo grado de alteración, como se observa en las figuras 1.4 y 3.13.

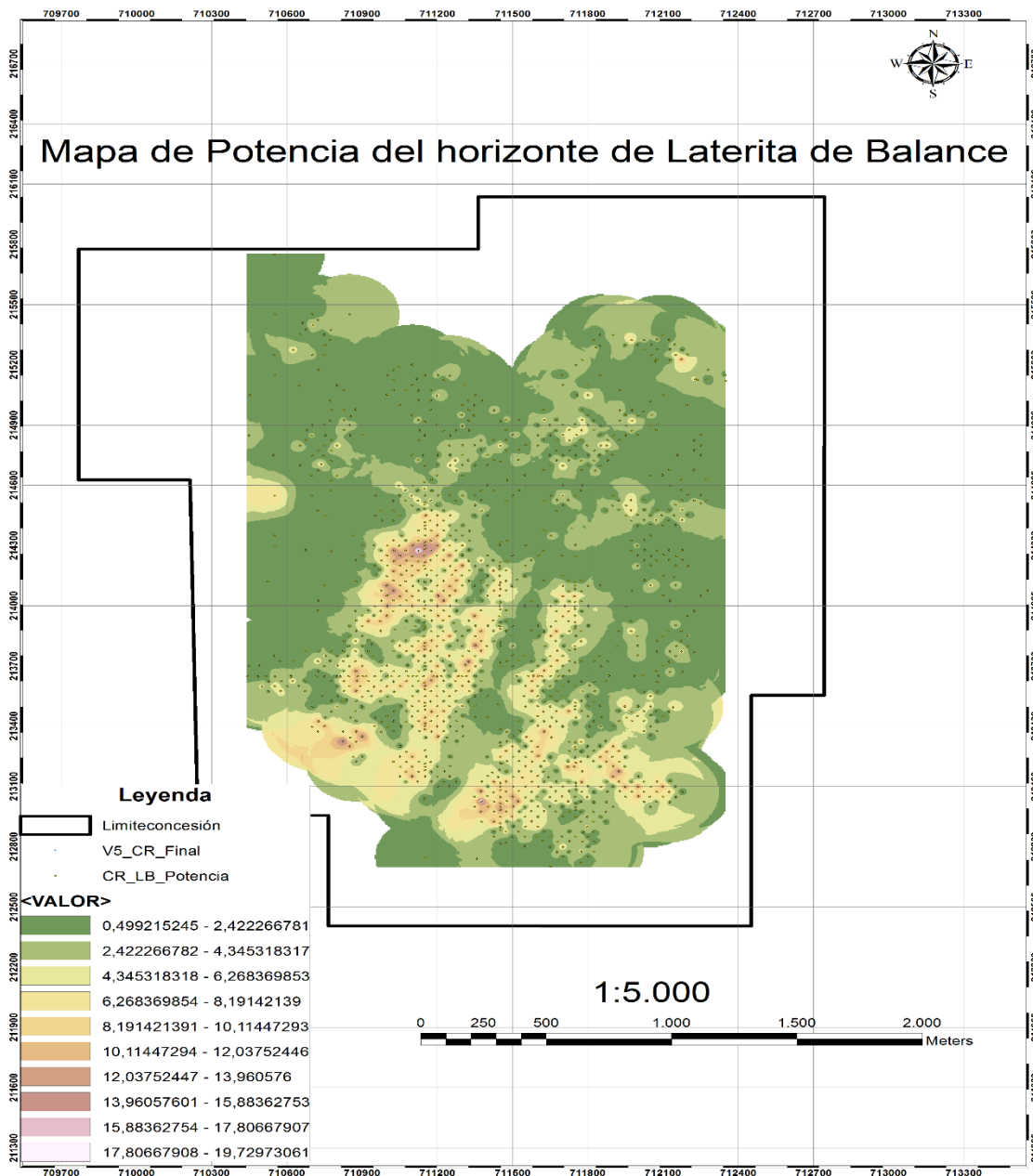


Figura No.3.13. Fotografía del mapa de potencia del horizontes de LB, escala original 1: 5 000. (Figueras, M. et al., 2015)

### 3.4 Análisis de la distribución de los componentes principales Ni, Fe, Co y nocivos Al, Si, Mg en el horizonte de Saprolita de Balance (SB)

El horizonte de saprolita de balance en el sector Cantarrana está formado por una zona la que se explica a continuación:

### **Serpentinita lixiviada desintegrada (RML)**

La zona de serpentinita lixiviada desintegrada ubicada en el horizonte saprolítico de la corteza de intemperismo se caracteriza por ser una roca fragmentosa arcillosa de consistencia semidura, con procesos de ocretización, se manifiesta en forma notable los rasgos de la estructura de la roca madre, estos fragmentos consisten en partes de la roca madre, algunos fuertemente lixiviados con una coloración variable desde blanco verdoso hasta verde con tonalidades parduscas, donde la granulometría predominate es  $< 0.15$  mm y la composición mineralógica principal corresponde a la goethita, con presencia significativa de lizardita, clorita y minerales arcillosos. (Ruíz, R. et al., 2015)

En el horizonte saprolítico del sector, los componentes principales Ni, Fe, Co están distribuidos por toda el área de estudio, los mayores contenidos se encuentran donde el basamento está formado por rocas de los complejos mantélico y transicional, mientras que los menores contenidos se encuentran donde el basamento está formado por rocas del complejo oceánico.

Los mayores contenidos de Ni se encuentran en la región central, sureste y suroeste del sector con valores que oscilan entre 2.45-2.81 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico dentro de las cuales se encuentran la serpentinita, harzburgita serpentinizada, dunita; los menores contenidos ubicados al norte del sector presentan valores entre 1.00 y 1.36 %, se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo transicional como harzburgita y dunita serpentinizada, dunita plagioclásica y metasomatita, como se observa en la figura 1.4 y el anexo10.

Los mayores contenidos de Fe ubicados al norte y centro del sector varían de 3.56 a 34.87 %, se encuentran en las áreas donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas pertenecientes al complejo transicional; los

menores contenidos ubicados al centro y sur con valores de 13.30 a 17.62 %, en esta áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo oceánico como gabro, gabro pegmatita, gabro olivínico, gabro troctolita, y rocas del complejo transicional, tal como se observa en la figura 1.4 y el anexo 11.

Los mayores contenidos de Co se encuentran al sur, centro y suroeste del sector con valores de 0.30-0.37 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas pertenecientes al complejo mantélico; los menores contenidos se encuentran en gran medida dispersos donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo transicional, con valores de 0.01 a 0.08 %, como se aprecia en la figura 1.4 y anexo 12.

Los mayores contenidos de los componentes nocivos del sector investigado en el horizonte de SB se encuentran en las áreas donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas que componen los complejos transicional, oceánico y mantélico, el complejo que menor incidencia tiene en cuanto a las altas concentraciones de nocivos es el metamórfico, compuesto por rocas ultrabasitas, ultramafitas y troctolitas.

Los mayores contenidos de Al ubicados al noreste, noroeste y suroeste del sector varían de 9.85 a 15.79 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos transicional y oceánico; los menores contenidos dispersos por toda el área de estudio varían de 0.95 a 3.91 %, se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico, como se visualiza en la figura 1.4 y el anexo 13.

Los mayores contenidos de Mg se ubican al noroeste, sureste, suroeste y centro del sector y varían de 11.05 a 18.17 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico; los menores contenidos se encuentran al noreste y sureste del área fundamentalmente, con valores entre 0.37 y 3.99 %, se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos transicional y oceánico, como se observa en la figura 1.4 y el anexo 14.

El comportamiento geoquímico de Si es muy generalizado en toda el área con elevados contenidos ubicados al noreste, suroeste, centro y sur del sector con valores de 32.11 a 39.74 %, en áreas donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos oceánico, transicional y mantélico; los menores contenidos, ubicados al noroeste y suroeste de la región de estudio con valores de 1.59 a 9.22 % se encuentra en áreas en las que el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo metamórfico, como se visualiza en la figura 1.4 y anexo 15.

Otros elementos que se evaluaron para definir los rasgos geoquímicos del horizonte de Saprolita de Balance en la corteza de intemperismo fueron el Mn y el Cr donde los mayores contenidos de Mn ubicados al noroeste, suroeste y sur del sector que varían de 0.65 a 1.30 %, se encuentran donde las rocas del basamento pertenecen al complejo mantélico; los menores contenidos dispersos por toda el área de estudio y un sector muy puntual al noroeste varían de 0.19 a 0.39 %, se encuentran donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo transicional, como se observa en la figura 1.4 y el anexo 16.

Los mayores y menores contenidos de Cr se encuentran ubicados al noreste del sector fundamentalmente, con valores de 2.17 a 2.67 % y de 0.19 a 0.68 % respectivamente; los mayores contenidos se presentan en áreas donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo transicional y los menores contenidos donde el basamento está constituido por rocas del complejo oceánico, esto se debe a la presencia de varios complejos en un mismo sector del área investigada, como se aprecia en la figura 1.4 y el anexo 17.

La mayor potencia del horizonte de Saprolita de Balance en el sector investigado se ubica al sureste, con valores de 6.66 a 11.00 m, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por el complejo mantélico con la presencia de rocas como, harzburgita serpentinizada, dunita y la serpentinita, y el complejo transicional compuesto por rocas como harzburgita y dunita serpentinizada, dunita plagioclásica y metasomatita como se observa en la figura 1.4 y el anexo 18.

### **3.5 Análisis de la distribución de los componentes principales y nocivos del sector Cantarrana.**

A continuación se realizará un análisis por cada elemento químico evaluado en esta investigación y sus rasgos geoquímicos característicos.

#### **Níquel (Ni)**

Los mayores contenidos de Ni están ubicados en la región central y sureste del sector, donde se pueden encontrar valores hasta 2.81 %, en esas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas que pertenecen al complejo mantélico como, harzburgitas serpentinizadas, dunita y la serpentinita que aunque es una roca metamórfica se ubica en este complejo debido a su bajo grado de alteración; coincidiendo estas regiones en los tres horizontes del sector, es decir, E, LB, SB y los menores contenidos en áreas en las que el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas tales como gabro, gabro troctolita, gabro olivínico y gabro pegmatita, pertenecientes al complejo oceánico.

Los mayores contenidos se encuentran en el horizonte de SB y esto se debe a la existencia de la fase mineral principal: goethita, que se presenta primeramente en su variedad de goethita alfa la que es metaestable, por lo que capta cationes para alcanzar estabilidad física y química, y una vez que cristaliza a goethita beta libera el Ni<sup>++</sup> que tiene adherido que migra desde la superficie hacia las menas saprolíticas.

#### **Hierro (Fe)**

Los mayores y menores contenidos de Fe se encuentran distribuidos por todo el sector en los tres horizontes E, LB y SB.

Los mayores contenidos de este elemento se encuentran en la zona de E debido al proceso de meteorización que ocurre en las rocas sobre la cual se desarrolló la corteza de intemperismo ya que presentan tendencias que se pueden traducir como el incremento de concentración de Fe en las partes lateríticas del corte y sobre todo en la zona superficial de concreciones de Fe (OICP), y la disminución paulatina del contenido en los productos saprolíticos, es decir, SB, que marcan los estadios primarios de la meteorización, lo que explica los altos contenidos de Fe en

Escombro y los bajos contenidos del mismo en Sapolita de Balance. Los mayores contenidos de este elemento se encuentran en las áreas en las que el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico como la harzburgita serpentinizada, dunita y serpentinita, y al complejo transicional compuesto por rocas como harzburgita y dunita serpentinizada, dunita plagioclásica y metasomatita. Los menores contenidos se encuentran en áreas en las que el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por el complejo oceánico con rocas como gabro, gabro troctolita, gabro olivínico y gabro pegmatita; estas características coinciden en las tres horizontes estudiados en la investigación E, LB, SB.

### **Cobalto (Co)**

Los mayores contenidos de Co se encuentran al centro, sur y al noroeste del sector investigado, con contenidos hasta 0.94 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas que pertenecen al complejo mantélico dentro de las cuales se encuentran la harzburgita serpentinizada, dunita y serpentinita; las menores concentraciones se encuentran fundamentalmente en los extremos sur, este y norte del sector, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejo transicional tales como harzburgitas y dunitas serpentinizadas, matasomatitas, dunitas plagioclásicas, y el complejo oceánico, estos resultados son los mismos en las tres horizontes estudiadas E, LB, SB. Estos elevados contenidos se encuentran mayormente concentrados en los horizontes de E y LB debido a la presencia de fases minerales amorfas como asbolada y litioforita presentes en estos horizontes.

### **Aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

Los mayores contenidos de este elemento se encuentran ubicados en la región noreste y central del sector, alcanzando valores hasta 13 %. Los altos contenidos de aluminio se encuentran mayoritariamente en el horizonte de E, esto se debe a la meteorización de la corteza que se puede explicar mediante el incremento de aluminio en la zona superficial de concreciones de Fe (OICP) y la disminución paulatina de este elemento hacia las menas saprolíticas, es decir, SB.





Los mayores contenidos de los componentes nocivos del sector se encuentran en las áreas en las que el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos transicional y oceánico y en menor medida el metamórfico; el complejo de menor incidencia en cuanto a altos contenidos de Al en esta zona es el mantélico.

Estos elevados contenidos de componentes nocivos conllevan un alto consumo de ácido en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión para el tratamiento de las menas, por tanto perjudican y encarecen el proceso, lo que demuestra que en los sectores donde sean altos estos contenidos no es factible explotar la mena laterítica.

### **Magnesio (Mg)**

Los elevados contenidos de Mg se encuentran en los extremos hacia el noroeste, sureste y en algunas regiones muy puntuales en todo el sector alcanzando valores hasta 18 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos mantélico y transicional, donde la meteorización provoca tendencias en el proceso que se pueden explicar a partir de la máxima concentración del contenido de Mg en los productos saprolíticos y la disminución paulatina de este contenido en las zonas superficiales de concreciones de Fe; lo que explica además que las altas concentraciones de este elemento estén ubicadas en el horizonte de Saprolita de Balance y los menos contenidos en Escombros. Los altos contenidos de Mg conllevan un alto consumo de ácido en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión para el tratamiento de las menas, por tanto perjudican y encarecen el proceso, lo que demuestra que en los sectores donde sean altos estos contenidos no es factible explotar la mena laterítica.

### **Sílice (SiO<sub>2</sub>)**

Los mayores contenidos de este elemento van a estar ubicados en los extremos, al noreste y al noroeste del sector en los horizontes de E y LB, con valores hasta 17 % y en el horizonte de SB los altos contenidos que superan los 17 % se encuentran diseminados por todo el sector en estudio, en esas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas de los complejos transicional y oceánico, y debido al proceso de meteorización que ocurre en la corteza de intemperismo

surge una disminución paulatina del contenido de sílice en las zonas superficiales de concreciones de Fe (OICP) y la máxima concentración del contenido en los productos saprolíticos, que marcan los estadios primarios de la meteorización.

Estas elevadas concentraciones de sílice conllevan un alto consumo de ácido en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión para el tratamiento de las menas, por tanto perjudican y encarecen el proceso, lo que demuestra que en los sectores donde sean altos estos contenidos no es factible explotar la mena laterítica.

### **Manganeso (Mn)**

Los mayores contenidos de este elemento se encuentran en la región central y en algunos sectores muy puntuales del sector, con valores que no exceden los 1.80 %, en estas áreas el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas que pertenecen al complejo mantélico dentro de las cuales se encuentran la harzburgita serpentinizada, dunita y serpentinita; y los menores contenidos se encuentran dispersas por toda la región, en áreas en las que el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas que pertenecen a los complejos transicional, oceánico y metamórfico.

### **Cromo (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

Los mayores contenidos del trióxido divalente de cromo se encuentran fundamentalmente al noreste del sector, donde además se encuentran las menores concentraciones, esto se debe a la presencia de varios complejos en una misma región, donde las mayores concentraciones se encuentran en áreas en las que el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo transicional como harzburgita y dunita serpentinizada, dunita plagioclásica y metasomatita, y las menores al complejo oceánico con rocas como gabro, gabro pegmatita, gabro olivínico, gabro troctolita.

### **3.5.1 Áreas con mayores perspectivas para la explotación de las menas lateríticas en el sector Cantarrana.**

A continuación se realizará un resumen de los resultados obtenidos en base a las áreas más perspectivas para la explotación minera del sector Cantarrana.

### **Horizonte menífero de Laterita Balance**

Por la distribución espacial de los elementos principales Fe, Ni, Co en el horizonte de Laterita de Balance, además de los datos proporcionados en el mapa de potencia en este sector se demuestra que las áreas más perspectivas para la explotación de las menas lateríticas son las regiones ubicadas en la porción central y sur del sector Cantarrana ya que la presencia de los elementos nocivos se ve afectada principalmente en las regiones al norte.

### **Horizonte de Saprolita de Balance**

Por la distribución espacial de los elementos principales Fe, Ni, Co en el horizonte de Saprolita de Balance, además de los datos proporcionados en el mapa de potencia en este sector se demuestra que las áreas más perspectivas para la futura explotación de las menas saprolíticas son las regiones ubicadas en la porción central y sur del sector Cantarrana y la presencia de los elementos nocivos en este horizonte está situada en las mismas regiones donde son elevados los contenidos de los elementos principales, por tanto conllevaría, en caso de su explotación, un alto consumo de ácido en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión para el tratamiento de las menas.

## **3.6 Caracterización de los perfiles típicos de la corteza de intemperismo en función de la roca de basamento.**

Para la caracterización de los perfiles típicos de la corteza de intemperismo en función de la roca de basamento del sector Cantarrana se confeccionaron los gráficos donde se visualiza la variación y distribución de los contenidos de los elementos químicos en profundidad y se realizaron representaciones gráficas verticales teniendo en cuenta los pozos perforados en sectores con valores anómalos de elementos principales hierro (Fe), níquel (Ni), cobalto (Co) y de elementos nocivos aluminio (Al), magnesio (Mg) y dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>). En los

anexos se puede observar el comportamiento geoquímico de otros elementos como el cromo ( $Cr_2O_3$ ) y manganeso (Mn).

Para otorgarle mayor representatividad a los gráficos se multiplicaron los valores en por cientos del Ni y el Co por 10 y 100 respectivamente. Además se presentan gráficos verticales de los pozos estudiados para determinar redistribución en los mismos.

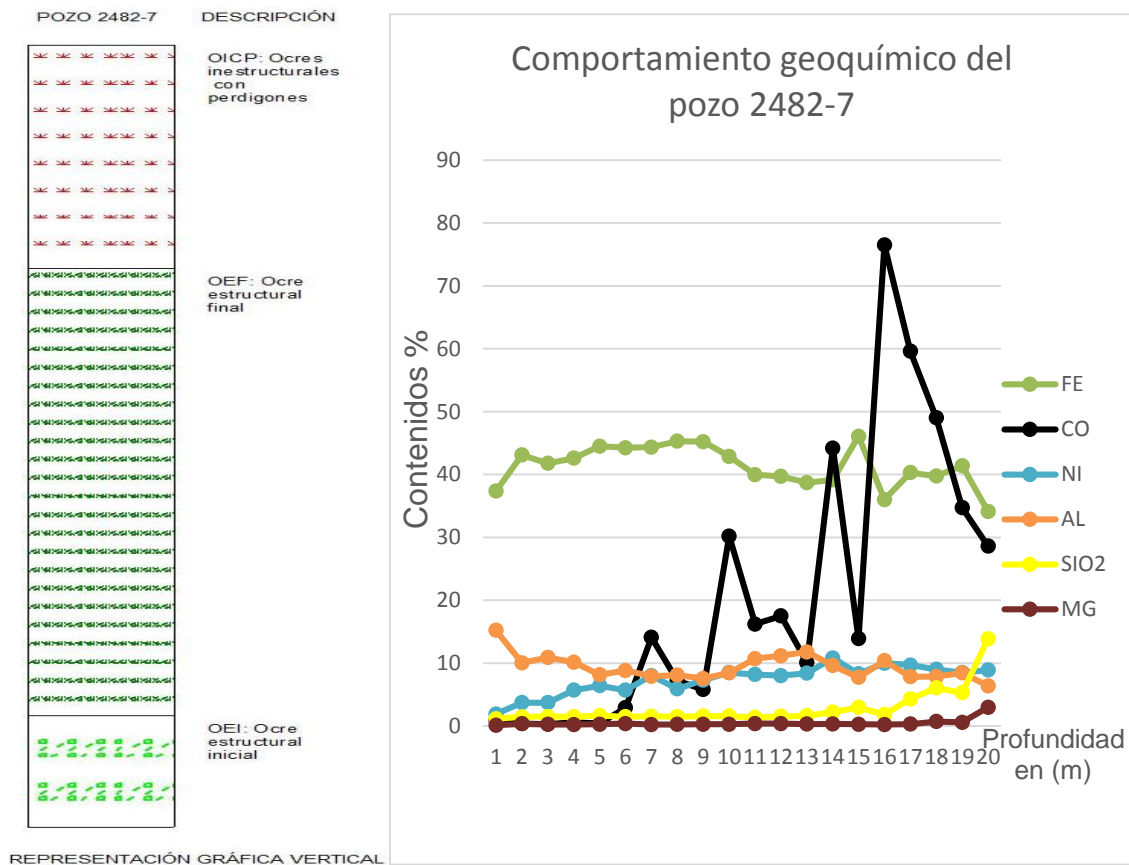


Figura No.3.14. Representación gráfica vertical y gráfico de distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2482-7. Valor anómalo tomado en mapa de potencia del horizonte de Escombros.

El pozo 2482-7 reveló un comportamiento normal de los elementos principales y nocivos hasta los 19 metros (m), la sílice ( $SiO_2$ ) y el magnesio (Mg) aumentan su contenido a medida que aumenta la profundidad y el hierro (Fe) se mantiene por encima de 35 % típico del Escombros (E) y de la Laterita de Balance (LB) y a partir de los 19 m comienza a descender el contenido de este elemento pero no por debajo

del 30 %. Hasta los 7 m de profundidad se puede ver el horizonte de Escombros (E) con presencia de ocre inestructural con perdigones hasta esta profundidad con un comportamiento de níquel (Ni) inferior a 0.50 %; luego aumenta lo que indica que hay una transición hacia la (LB) como se observa en la representación gráfica vertical la aparición de ocre estructural final dando paso al horizonte menífero, existe un aumento a los 14 m de 1.08 % que será el contenido más alto que alcanzará este elemento en el pozo, como se observa en la figura 3.14.

Los valores de cobalto (Co) son bastante estables, por debajo de 0.80 %, el aluminio (Al) presenta su contenido más alto en los primeros metros del pozo y luego comienza a descender y se mantiene por debajo de este por ciento como se visualiza en la figura 3.15.

En el gráfico de distribución de los contenidos de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y manganeso (Mn) en el anexo 19 se muestra como el cromo disminuye en profundidad y el Mn aumenta. Este pozo se perforó donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo transicional específicamente dunita serpentizada.

Desde	Hasta	Fe	Co	Ni	Al	SiO <sub>2</sub>	Mg	Mn	Cr
0	1	37,35	0,009	0,19	15,21	1,14	0,12	0,24	1,09
1	2	43,1	0,004	0,37	10,04	1,45	0,36	0,09	2,24
2	3	41,78	0,003	0,37	10,88	1,5	0,26	0,08	1,59
3	4	42,6	0,006	0,57	10,16	1,48	0,22	0,1	1,17
4	5	44,5	0,004	0,64	8,13	1,65	0,28	0,1	1,56
5	6	44,26	0,029	0,57	8,82	1,48	0,38	0,3	1,84
6	7	44,35	0,141	0,8	7,91	1,54	0,23	0,77	1,11
7	8	45,3	0,072	0,59	8,09	1,47	0,26	0,54	1,15
8	9	45,22	0,058	0,73	7,55	1,58	0,27	0,41	1,48
9	10	42,88	0,302	0,85	8,45	1,57	0,27	1,53	1,52
10	11	39,98	0,162	0,82	10,7	1,37	0,38	0,95	2,16
11	12	39,7	0,175	0,8	11,16	1,51	0,37	1,03	1,77
12	13	38,7	0,101	0,84	11,78	1,62	0,3	0,72	1,93
13	14	39,14	0,442	1,08	9,62	2,21	0,33	2,52	2
14	15	46,08	0,139	0,83	7,74	2,95	0,28	1,05	1,45
15	16	36	0,765	1	10,37	1,83	0,23	4,26	1,44
16	17	40,32	0,596	0,97	7,83	4,29	0,31	3,73	1,39
17	18	39,76	0,49	0,9	7,87	6,05	0,71	3,03	1,44
18	19	41,4	0,347	0,85	8,44	5,3	0,59	2,14	1,37
19	20	34,1	0,286	0,89	6,37	13,86	2,97	1,87	1,34

Figura No.3.15. Tabla de los contenidos principales y nocivos del pozo 2482-7

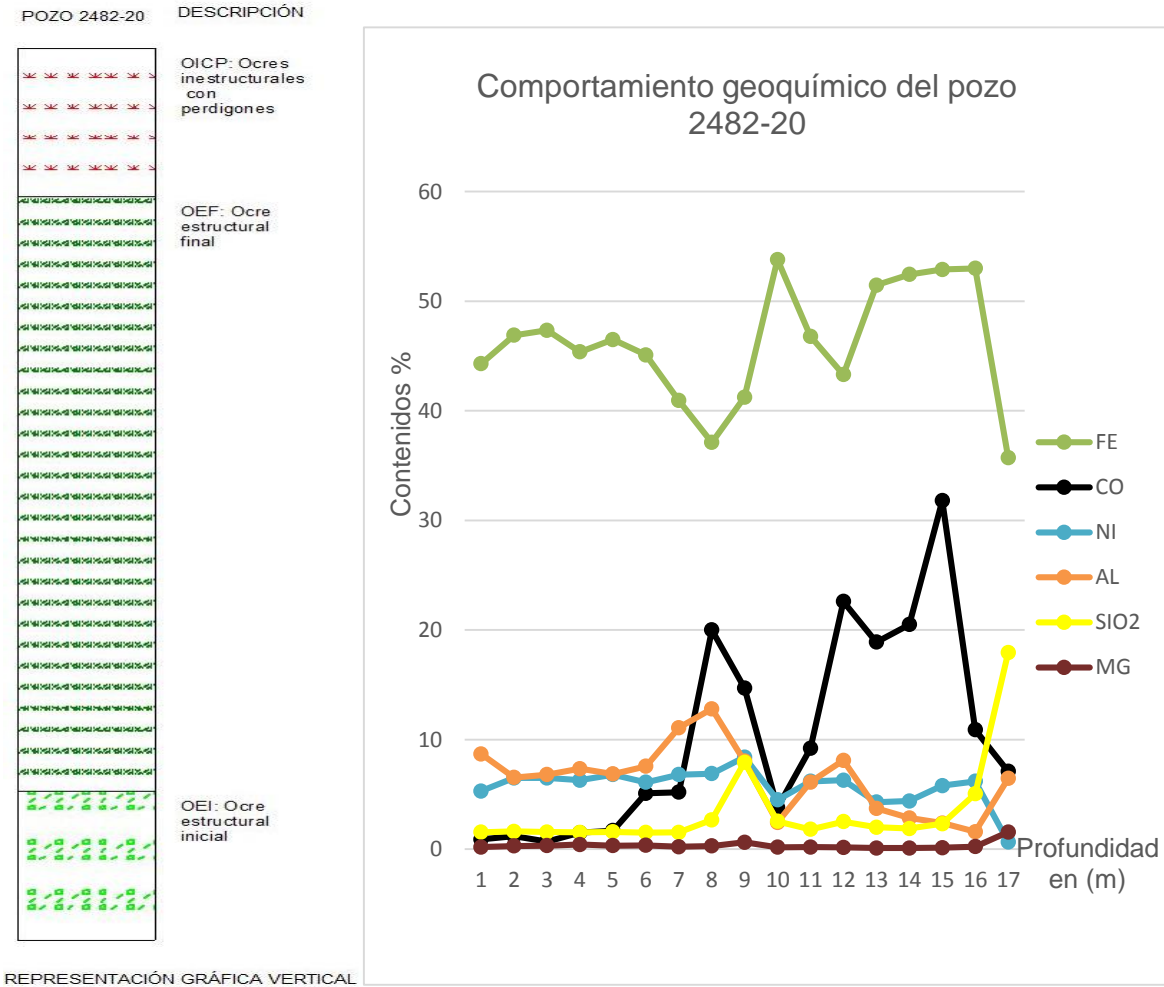


Figura No.3.16. Representación gráfica vertical y gráfico de distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2482-20. Valor anómalo tomado en mapa de potencia del horizonte de Escombro.

En el pozo 2482-20 se aprecia un comportamiento normal de los elementos útiles y perjudiciales, donde el Fe mantiene valores superiores al 35 %, típico de los horizonte de E y LB. Los elementos nocivos de SiO<sub>2</sub> y Mg se mantienen constantes en todo el pozo y comienzan a subir el contenido de sus valores en profundidad, pero no alcanzando valores que demuestren presencia del horizontesaprolítico como se observa en la figura 3.13. Los contenidos de Ni se mantienen en todo el pozo muy por debajo del 0.90 %.A los 5 m de profundidad se observa un cambio en el comportamiento de los elementos principales y nocivos, como se observa en la figura 3.16 se debe a la transición hacia el horizonte menífero de Laterita de Balance con presencia de ocre estructural final.

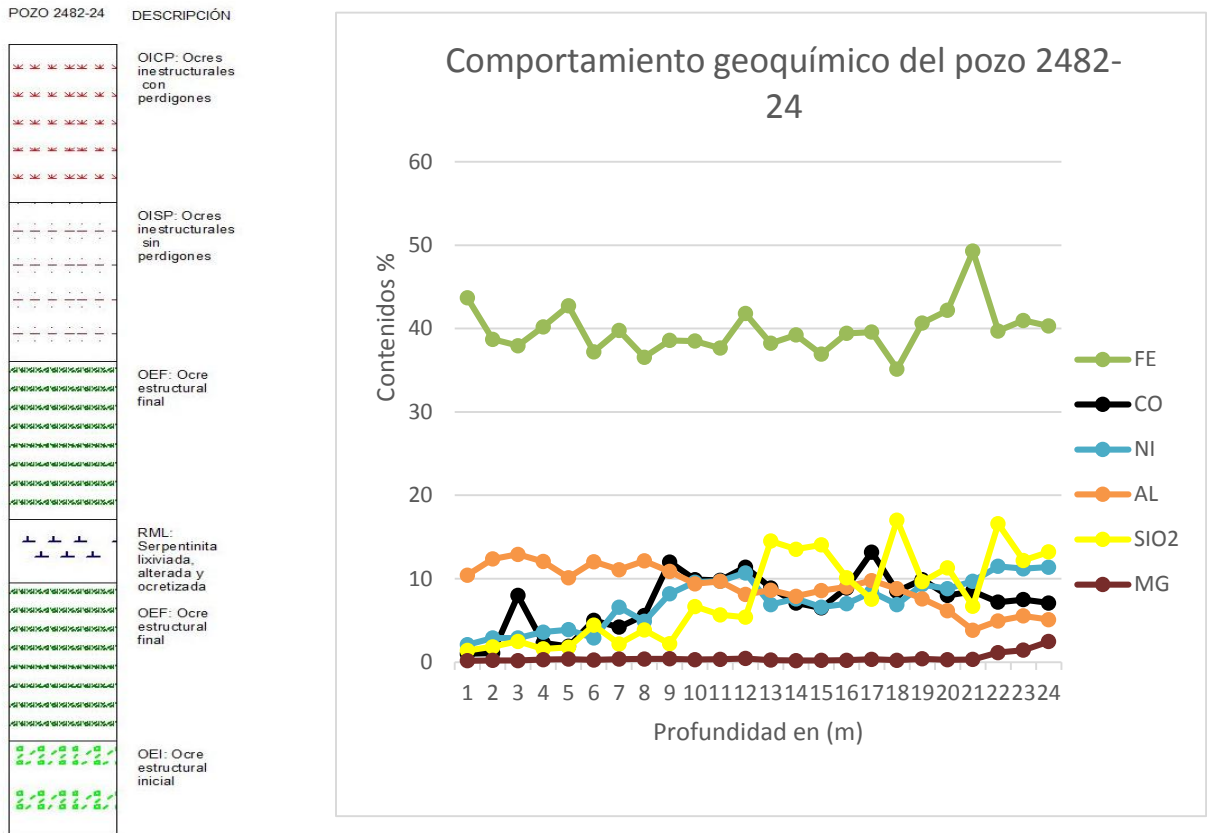
Los contenidos de Co son estable, con valores inferiores a 0.35 % en todo el pozo, el Al se mantiene constante hasta los 7 m donde aumenta a 10 % pero luego descienden a los 9 m y se mantienen por debajo de este rango hasta el final del pozo como se visualiza en la figura 3.17.

El gráfico de distribución de los contenidos de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y manganeso (Mn) expone al cromo disminuyendo en profundidad y el Mn aumentando, tal como se observa en el anexo 20. Este pozo se perforó donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico específicamente serpentinita.

Desde	Hasta	Fe	Co	Ni	Al	SiO <sub>2</sub>	Mg	Mn	Cr
0	1	44,3	0,009	0,53	8,69	1,55	0,19	0,24	1,08
1	2	46,9	0,012	0,65	6,55	1,63	0,3	0,23	1,66
2	3	47,35	0,007	0,65	6,81	1,57	0,33	0,21	1,71
3	4	45,38	0,015	0,63	7,34	1,53	0,42	0,22	2,14
4	5	46,5	0,017	0,68	6,86	1,58	0,33	0,25	1,81
5	6	45,1	0,051	0,61	7,56	1,52	0,35	0,45	1,65
6	7	40,94	0,052	0,68	11,08	1,53	0,22	0,44	1,47
7	8	37,12	0,2	0,69	12,81	2,68	0,3	1,06	1,56
8	9	41,25	0,147	0,84	8,03	7,93	0,63	0,88	1,07
9	10	53,8	0,038	0,45	2,44	2,54	0,18	1,13	0,53
10	11	46,8	0,092	0,62	6,12	1,81	0,19	0,81	1,29
11	12	43,3	0,226	0,63	8,1	2,52	0,17	1,24	0,99
12	13	51,47	0,189	0,43	3,73	2	0,11	1,46	0,54
13	14	52,44	0,205	0,44	2,85	1,89	0,1	1,48	0,46
14	15	52,89	0,318	0,58	2,38	2,33	0,14	1,87	0,46
15	16	53	0,109	0,62	1,6	5,05	0,24	0,94	0,39
16	16,5	35,73	0,071	0,66	6,45	17,94	1,57	0,56	0,27

Figura No.3.17. Tabla de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2482-20.





REPRESENTACIÓN GRÁFICA VERTICAL DEL POZO 2482-24

Figura No.3.18. Representación gráfica vertical y gráfico de distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2482-24. Valor anómalo tomado en mapa de potencia del horizonte de Escombros

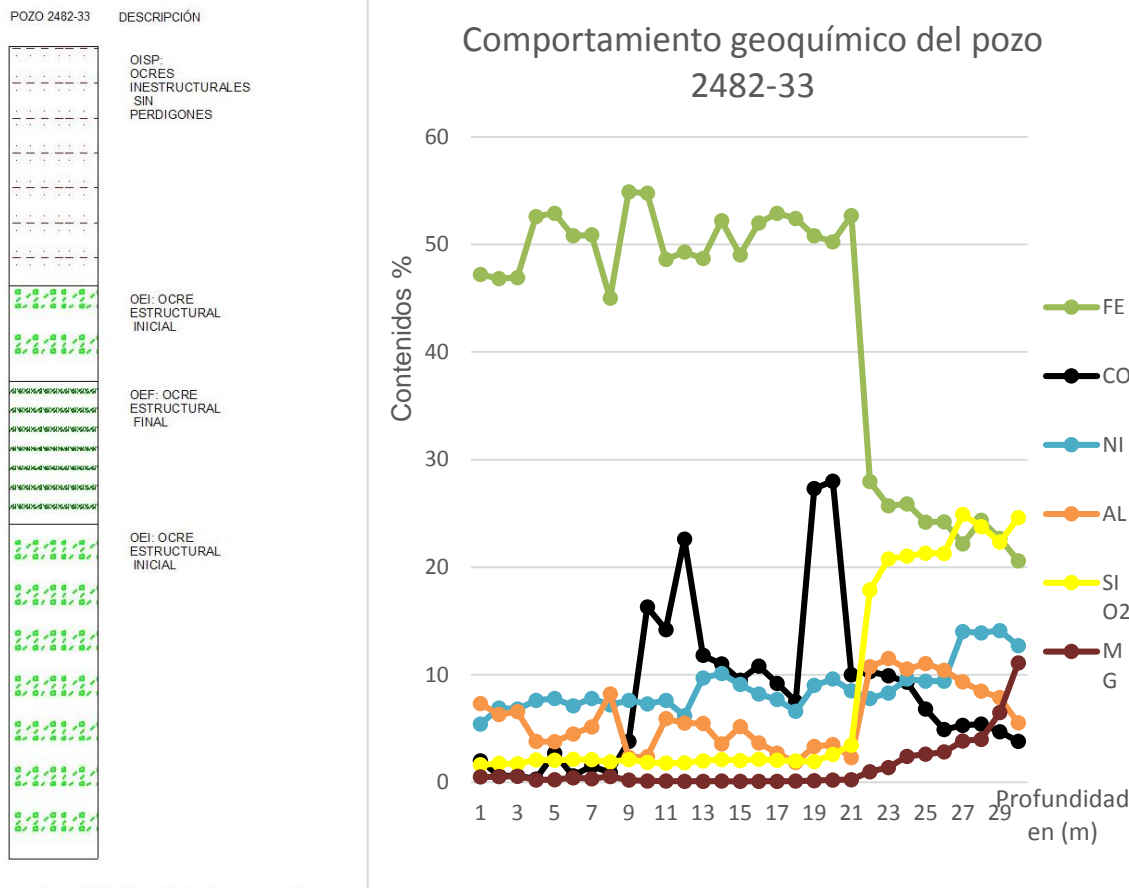
En el pozo 2482-24 se aprecia un comportamiento normal de los elementos principales y nocivos hasta la profundidad de 10 m donde el Al comienza a disminuir sus valores por debajo de 10 % y el SiO<sub>2</sub> comienza a ascender su contenido, mientras que el Mg aumenta su contenido a medida que aumenta la profundidad. La transición de horizonte de E a LB se ve bien desarrollado en la profundidad de 8 m donde el SiO<sub>2</sub> aumenta y el Al disminuye, además se puede observar en la representación gráfica vertical del pozo al comenzar el horizonte de Ocre estructural final (OEF). Los contenidos de Fe se mantienen por encima de 35 % en todo el pozo típico de los horizontes de E y LB. Desde los 13 a los 15 metros de profundidad podemos observar una intercalación de serpentinita lixiviada, alterada y agrietada (RML) dentro del horizonte de OEF, por lo que confirma una redeposición de la corteza, como se visualiza en la figura 3.18.

La distribución de los contenidos de níquel (Ni) es inferior a 1% hasta los 8 m donde ascienden a 1.07 %, ocurre la transición de horizonte de E a LB y luego vuelve a bajar de 1 % hasta llegar a los 21 m donde comienza a ascender gradualmente a partir de 0.97 %. Los valores de Co son bastante estables por debajo de 0.15 %, como se visualiza en la figura 3.19.

En el gráfico de distribución de los contenidos de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y manganeso (Mn) el cromo disminuye en profundidad y el Mn aumenta como se observa en el anexo 21. Este pozo se perforó donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico específicamente serpentinita.

Desde	Hasta	Fe	Co	Ni	Al	SiO <sub>2</sub>	Mg	Mn	Cr
0	1	43,68	0,01	0,21	10,44	1,41	0,18	0,23	0,95
1	2	38,71	0,011	0,29	12,38	1,84	0,21	0,17	1,58
2	3	37,94	0,008	0,29	12,93	2,49	0,2	0,14	1,59
3	4	40,21	0,023	0,36	12,07	1,6	0,3	0,24	1,56
4	5	42,73	0,019	0,39	10,12	1,79	0,37	0,29	1,87
5	6	37,21	0,005	0,29	12,04	4,44	0,27	0,11	2,05
6	7	39,77	0,042	0,66	11,09	2,19	0,37	0,33	1,86
7	8	36,56	0,056	0,49	12,14	3,86	0,39	0,32	2,13
8	9	38,58	0,12	0,82	10,88	2,2	0,4	0,62	1,85
9	10	38,5	0,099	0,96	9,41	6,68	0,31	0,69	1,19
10	11	37,66	0,098	0,97	9,68	5,67	0,35	0,69	1,5
11	12	41,8	0,114	1,07	8,12	5,39	0,45	0,78	1,79
12	13	38,23	0,089	0,69	8,63	14,52	0,25	0,76	0,72
13	14	39,24	0,071	0,76	7,9	13,55	0,19	0,7	0,46
14	15	36,93	0,065	0,66	8,57	14,07	0,22	0,64	0,5
15	16	39,43	0,089	0,7	9,02	10,12	0,24	0,66	0,8
16	17	39,58	0,132	0,84	9,79	7,54	0,34	0,76	1,31
17	18	35,15	0,085	0,69	8,81	17,03	0,23	0,69	0,45
18	19	40,68	0,099	0,93	7,59	9,65	0,4	0,69	1,56
19	20	42,19	0,08	0,88	6,17	11,31	0,28	0,72	0,49
20	21	49,29	0,085	0,97	3,83	6,71	0,33	0,82	0,38
21	22	39,72	0,072	1,15	4,95	16,6	1,16	0,64	0,22
22	23	40,97	0,075	1,12	5,54	12,2	1,43	0,64	0,52
23	23,5	40,3	0,071	1,14	5,1	13,22	2,47	0,65	0,47

Figura No.3.19. Tabla de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2482-24.



REPRESENTACIÓN GRÁFICA VERTICAL DEL POZO 2482-33

Figura No.3.20. Representación gráfica vertical y gráfico de distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2482-33. Valor anómalo tomado en mapa de potencia del horizonte de Escombro

La distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2482-33 es normal hasta los 21 m de profundidad, donde el SiO<sub>2</sub> y el Mg comienzan a aumentar gradualmente y el Fe disminuye su contenido por debajo del 30 %. Se puede observar una pequeña anomalía desde los 9 hasta los 13 metros de profundidad donde el Co aumenta conjuntamente con el Ni y se puede apreciar en la representación gráfica vertical la presencia del horizonte de ocre estructural inicial (OEI) antes de la aparición del ocre estructural final (OEF) lo que nos indica una redeposición de la corteza por la intercalación de horizontes. Los contenidos de Ni se mantienen por debajo de 1 % hasta la profundidad de 13 m donde ascienden a 1.01



% y luego vuelve a descender hasta los 26 m donde aumenta considerablemente su contenido, como se observa en la figura 3.20.

Los contenidos de Co son estables, con valores inferiores a 0.12 % en todo el pozo, el Al se mantiene por debajo del 10 % hasta los 22 m de profundidad donde eleva su contenido superior a 10 % y luego comienza a descender hasta el final del pozo como se observa en la figura 3.21.

El gráfico de distribución de los contenidos de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y manganeso (Mn) en el pozo se puede observar en el anexo 22. Este pozo se perforó donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico específicamente serpentinita.

Desde	Hasta	Fe	Co	Ni	Al	SiO <sub>2</sub>	Mg	Mn	Cr
0	1	47,21	0,02	0,54	7,31	1,62	0,49	0,27	2,46
1	2	46,83	0,006	0,69	6,29	1,74	0,53	0,21	2,34
2	3	46,93	0,006	0,68	6,56	1,72	0,57	0,21	2,58
3	4	52,6	0,003	0,76	3,8	2,09	0,22	0,25	0,76
4	5	52,9	0,027	0,78	3,77	2,04	0,24	0,35	0,92
5	6	50,8	0,006	0,71	4,5	2,13	0,42	0,29	1,31
6	7	50,9	0,015	0,78	5,13	2,1	0,33	0,38	1,33
7	8	45	0,009	0,72	8,2	1,89	0,54	0,27	2,53
8	9	54,9	0,038	0,76	2,33	2,11	0,2	0,83	0,57
9	10	54,77	0,163	0,73	2,39	1,85	0,13	1,28	0,45
10	11	48,6	0,142	0,76	5,91	1,77	0,11	1	0,37
11	12	49,3	0,226	0,62	5,51	1,8	0,1	1,23	0,34
12	13	48,7	0,118	0,97	5,46	2	0,09	0,89	0,35
13	14	52,2	0,11	1,01	3,56	2,11	0,11	0,92	0,29
14	15	49,04	0,095	0,91	5,17	2,03	0,08	0,84	0,33
15	16	52	0,108	0,82	3,66	2,15	0,1	1,11	0,46
16	17	52,9	0,092	0,77	2,71	2,04	0,1	0,98	0,42
17	18	52,43	0,075	0,66	1,84	1,98	0,11	1,09	0,39
18	19	50,8	0,273	0,9	3,34	1,92	0,16	1,66	0,86
19	20	50,26	0,28	0,96	3,5	2,6	0,22	1,63	0,9
20	21	52,7	0,1	0,85	2,29	3,45	0,25	1,03	0,52
21	22	27,96	0,103	0,78	10,73	17,89	0,99	0,6	2,8
22	23	25,69	0,099	0,83	11,51	20,77	1,37	0,59	2,9
23	24	25,89	0,093	0,96	10,52	21,03	2,41	0,52	2,75
24	25	24,19	0,068	0,94	11,04	21,31	2,61	0,38	3,65
25	26	24,23	0,049	0,94	10,42	21,28	2,81	0,3	3,2
26	27	22,17	0,053	1,4	9,33	24,89	3,84	0,34	2,53
27	28	24,36	0,054	1,39	8,47	23,78	3,99	0,37	2,68
28	29	22,68	0,047	1,41	7,88	22,34	6,49	0,36	3,41
29	30	20,59	0,038	1,27	5,53	24,59	11,09	0,31	2,15

Figura No.3.21. Tabla de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2482-33.

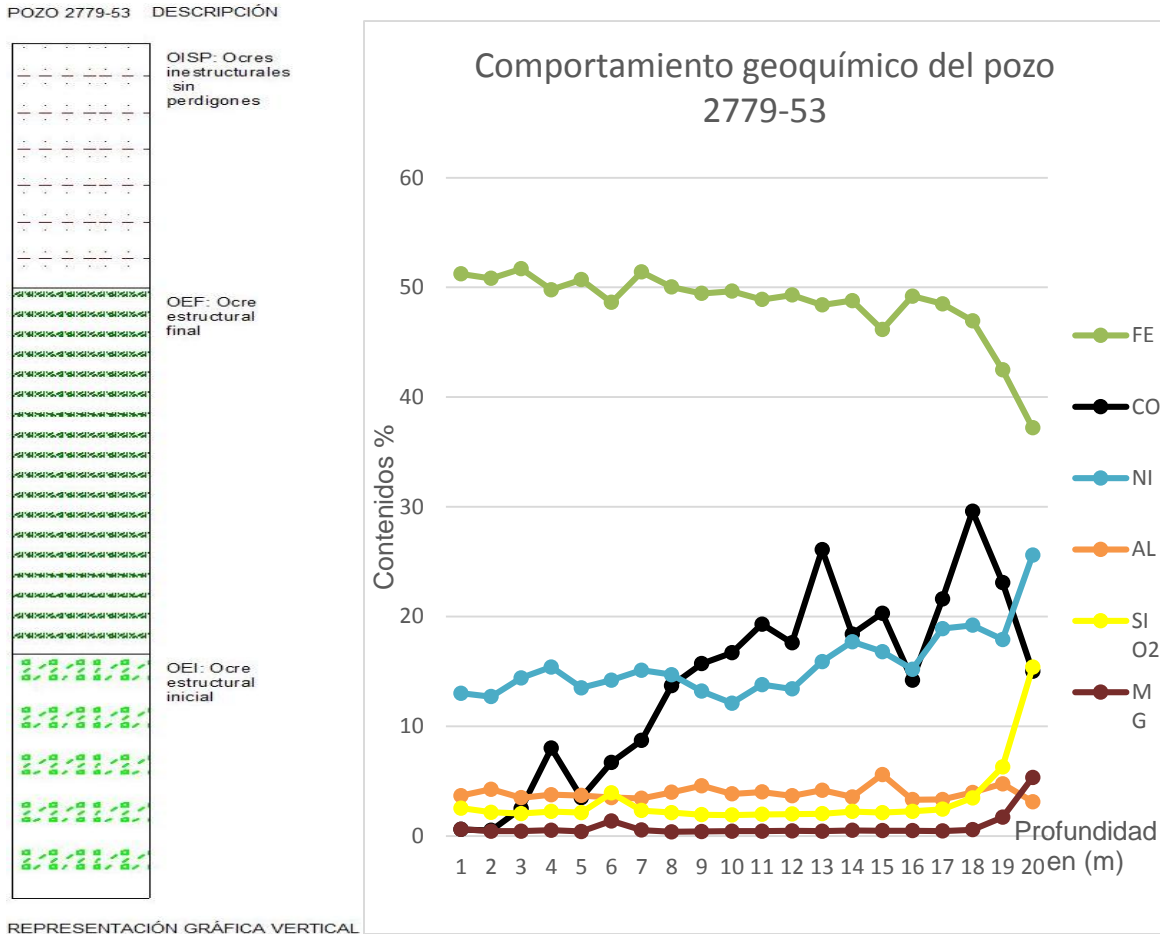


Figura No.3.22.Representación gráfica vertical y gráfico de distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2779-53.Valor anómalo tomado en mapa de potencia en Laterita de Balance.

Se aprecia la distribución de los componentes principales y nocivos en el pozo 2779-53 en la figura 3.22, donde existe un comportamiento normal de los elementos útiles y perjudiciales en todo el pozo, el Fe mantiene valores superiores al 35 % típico de los horizonte de E y LB. Los elementos nocivos de SiO<sub>2</sub> y Mg se mantienen constantes en todo el pozo y comienzan a ascender a los 19 m de profundidad pero no alcanzando valores que demuestren presencia de otro horizonte, como se puede observar en la representación gráfica vertical solo existen 2 horizontes, el de Escombro representado por ocre inestructurales con perdigones hasta los 5 m de profundidad donde ocurre la transición del horizonte menífero de Laterita de Balance representado hasta los 16 m de profundidad por ocre estructural final y luego ocre

estructural inicial, tal como se observa en la figura 3.22. Los contenidos de Ni en este pozo son elevados donde los valores oscilan entre 1.27 % y 2.56 % con los mayores valores a partir de 16 m de profundidad.

Los contenidos de Co son estables, con valores inferiores a 0.30 % en todo el pozo, el Al se mantiene constante por debajo de 6 % en todo del pozo, como se visualiza en la figura 3.23.

En el gráfico de distribución de los contenidos de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y manganeso (Mn) en el pozo, se observa como ambos contenido se mantienen de forma ascendente hasta los últimos metros donde comienzan a descender en valores, como se visualiza en el anexo 23. Este pozo se perforó donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico específicamente

Desde	Hasta	Fe	Co	Ni	Al	SiO <sub>2</sub>	Mg	Mn	Cr
0	1	51,23	0,006	1,3	3,67	2,53	0,61	0,2	1,72
1	2	50,82	0,005	1,27	4,25	2,16	0,43	0,18	1,77
2	3	51,7	0,025	1,44	3,48	2,04	0,44	0,29	1,4
3	4	49,79	0,08	1,54	3,76	2,22	0,52	0,54	1,69
4	5	50,71	0,035	1,35	3,68	2,12	0,41	0,37	1,37
5	6	48,64	0,067	1,42	3,5	3,92	1,36	0,54	1,66
6	7	51,4	0,087	1,51	3,42	2,32	0,53	0,69	1,36
7	8	50,03	0,137	1,47	3,98	2,12	0,37	0,76	1,87
8	9	49,46	0,157	1,32	4,58	1,93	0,4	0,97	1,81
9	10	49,66	0,167	1,21	3,83	1,91	0,43	1,13	1,69
10	11	48,9	0,193	1,38	4	1,96	0,44	1,19	1,77
11	12	49,3	0,176	1,34	3,65	2	0,46	1,38	1,76
12	13	48,4	0,261	1,59	4,17	2,03	0,44	1,43	1,91
13	14	48,8	0,184	1,77	3,55	2,22	0,5	1,12	2,41
14	15	46,15	0,203	1,68	5,59	2,13	0,47	1,13	2,33
15	16	49,2	0,142	1,52	3,31	2,24	0,48	1	2,69
16	17	48,5	0,216	1,89	3,32	2,43	0,45	1,44	2,18
17	18	46,96	0,296	1,92	3,97	3,46	0,56	1,58	2,2
18	19	42,48	0,231	1,79	4,75	6,29	1,7	1,31	2,1
19	20	37,2	0,15	2,56	3,12	15,39	5,33	0,81	1,84

serpentinita.

Figura No.3.23. Tabla de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2779-53.

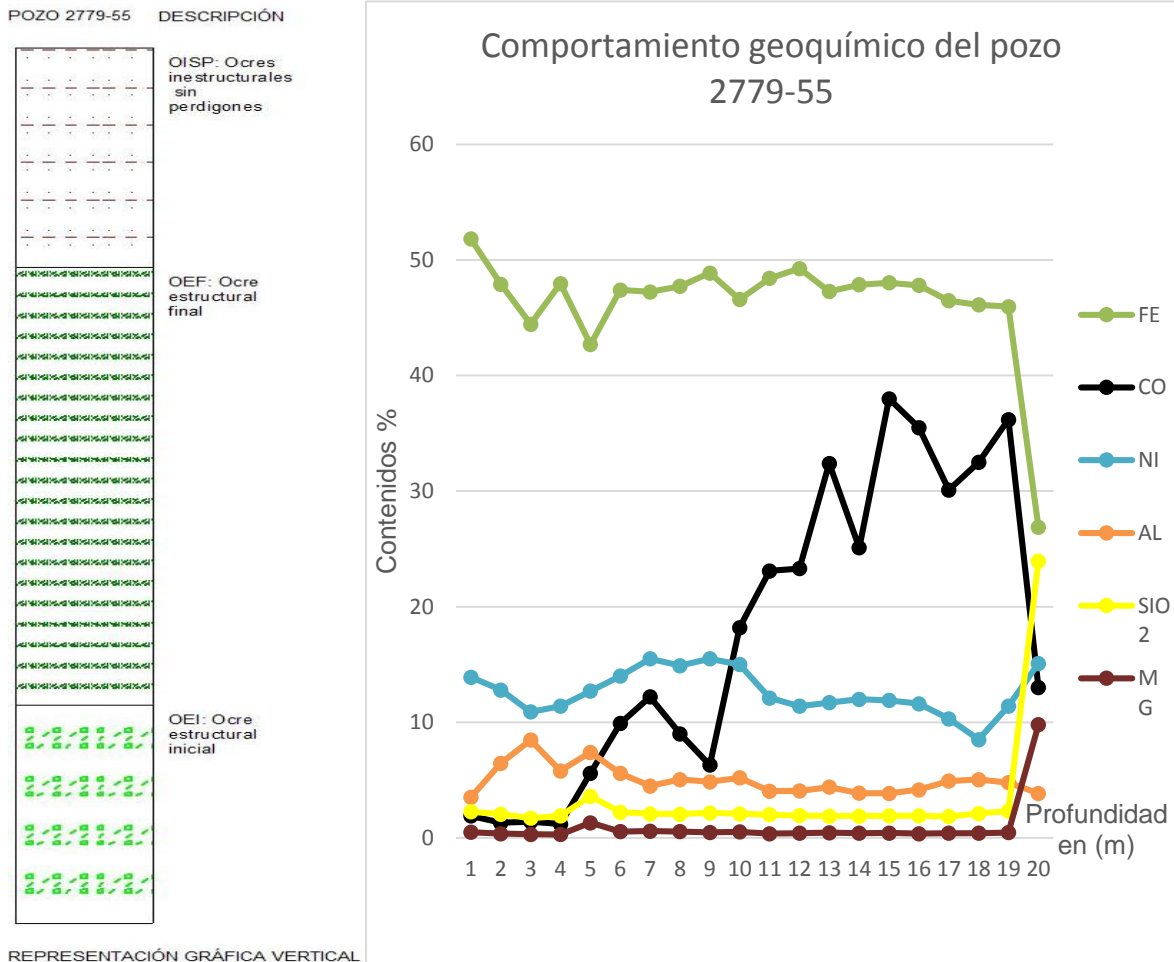


Figura No.3.24. Representación gráfica vertical y gráfico de distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2779-55. Valor anómalo tomado en mapa de potencia en Laterita de Balance.

El comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos en el pozo 2779-55 es normal hasta los 19 m de profundidad, donde el SiO<sub>2</sub> y el Mg comienzan a aumentar gradualmente y el Fe disminuye su contenido por debajo del 30 % aunque no se evidencia en la representación vertical presencia del horizonte saprolítico. Los contenidos de Ni en este pozo presenta altos contenidos donde los valores oscilan entre 1.09 % y 1.55 %, los mayores contenidos se encuentran entre los 5 y 9 metros de profundidad, como se aprecia en la figura 3.24.

Los contenidos de Co son estable, con valores inferiores a 0.40 % en todo el pozo, el Al se mantiene por debajo de 9 % en todo el pozo, como se observa en la figura 3.25.



En el gráfico de distribución de los contenidos de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y manganeso (Mn) en el pozo se aprecia como ambos contenidos se mantienen de forma ascendente hasta los últimos metros donde comienzan a descender en valores, como se visualiza en el anexo 24. Este pozo se perforó donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico específicamente serpentinita.

Desde	Hasta	Fe	Co	Ni	Al	SiO <sub>2</sub>	Mg	Mn	Cr
0	1	51,82	0,019	1,39	3,5	2,26	0,49	0,21	1,56
1	2	47,9	0,013	1,28	6,45	2,05	0,37	0,2	1,57
2	3	44,44	0,014	1,09	8,46	1,7	0,31	0,25	1,45
3	4	47,96	0,012	1,14	5,79	1,9	0,3	0,19	1,68
4	5	42,69	0,056	1,27	7,4	3,6	1,3	0,45	1,82
5	6	47,41	0,099	1,4	5,59	2,22	0,55	0,65	2,42
6	7	47,24	0,122	1,55	4,49	2,08	0,59	0,86	2,92
7	8	47,72	0,09	1,49	5,05	2,05	0,54	0,69	2,5
8	9	48,88	0,063	1,55	4,85	2,17	0,47	0,59	2,01
9	10	46,59	0,182	1,5	5,19	2,08	0,51	1,05	2
10	11	48,42	0,231	1,21	4,05	2,01	0,36	1,43	1,86
11	12	49,27	0,233	1,14	4,06	1,93	0,4	1,37	2,18
12	13	47,29	0,324	1,17	4,39	1,88	0,45	1,59	2,2
13	14	47,86	0,251	1,2	3,87	1,89	0,4	1,55	2
14	15	48,03	0,38	1,19	3,85	1,9	0,42	2,24	2,18
15	16	47,81	0,355	1,16	4,16	1,92	0,37	2,04	2,03
16	17	46,48	0,301	1,03	4,92	1,84	0,41	1,7	1,96
17	18	46,12	0,325	0,85	5,04	2,11	0,41	1,7	2,18
18	19	45,97	0,362	1,14	4,78	2,32	0,46	2,02	1,94
19	19,5	26,87	0,13	1,51	3,85	23,95	9,79	0,79	1,21

Figura No.3.25. Tabla de los contenidos principales y nocivos en el pozo 2779-55.

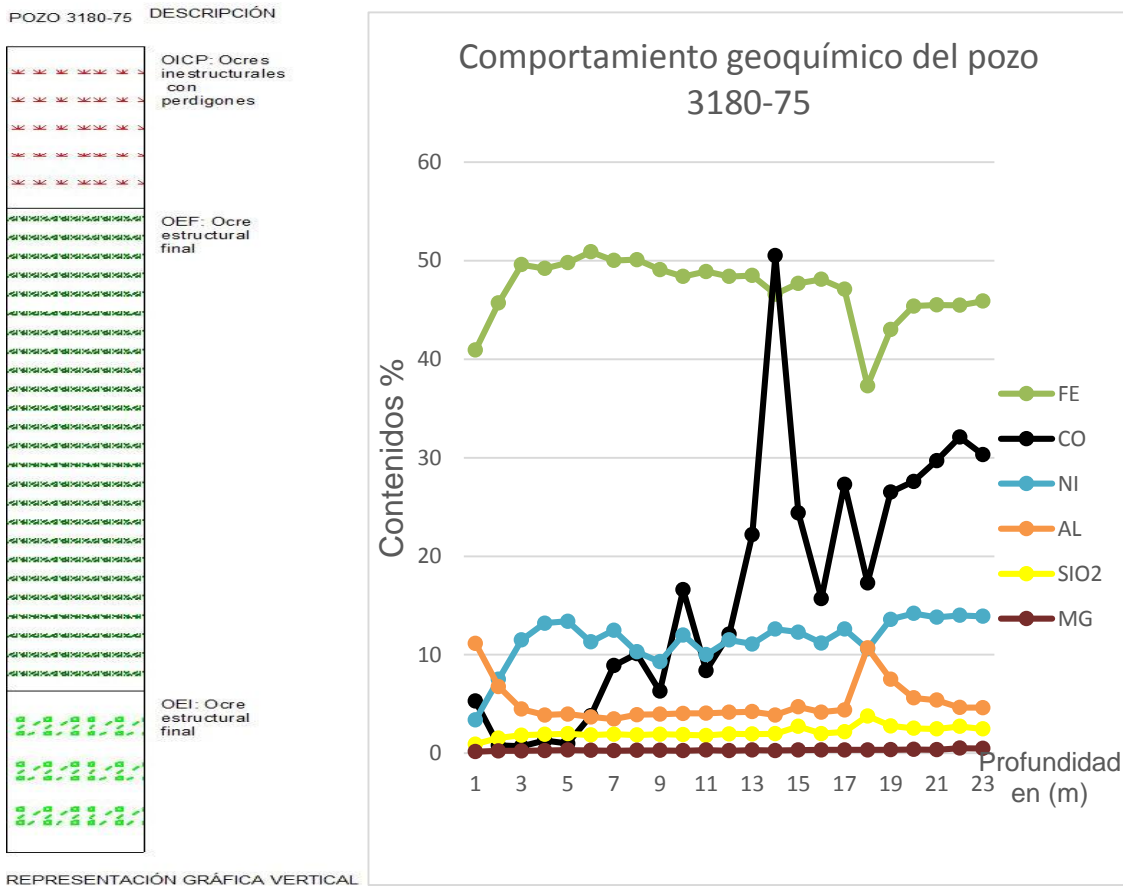


Figura No.3.26. Representación gráfica vertical y gráfico de distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 3180-75. Valor anómalo tomado en mapa de potencia en Laterita de Balance.

La distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 3180-75 es normal, donde el Fe mantiene valores superiores al 35 % típico de los horizontes de E y LB, comenzando este último a partir de 5 m de profundidad, como se observa en la figura 3.26. Los contenidos de SiO<sub>2</sub> se mantienen por debajo de 4 % en todo el pozo y el Al se mantiene por debajo de 11 %, con un comportamiento por debajo de 5 %. Los contenidos de Ni hasta los 3 m de profundidad se encuentran por debajo de 0.8 % pero luego se mantiene constante en un rango de 1% a 1.42 %, como se observa en el gráfico vertical comienza la transición del horizonte menífero con la presencia de ocre estructural final.

Los contenidos de Co son estables, con contenidos inferiores a 0.33 % en todo el pozo y el contenido de Mg se mantiene por debajo de 0.55 %, como se visualiza en la figura 3.27.

En la distribución de los contenidos de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y manganeso (Mn) en el pozo se observa como ambos elementos se mantienen de forma ascendente hasta los últimos metros donde comienzan a descender en valores, como se visualiza en el anexo 25. Este pozo se perforó donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico específicamente serpentinita.

Desde	Hasta	Fe	Co	Ni	Al	SiO <sub>2</sub>	Mg	Mn	Cr
0	1	40,93	0,053	0,34	11,16	0,93	0,17	0,72	0,98
1	2	45,7	0,008	0,75	6,77	1,54	0,24	0,33	1,75
2	3	49,6	0,007	1,15	4,48	1,84	0,24	0,29	1,93
3	4	49,21	0,013	1,32	3,89	1,92	0,28	0,32	2,06
4	5	49,8	0,01	1,34	3,99	1,98	0,33	0,31	2,15
5	6	50,9	0,038	1,13	3,69	1,85	0,29	0,42	1,72
6	7	50,02	0,089	1,25	3,48	1,93	0,27	0,76	1,9
7	8	50,1	0,101	1,03	3,91	1,86	0,3	0,7	2
8	9	49,1	0,063	0,93	3,96	1,93	0,3	0,59	2,06
9	10	48,4	0,166	1,2	4,05	1,89	0,27	1,23	2,3
10	11	48,9	0,084	1	4,06	1,8	0,33	0,67	2,21
11	12	48,4	0,121	1,15	4,16	1,97	0,27	1,07	2,17
12	13	48,5	0,222	1,11	4,23	1,95	0,33	1,36	2,02
13	14	46,6	0,505	1,26	3,88	1,99	0,28	3,7	1,97
14	15	47,7	0,244	1,23	4,71	2,73	0,33	1,17	1,99
15	16	48,1	0,157	1,12	4,17	2	0,34	0,97	2,04
16	17	47,1	0,273	1,26	4,4	2,18	0,35	1,78	2,09
17	18	37,3	0,173	1,06	10,7	3,78	0,35	1,21	1,51
18	19	43	0,265	1,36	7,53	2,78	0,36	1,88	1,84
19	20	45,4	0,276	1,42	5,63	2,53	0,39	1,88	1,9
20	21	45,5	0,297	1,38	5,39	2,48	0,36	1,95	1,97
21	22	45,47	0,321	1,4	4,65	2,73	0,53	2,08	2,11
22	22,5	45,9	0,303	1,39	4,63	2,47	0,49	1,98	2,15

Figura No.3.27. Tabla de los contenidos principales y nocivos en el pozo 3180-75.

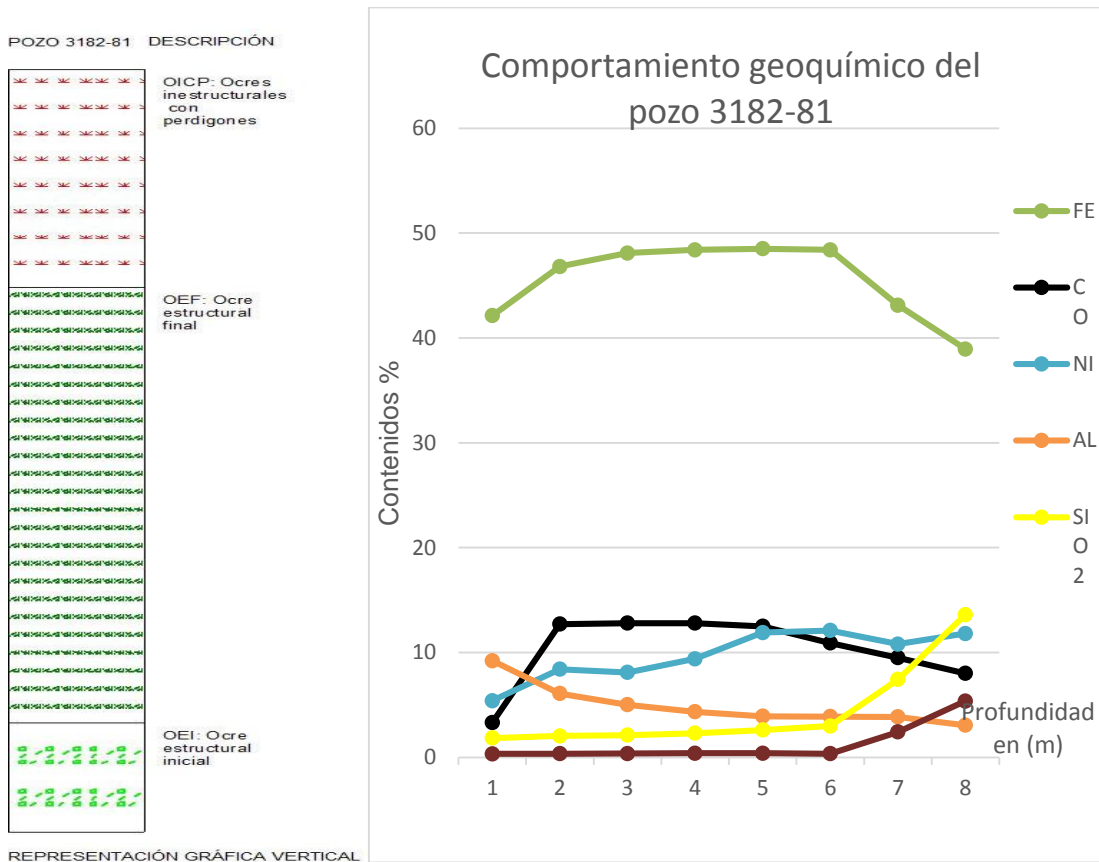


Figura No.3.28. Representación gráfica vertical y gráfico de distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 3182-81. Valor anómalo tomado en mapa de potencia en Saprolita de Balance.

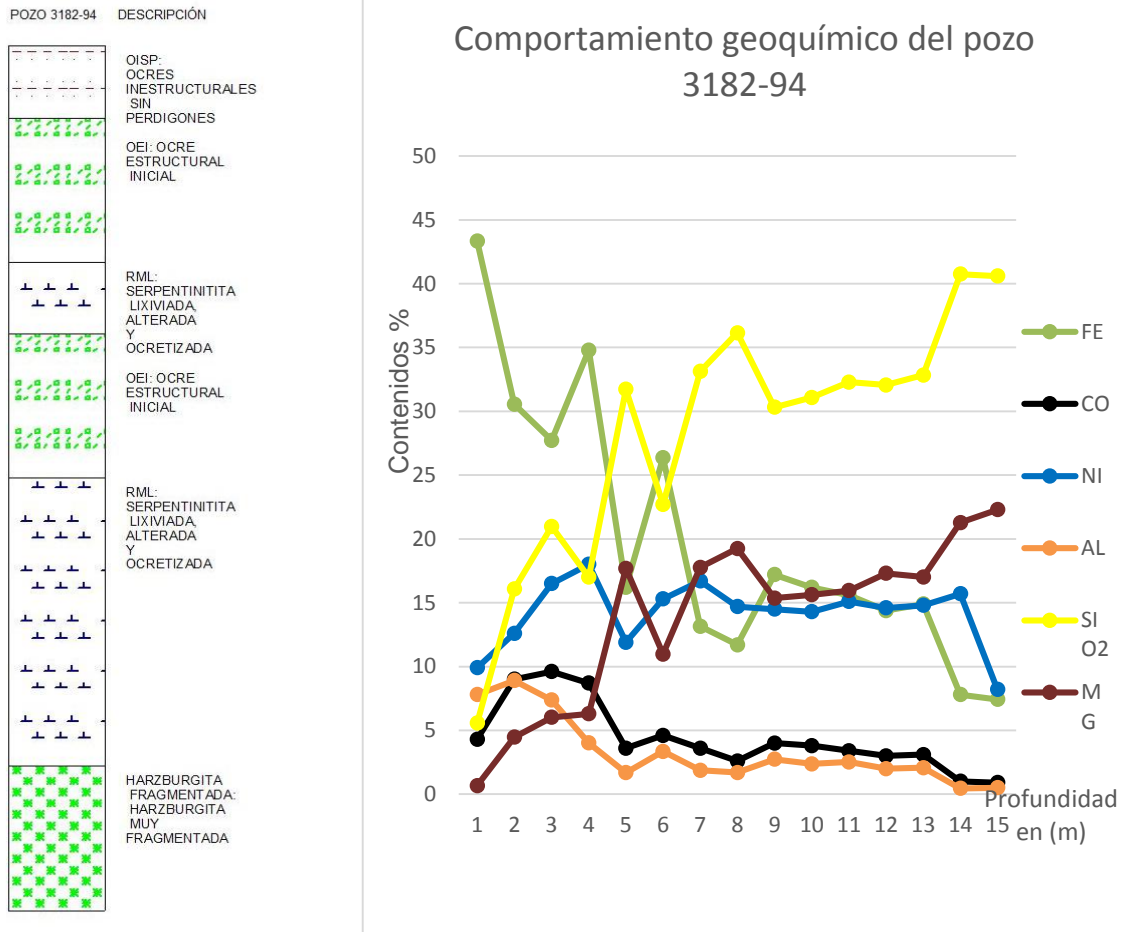
La distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 3182-81 es normal, donde el Fe mantiene valores superiores al 35 % típico de los horizontes de E y LB, tal como se muestra en el gráfico vertical. Los elementos nocivos de SiO<sub>2</sub> y Mg se mantienen constantes en todo el pozo y comienzan a ascender a los 7 m de profundidad pero no alcanzando valores que demuestren presencia de otro horizonte. Los contenidos de Ni se mantienen por debajo de 1 % hasta los 4 m de profundidad donde comienza a ascender gradualmente hasta alcanzar valores de 1.21 %, demostrando la transición hacia el horizonte menífero de Laterita de Balance con la presencia de ocre estructural final como se muestra en la figura 3.28.

Los contenidos de Co son estables, con valores inferiores a 0.13 % y los contenidos de Al comienzan presentando valores entre a 5% y 10% pero a partir de los 3 m comienzan a descender hasta el final del pozo, como se observa en la figura 3.29.

En la distribución de los contenidos de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) y manganeso (Mn) en el pozo se visualiza que ambos elementos se mantienen de forma ascendente hasta los últimos metros donde comienzan a descender en valores, como se puede observar en el anexo 26. Este pozo se perforó donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico específicamente serpentinita.

Desde	Hasta	Fe	Co	Ni	Al	$\text{SiO}_2$	Mg	Mn	Cr
0	1	42,13	0,033	0,54	9,22	1,85	0,33	0,55	1,34
1	2	46,81	0,127	0,84	6,09	2,04	0,34	0,79	1,48
2	3	48,1	0,128	0,81	5,01	2,12	0,36	0,73	1,59
3	4	48,4	0,128	0,94	4,34	2,3	0,4	0,75	1,82
4	5	48,5	0,125	1,19	3,92	2,6	0,4	0,92	1,88
5	6	48,4	0,109	1,21	3,89	2,99	0,35	0,92	2,06
6	7	43,12	0,095	1,08	3,86	7,42	2,42	0,71	1,65
7	8	38,93	0,08	1,18	3,07	13,61	5,36	0,69	1,53

Figura No.3.29. Tabla de los contenidos principales y nocivos en el pozo 3182-81.



REPRESENTACIÓN GRÁFICA VERTICAL DEL POZO 3182-94

Figura No.3.30. Representación gráfica vertical y gráfico de distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 3182-94. Valor anómalo tomado en mapa de potencia en Saprolita de Balance

La distribución de los contenidos principales y nocivos en el pozo 3182-94 es muy anómalo. Se puede apreciar que en los primeros 3 m de profundidad el contenido de Fe disminuye su valor hasta 27 %, el SiO<sub>2</sub> aumenta hasta 21 %, donde se observa en la representación gráfica vertical la presencia de ocre estructural inicial (OEI) a partir de estos primeros metros de profundidad, como muestra la figura 3.30. Luego se observa que de manera brusca, a la profundidad de 4 m el contenido del Fe asciende a 35 % y el SiO<sub>2</sub> disminuye a 17 %, en el próximo metro vuelve a ocurrir lo contrario, es decir, el Fe disminuye a 16 %, el SiO<sub>2</sub> aumenta a 31 % y a esta profundidad el Mg aumenta su contenido a 17 % mientras que el Al comienza a descender de manera gradual, observándose en el gráfico vertical la presencia de la intercalación de serpentinita lixiviada, alterada y ocretizada (RML). A los 6 m vuelve a subir el

contenido de Fe, y la SiO<sub>2</sub> y el Mg vuelven a bajar en valores dando paso nuevamente al horizonte de OEI, y a partir de los 7 m de profundidad se puede apreciar una estabilidad en estos valores ya que el Fe comienza a descender y se mantienen por debajo de 17 %, el SiO<sub>2</sub> aumenta su contenido superior a 30 % y el contenido de Mg supera el 15 %, manteniéndose estos comportamientos hasta el final del pozo, en estos metros se puede observar en la representación vertical la presencia del horizonte de RML y luego, a partir de los 13 m la presencia de harzburgita muy fragmentada.

El comportamiento anormal de estos elementos en el pozo se ve reflejada en la intercalación de los horizontes de LB y SB en este sector, lo que confirma un fenómeno de redeposición de la corteza laterítica en más de una ocasión. Los contenidos de Ni en este pozo presentan altos contenidos donde los valores oscilan entre 1.20 % y 1.70 %, alcanzando valores por debajo de 1% en el primer y último metro del pozo. El contenido de Co se mantiene en todo el pozo por debajo de 0.1 % y el Al en los primeros metros de profundidad supera el 5 % pero luego se mantiene por debajo del mismo, como se aprecia en la figura 3.31.

La distribución de los contenidos de cromo (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y manganeso (Mn) en este pozo se puede observar en el anexo 27. Este pozo se perforó donde el basamento de la corteza de intemperismo está constituido por rocas del complejo mantélico específicamente serpentinita.

Desde	Hasta	Fe	Co	Ni	Al	SiO <sub>2</sub>	Mg	Mn	Cr
0	1	43,34	0,043	0,99	7,8	5,57	0,67	0,25	1,88
1	2	30,56	0,09	1,26	8,9	16,07	4,47	0,34	1,21
2	3	27,72	0,096	1,65	7,38	20,97	6,02	0,42	1,24
3	4	34,79	0,087	1,8	4,02	17	6,29	0,55	1,54
4	5	16,2	0,036	1,19	1,68	31,72	17,69	0,28	1,24
5	6	26,35	0,046	1,53	3,35	22,71	10,97	0,41	1,32
6	7	13,15	0,036	1,67	1,87	33,13	17,77	0,26	0,68
7	8	11,7	0,026	1,47	1,69	36,15	19,24	0,29	0,51
8	9	17,2	0,04	1,45	2,74	30,32	15,36	0,34	1,02
9	10	16,2	0,038	1,43	2,37	31,08	15,62	0,31	0,89
10	11	15,6	0,034	1,51	2,52	32,28	15,95	0,31	0,84
11	12	14,38	0,03	1,46	1,99	32,06	17,3	0,28	0,75
12	13	14,9	0,031	1,48	2,07	32,83	17,01	0,29	0,79
13	14	7,8	0,01	1,57	0,45	40,75	21,28	0,11	0,35
14	15	7,42	0,009	0,82	0,5	40,6	22,29	0,1	0,34

Figura No.3.31. Tabla de los contenidos principales y nocivos en el pozo 3182-94.





## Conclusiones

1. Se demuestra que los mayores contenidos de los elementos útiles Ni y Co se ubican hacia la zona central y sur del sector investigado, siendo éstas las áreas más perspectivas para su explotación.
2. El yacimiento está caracterizado por presentar elevadas concentraciones de elementos nocivos sílice ( $\text{SiO}_2$ ), magnesio (Mg) y aluminio (Al), en regiones muy puntuales, lo que conlleva a un alto consumo de ácido en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión para el tratamiento de las menas.
3. Se verifica la existencia de redeposición de la corteza, lo que se evidencia en 3 de los 9 pozos analizados.



## Recomendaciones

- ❖ Se recomienda utilizar los resultados de esta investigación en la etapa de explotación del sector investigado, ya que se establecen las áreas con mayores perspectivas para la minería.
- ❖ Realizar la explotación del sector en estudio utilizando diferentes frentes para tener la oportunidad de mezclar menas de diferentes contenidos de componentes útiles con el fin de lograr una materia prima que cumpla con los requisitos estipulados para la planta de beneficio.
- ❖ Las menas del horizonte de Saprolita de Balance (SB) del sector son ricas en Ni >1 %, con bajos contenidos de Fe, las que se deben preservar para su futura utilización mediante otros procesos o mezclarse con la mena LB.

### Bibliografía

- Adamovich, A, Chejovich, V. (1962).** Principales características de la geología y minerales útiles de la región norte de la provincia de oriente. *Revista Tecnológica.*
- Adamovich, A, Chejovich, V. (1963).** Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. *Informe, ONRM.*
- Alojin, V, et al. (1977).** Sobre los resultados de los trabajos de exploración geológica detallada y orientativa realizada en el yacimiento “Punta Gorda” en los años 1973 – 1976. *ONRM, La Habana, Cuba.*
- Alonso, M. A. (2015).** Consideraciones genéticas del dominio No.3 del yacimiento Camarioca Sur. *Trabajo de diploma. ISMM. Facultad de Geología –Minería.*
- Almaguer, A. (1993).** Estudio de la distribución del hierro, níquel y cobalto en los tamaños de granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultramáficas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralogía. *Publicación Minería y Geología. Vol. 2.*
- Almaguer, A. (1995).** Cortezas de intemperismo. Algunas características de sus partículas finas. *Publicación Minería y Geología. Vol. 12. No. 1/95.*
- Almaguer, A. (1995).** Composición de las pulpas limoníticas de la planta Pedro Sotto Alba, parte II, período de crisis de sedimentación. *Revista Minería y Geología (No 2).*
- Alonso, H. (1983).** PETROFISICA, *Editorial Pueblo y Educación.*
- Barea, I, Barrera, M. (2008).** Estudio morfotectónico del área enmarcada por las concesiones mineras La Delta, Cantarrana y Santa Teresita para el establecimiento de los dominios geomorfológicos. *Trabajo de diploma, Biblioteca Virtual, ISMM.*
- Barea, I. (2010).** Informe preliminar del yacimiento Cantarrana.
- Barea, I. et al. (2015).** Informe geológico de la concesión minera Cantarrana.
- Batista, J. A, Rodríguez, A. (2000).** Particularidades Geológicas del complejo ofiolítico de Moa a partir de los datos aeromagnéticos 1:50 000. *Revista Minería y Geología, Vol. 17.*
- Blanco, J, Proenza, J. (1994).** Terrenos geológicos de Cuba Oriental. *Revista Minería y Geología. No 1.*

- Blanco, I. (2003).** Nuevos datos petroquímicos y petrográficos de las magmatitas y matamorfitas de algunos sectores del Bloque Oriental Cubano sectores Moa-Baracoa y Sierra del Convento. *Trabajo de diploma. ISMM. Facultad de Geología –Minería.*
- Brand, N. W, Butt, C, Elias, M. (1998).** Nickel laterites: Classification and features. *AGSO Journal of Australian. Geology and Geophysics 17, 81-88.*
- Buguelsky, Y.Y, Finko, V.I, Samotoin, N.D, et al. (1989).** Minerales arcillosos de las Cortezas de Intemperismo tropicales: Mecanismo de cristalización y génesis. *XXVIII Sesión del Congreso Geológico Mundial de Washington.*
- Castillo, P. (2014).** Comportamiento geoquímico de componentes principales y nocivos en el Yacimiento La Delta. *Trabajo de diploma. ISMM. Facultad de Geología y Minería.*
- Campos, M. (1983).** Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias de Holguín y Guantánamo. *Revista Minería y Geología No.2.*
- Cepeda, L. (1985).** *Apuntes de Petrología Ígnea, Universidad Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.*
- Cobiella, J. L. (1978).** Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. *Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM.*
- Cobiella, J, Rodríguez, J. (1978).** Algunos rasgos de la geología de Cuba Oriental. *Ciencias Técnicas, Serie Geodesia y Geofísica No.3.*
- Cobiella, J.L. (1988).** El vulcanismo paleogénico cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. *Revista tecnología 18 (4), pp 25-32.*
- Cobiella, J. L. (2005).** Emplacement of Cuba ophiolites. *Geological Act, 3, 273-294.*
- Coleman, R, Peterman, Z. E. (1977).** Ophiolites, Springer-Verlag, Berlin, New York.
- Crespo, A, Lunar, R. (1997).** Yacimientos de manganeso cobaltífero del campo de Calatrava (Ciudad Real). *Geological Society Special Publication, 119, 253, 264.*
- Crespo, E. (1996).** Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba Oriental. *Tesis de Maestría. ISMM. Facultad de Geología-Minería, pp.79.*

**Cruz, J. F. (2014).** Metodología para precisar la caracterización petrográfica de las rocas que afloran en el sector Cantarrana, complejo ofiolítico Moa-Baracoa. *Tesis de diploma. ISMM. Facultad Geología y Minería.*

**Dávila, J. (2011).** Diccionario Geológico

**Delgado, R. (1979).** Magnetometría, *Editorial Pueblo y Educación.*

**Díaz, R, Proenza, J. (2005).** Metalogenia asociada a las ofiolitas y al arco de islas del cretácico del nordeste de Cuba. *Revista Minería-Geología V.21, No.1*

**Domínguez, L. (2005).** Morfotectónica del área comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa con vista a la planificación turística. *Tesis de maestría. pp 106.*

**Donal, L. (2012).** Diagnóstico Ambiental de las UEB Gastronomía No.1 y Dirección Comercial pertenecientes a la Empresa de Servicios a la Unión del Níquel (ESUNi) “Camilo Cienfuegos Gorriarán”. *Trabajo de Diploma. ISMM. Facultad de Geología y Minería.*

**Figueras, M, et al. (2015).** Informe de los trabajos de exploración detallada para la elevación de categoría de los recursos del yacimiento Cantarrana

**Fonseca, E, Zelepuguin, V.M, Heredia, M. (1984).** Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica de Cuba. *Revista Ciencia de la tierra y el espacio. No.4.*

**Formell, F, Oro, A. (1980).** Sobre los procesos de redeposición del yacimiento Punta Gorda. *Ciencia de la tierra y del espacio No.2.*

**Galí, S, et al. (2006).** Caracterización Mineralógica de los perfiles lateríticos tipoóxido: yacimiento Punta Gorda (Cuba oriental). *Macla/a, 6, pp197-199.*

**García, G. (1985).** Geología Estructural. *Editorial Pueblo y Educación.*

**Gifford, M. G. (2010).** Independent Geologic Report on the Nickel Laterite Resource at Agata North Laterite Project Area, Agusan del Norte Province, Northern Mindanao, Phillipines. *MRL Gold Phils. Inc., August 2010.*

**Gleeson, S. A, Butt, C, Elias, M. (2003).** Nickel laterites: A review. *SEG Newsletter 54, 11-18.*

**Heinrich, E. (1960).** Petrografía microscópica. *Ediciones Omega, SA, Barcelona.*

**Hernández, A, Chávez, S.** Proyecto e Informe “Metodológico Experimentales en corteza laterítica niquelíferas para la determinación del espesor y el relieve del basamento”

**Howell, W, et al. (1983).** Introducción al estudio de las rocas en Secciones Delgadas. <http://www.sagan-gea.org/hojared/CAgua.html>

**Iturralde-Vinent, M. (1990).** Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. *Ciencias de la tierra y el espacio, No.17.*

**Iturralde-Vinent, M. (1996).** Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba. *IGCP/Proyecto 364. Special contribution, p 83-120.*

**Iturralde-Vinent, M. (1998).** Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. *En Acta Geológica Hispánica.*

**Iturralde-Vinent, M. (2003).** The relationship between the ophiolites, the metamorphic terrains, the Cretaceous volcanic arcs and the Paleocene-Eocene Volcanic arc. Field guide to a geological excursion to Eastern Cuba. V Cuban Geological and Mining Congress. *IGCP Project 433 Caribbean Plate Tectonics Cuban Geological Society. 16 pp.*

**Ivanov, V, et al. (1985).** Informe de la exploración detallada del yacimiento de menas niquelíferas Las Camariocas realizada durante los años 1976 – 1978 con cálculo de reserva actualizado hasta el 1ro de enero de 1984.

**Kerr, P.F, (1965).** Mineralogía Óptica. *Tercera Edición. Ediciones Castellana, SA, Madrid.*

**Klockmann, F, Ramdhor, P. (1961).** Tratado de Mineralogía. *Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A, Segunda Edición: pág. 716.*

**Lavaut, W, Hernández, A. (1998).** Informe del Tema Metodológico Experimental en corteza Lateritas Ferroniquelíferas.

**Lavaut, W, Laborde, M, Hernández, A. (2003).** Informe Prospección y Exploración de Ni + Co en Corteza de Intemperismo Ferroniquelífera de los Yacimientos Yagrumaje Norte, Oeste, Camarioca Este, Martí Grupo VII, Luz Norte, Pinares de Mayarí.

**Lavaut, W. (1998).** Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental. *Revista Minería y Geología. Vol. 15. pp 9-16.*

- Lavaut, W. (2005).** Problemática del estudio geológico de los principales yacimientos lateríticos de Cuba Oriental. *I<sup>ra</sup> Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, I Congreso de Minera (MIN2-15)*.
- Leyva, D. (2015).** Consideraciones genéticas del dominio No.2 del yacimiento Camarioca Sur. *Trabajo de diploma. ISMM. Facultad de Geología –Minería*.
- Llorente, G. E, Blanco, J. L, (2004).** Investigación ingeniero-geológica e hidrogeológica de la Base Minera Punta Gorda. *(Informe Técnico, INRH, Holguín)*
- Milovski, A. V, Kónonov, O. V. (1982).** Mineralogía, *Editorial Mir Moscú*.
- Morris, A. E, Taner, I, Meyerhoff, H. A, Meyerhoff, A.A. (1990). Tectonic evolution of the caribbean region; alternative hypothesis. *The geology of North American, Vol. H*.
- Muñoz, J. N, et al. (2007).** Caracterización de los dominios geológicos en las concesiones mineras Camarioca norte y Camarioca sur.
- Muñoz, J. N. (2004).** Geología y Mineralogía de los yacimientos residuales de menas lateríticas de Fe-Ni-Co. *PDF-Files. ICT. ISMMM, 22p*
- Muñoz, J. N, Rodríguez, A, Barea, I. (2015).** Variabilidad de los perfiles lateríticos en los yacimientos ferroniquelíferos de Moa. *Publicación Minería y Geología. Vol. 31 No.2, p.21-33*
- Nagy, N. (1983).** Ensayo de las zonas estructuro faciales de Cuba oriental, contribución geológica de Cuba oriental. *Editorial Ciencia y Técnica, ACC*.
- Oliva, G. (1989).** Nuevo Atlas Nacional de Cuba. *Instituto de Geografía, ACC*.
- Oliveira, S.M.B, Parititi, C.S, Enzweiler, J. (2001).** Ochreouslaterite: a nickel ore from Punta Gorda, Cuba. *Journal of South American EarthSciences 14, 307-317*.
- Pérez, R. (1976).** Levantamiento Geológico de Farallones escala 1: 50 000.
- Pérez, Y. (2013).** Comportamiento geoquímico de los componentes principales y nocivos del Yacimiento Zona Septentrional. *Trabajo de Diploma. ISMM. Facultad Geología y Minería*.
- Proenza, J. (1998).** Mineralizaciones de cromita en la Faja Ofiolita Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del Yacimiento Mercedita. *Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, España*.

**Proenza, J, Gervilla, F, Melgarejo, J.C. (1999).** La Moho Transition Zone en el Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa: un ejemplo de interacción magma/peridotita. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(3-4), 309-327.

**Proenza, J, et al. (2006).** Primitive Cretaceous island-arc volcanic rocks in eastern Cuba: the Téneme Formation. *GeolActa* 4:103–121

**Quintas, F. (1989).** Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. *Tesis doctoral, Departamento de Geología, ISMM.*

**Quintas, F. (1996).** Bioestratigrafía del corte Meso-Cenozoico del extremo oriental de Cuba. *Revista Minería-Geología*, 13(1), pp. 3-8.

**Robert, P. (2012).** Comportamiento geoquímico de los componentes principales nocivos en el Yacimiento Camarioca Sur. *Trabajo de Diploma. ISMM. Facultad de Geología Minería.*

**Rodríguez, A. (1998).** Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación del riesgo de génesis tectónicas. Tesis doctoral, Academia de Ciencias de Cuba. *Departamento de Geología, ISMMM, Moa.*

**Rodríguez, O. I. (1985).** Informe Geológico sobre los resultados de los trabajos de búsqueda detallada y evaluativa realizado en los sectores La Delta, Cupey, Cantarrana, Santa Teresita y Piloto, con el cálculo de reservas.

**Rodríguez, O, et al. (1985).** Informe Resultados de los trabajos geológicos de búsqueda detallada y evaluativo realizada en los sectores La Delta, Cupey, Cantarrana, Santa Teresita y Piloto. p 85-87.

**Rojas, A. (1994).** Principales fases minerales portadores de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa. *Tesis doctoral. 73p*

**Rojas, A. (2001).** Evidencias a favor de que la Goethita es la principal portadora de níquel en los horizontes lateríticos de las cortezas ferroniquelíferas. *Publicación Minería y Geología. Vol. XVIII, Nos. 3-4, pp. 21-31.*

**Ruíz, R. (2015).** Reporte de la mineralogía presente en el yacimiento Cantarrana

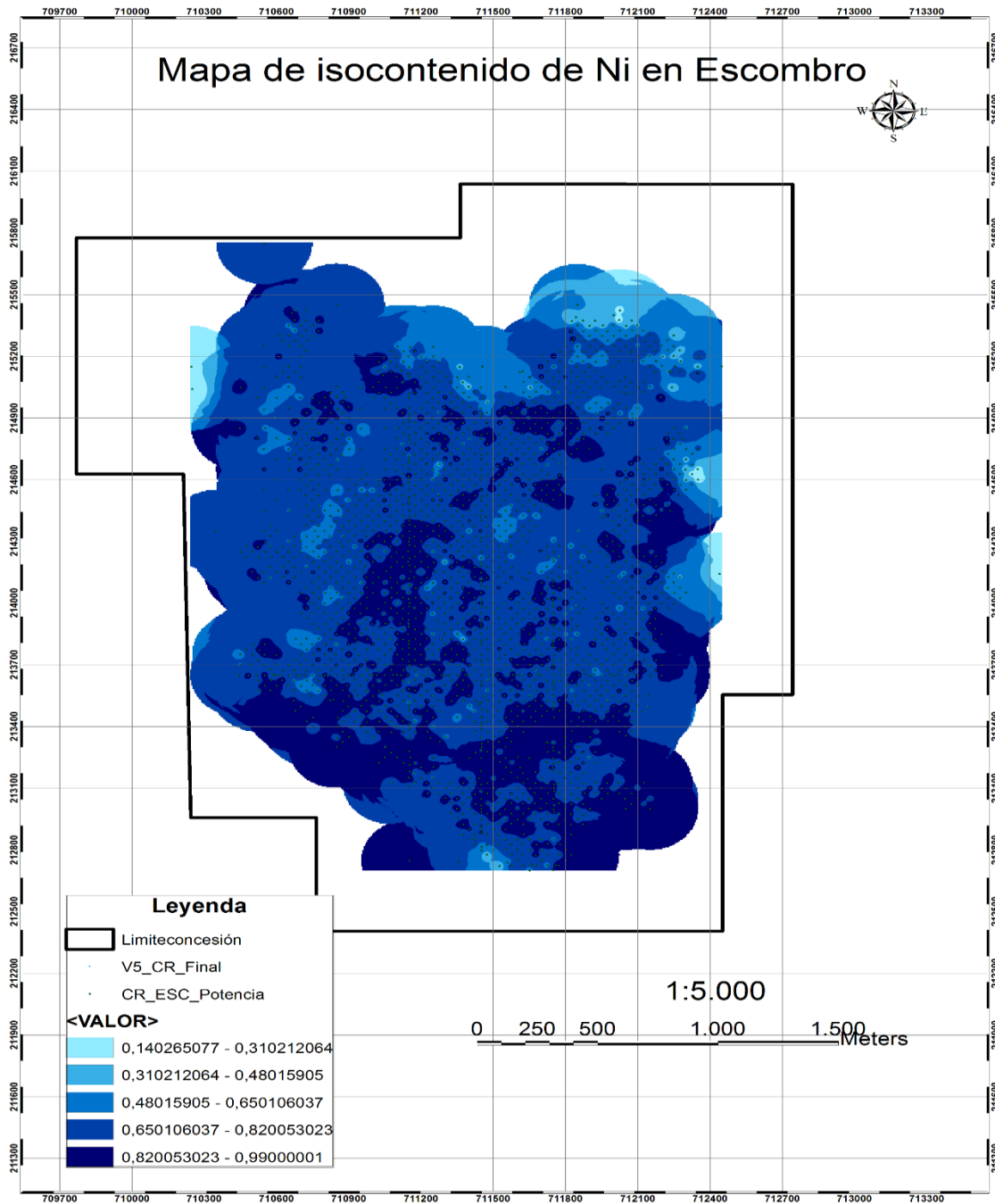
**Sitnikov, V, et al. (1976).** Informe sobre la exploración orientativa del yacimiento Camarioca con el cálculo de reservas. *ONRM. La Habana, Cuba.*

**Smirnov, V.I. (1982).** Geología de yacimientos minerales. *Editorial MIR, Moscú.*

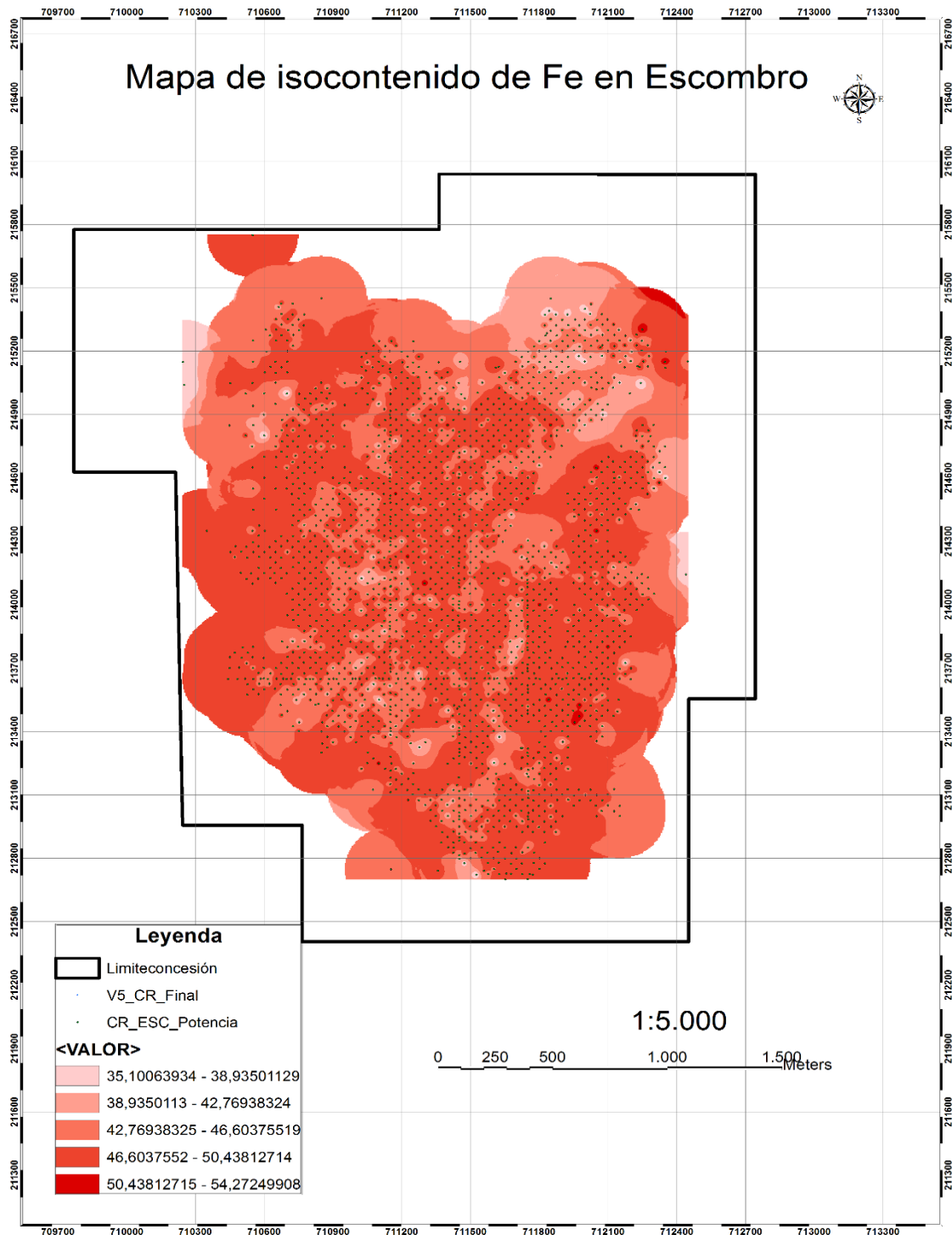


- Sobol, S. (1968).** Composición mineralógica de lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación por ácido sulfúrico en autoclaves. *Revista Tecnológica Vol.1*
- Tardy, Y. (1992).** The ferruginous laterites, in c.r.m. butt and h. zeegers, (eds) regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains. *Handbook of exploration geochemistry, 4. Elsevier, Amsterdam, 41-55.*
- Thayer, T. P. (1942).** Chrome resources of Cuba. *U. S Geological Survey Bulletin.*
- Urra, J, Cirión, R, Figueras, M. (2009).** Reporte técnico sobre la estimación de recursos y reservas en los yacimientos La Delta, Cantarrana y Santa Teresita. *Proyecto Expansión Moa Nickel S.A.*
- Velázquez, V. A, De Miguel, F.C. (2007).** Características geólogo–hidrogeológicas del río Yagrumaje. *2<sup>da</sup> Convención de Ciencias de la Tierra. CD-Rom, ISBN: 978-959-7117-16-2. La Habana.*
- Vera, A. (1979).** Introducción a los Yacimientos de Níquel Cubanos. *Editorial Orbe.*
- Vera, O. (2001).** Procedimiento para la determinación de redes racionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa. *Tesis doctoral. ISMM.*

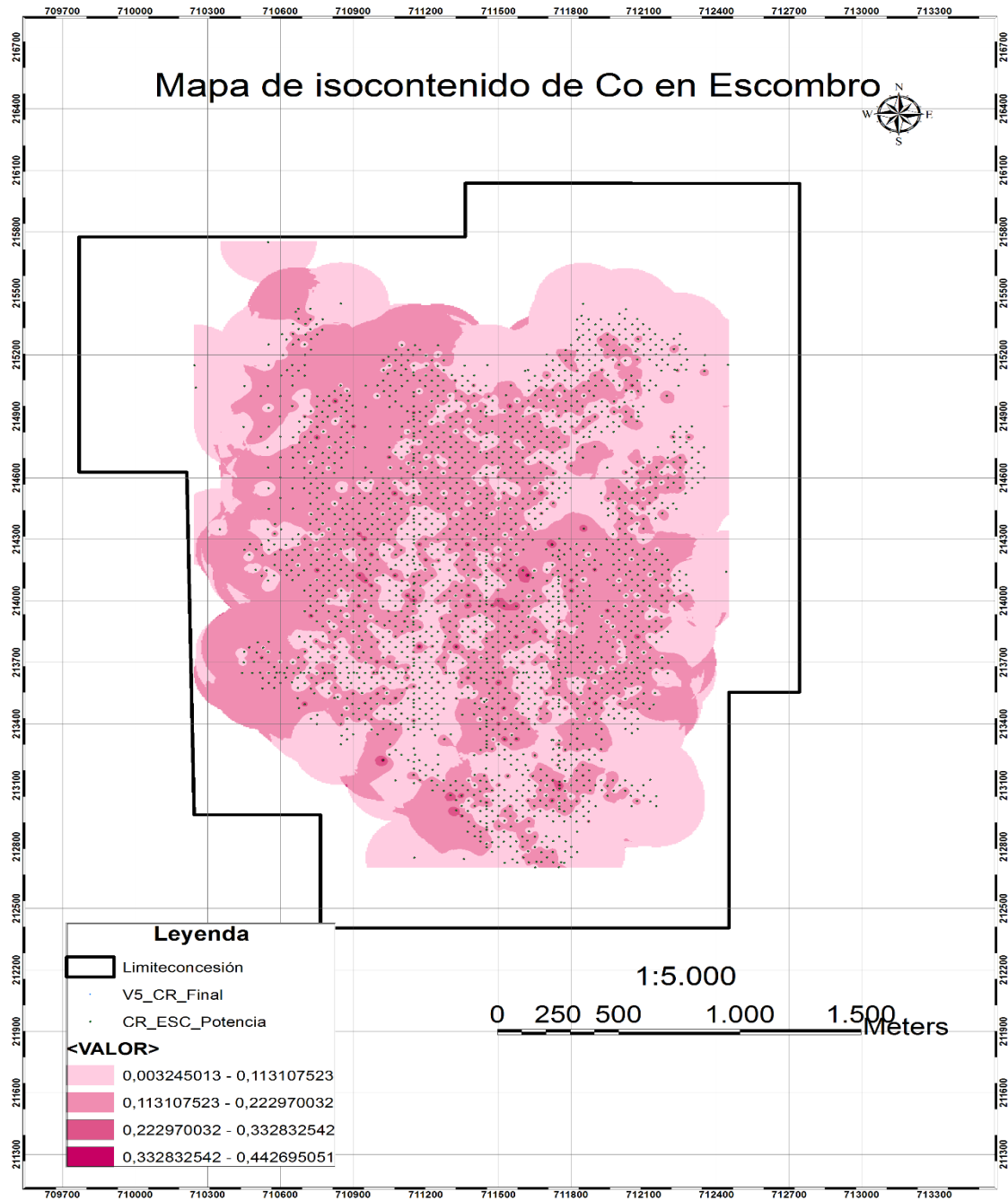
### Anexo No. 1. Fotografía de mapa de distribución del contenido de Ni en E, escala original 1: 5 000



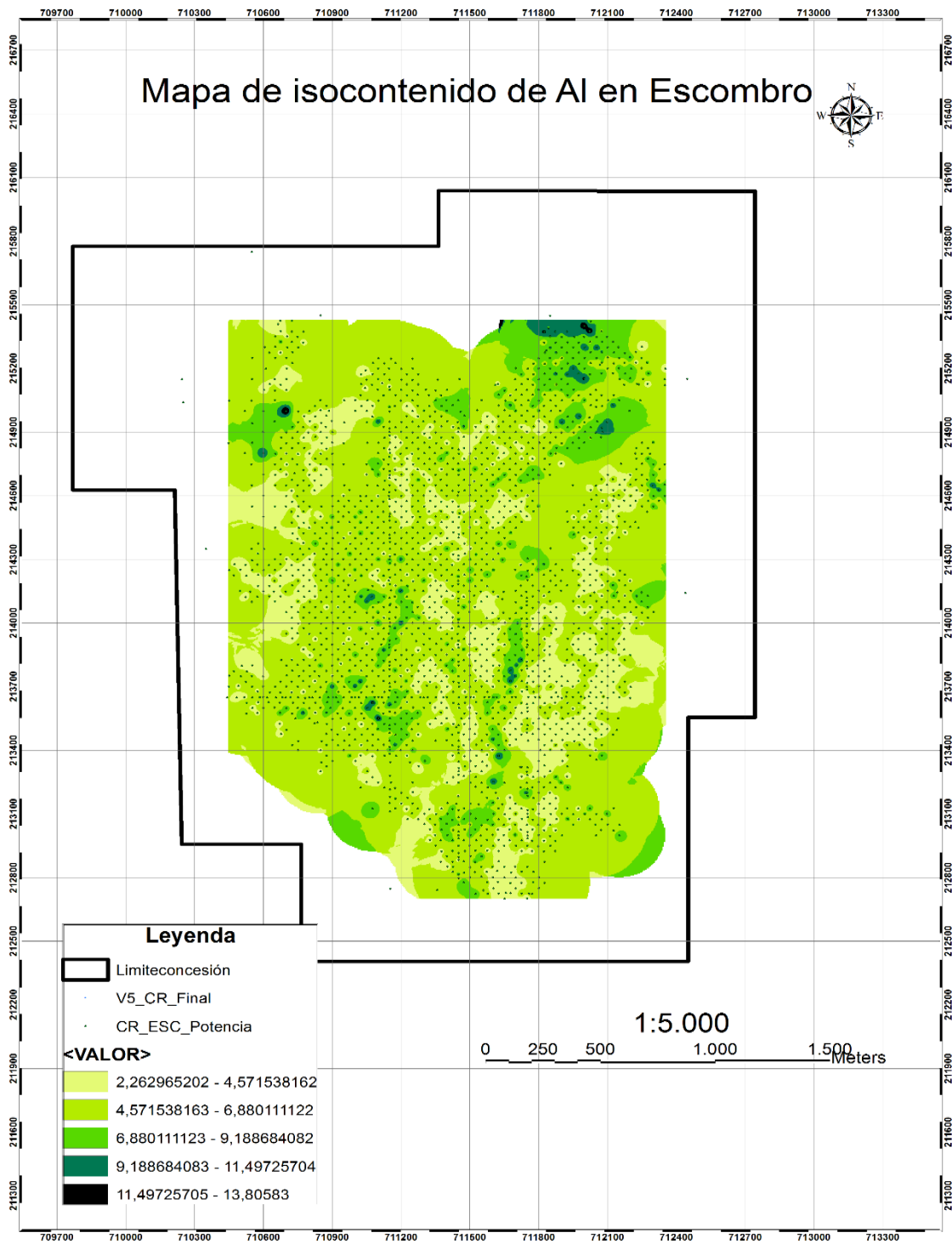
## Anexo No.2. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Fe en E, escala original 1: 5 000



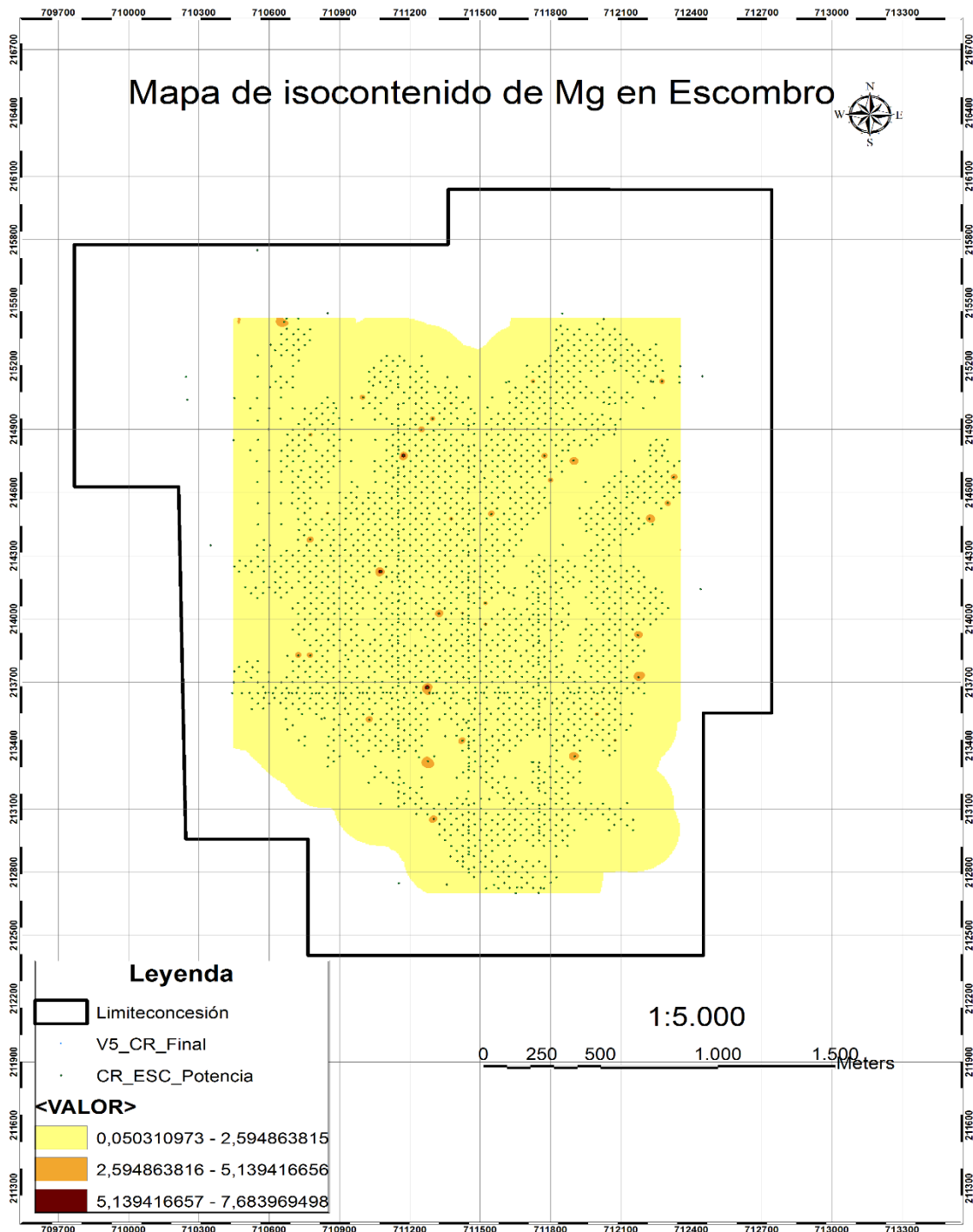
### Anexo No.3. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Co en E, escala original 1: 5 000



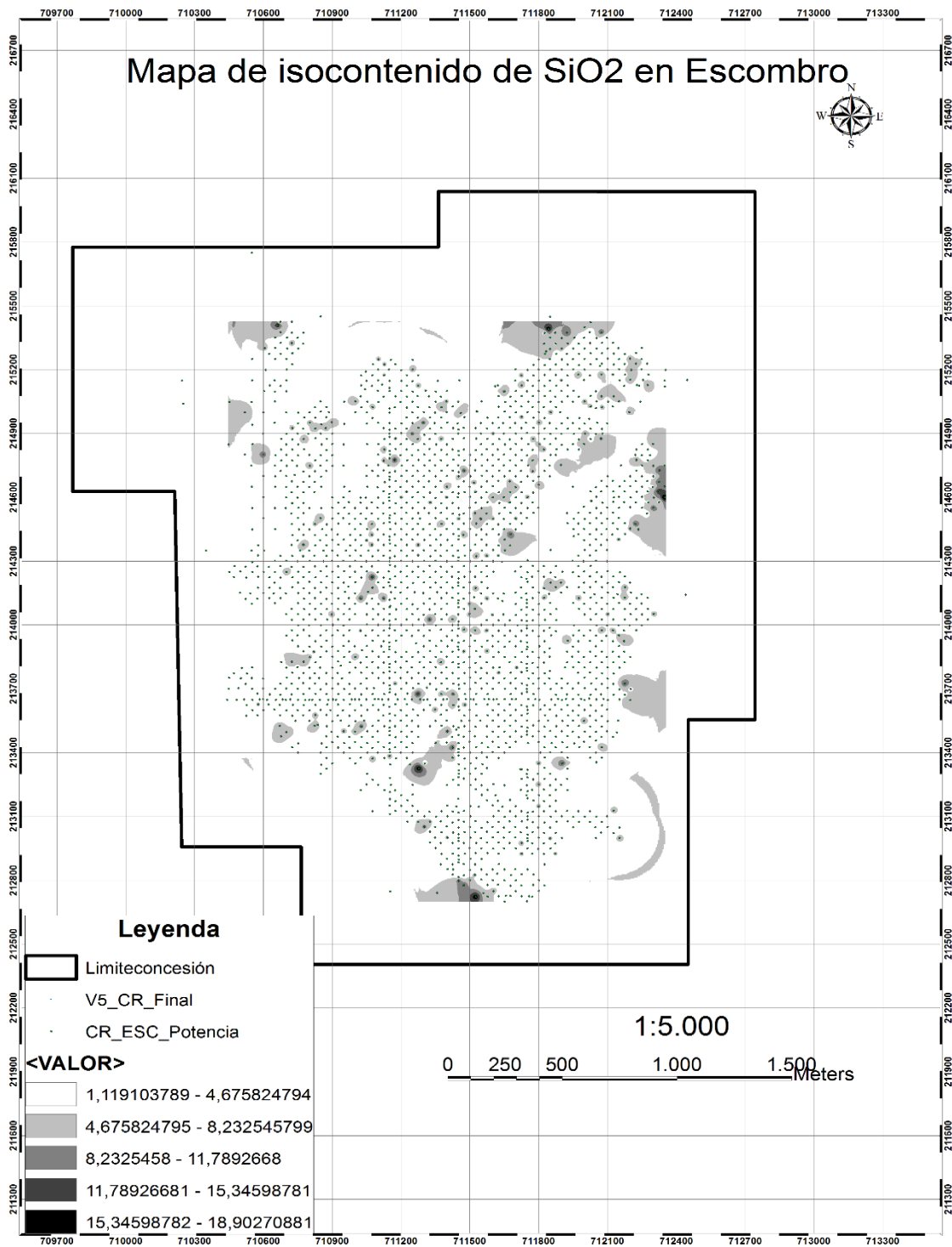
### Anexo No.4. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Al en E, escala original 1: 5 000



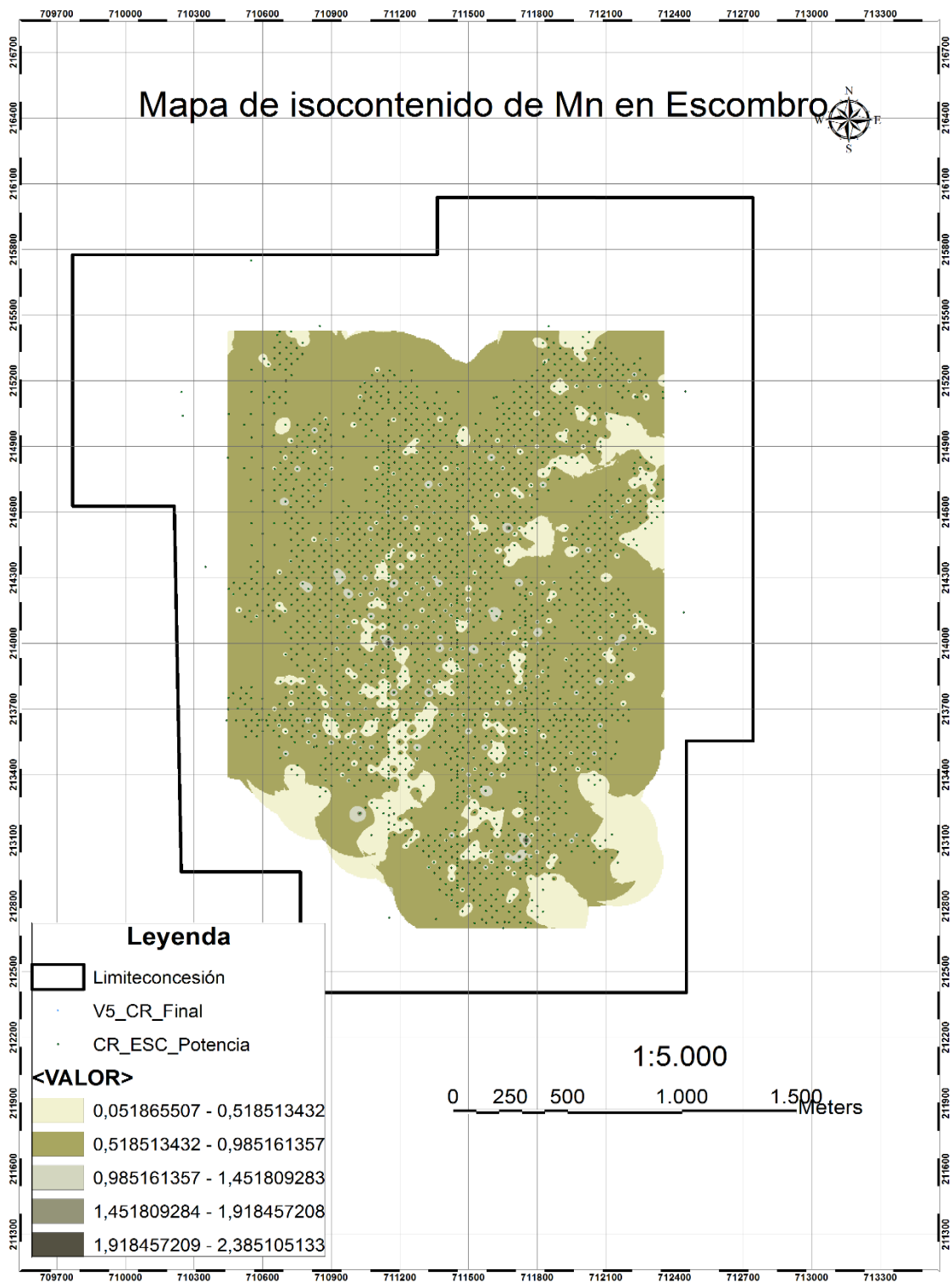
### Anexo No.5. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Mg en E, escala original 1: 5 000



### Anexo No.6. Fotografía del mapa de distribución de contenido de SiO<sub>2</sub> en E, escala original 1: 5 000

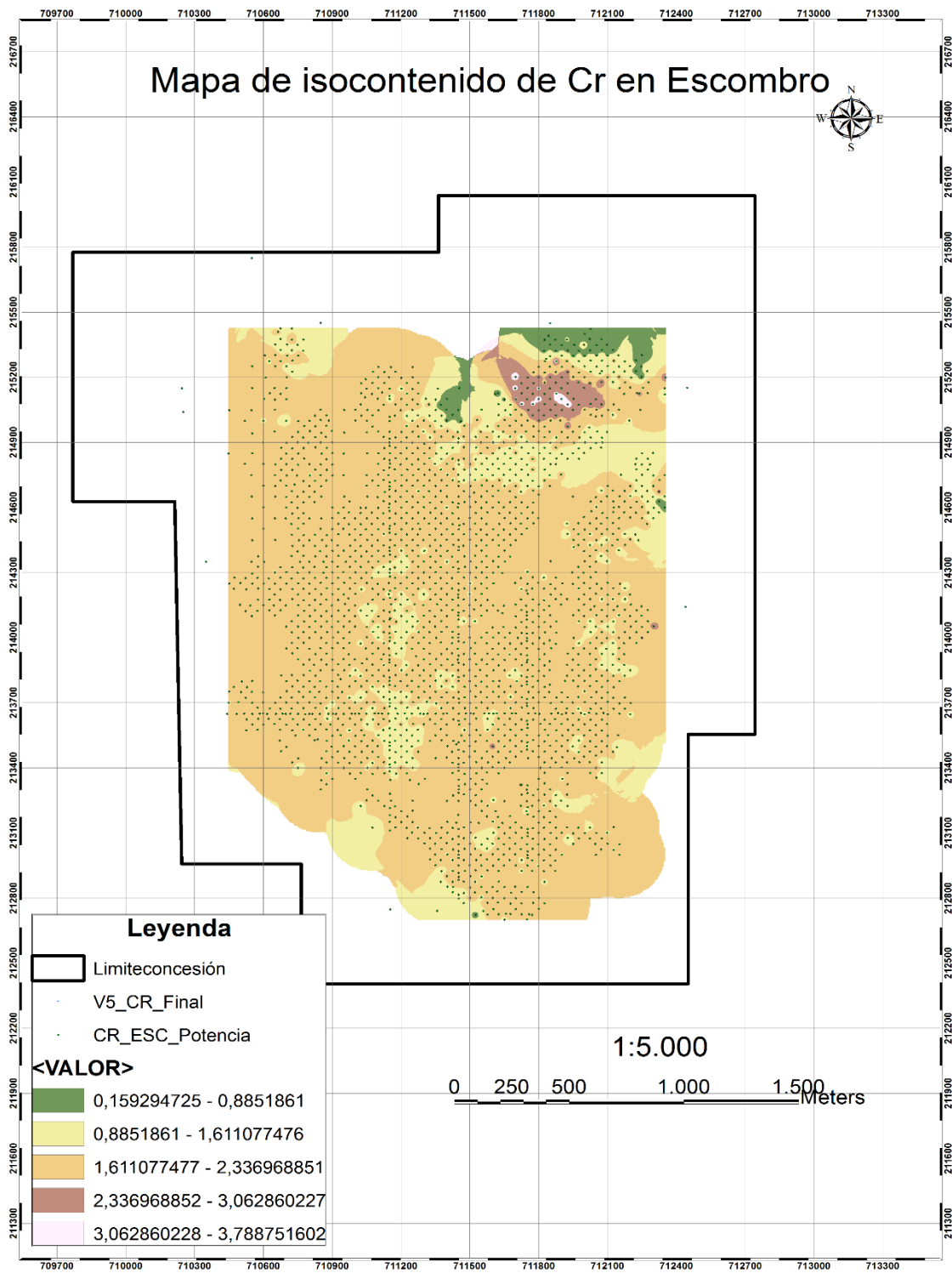


### Anexo No.7. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Mn en E, escala original 1: 5 000

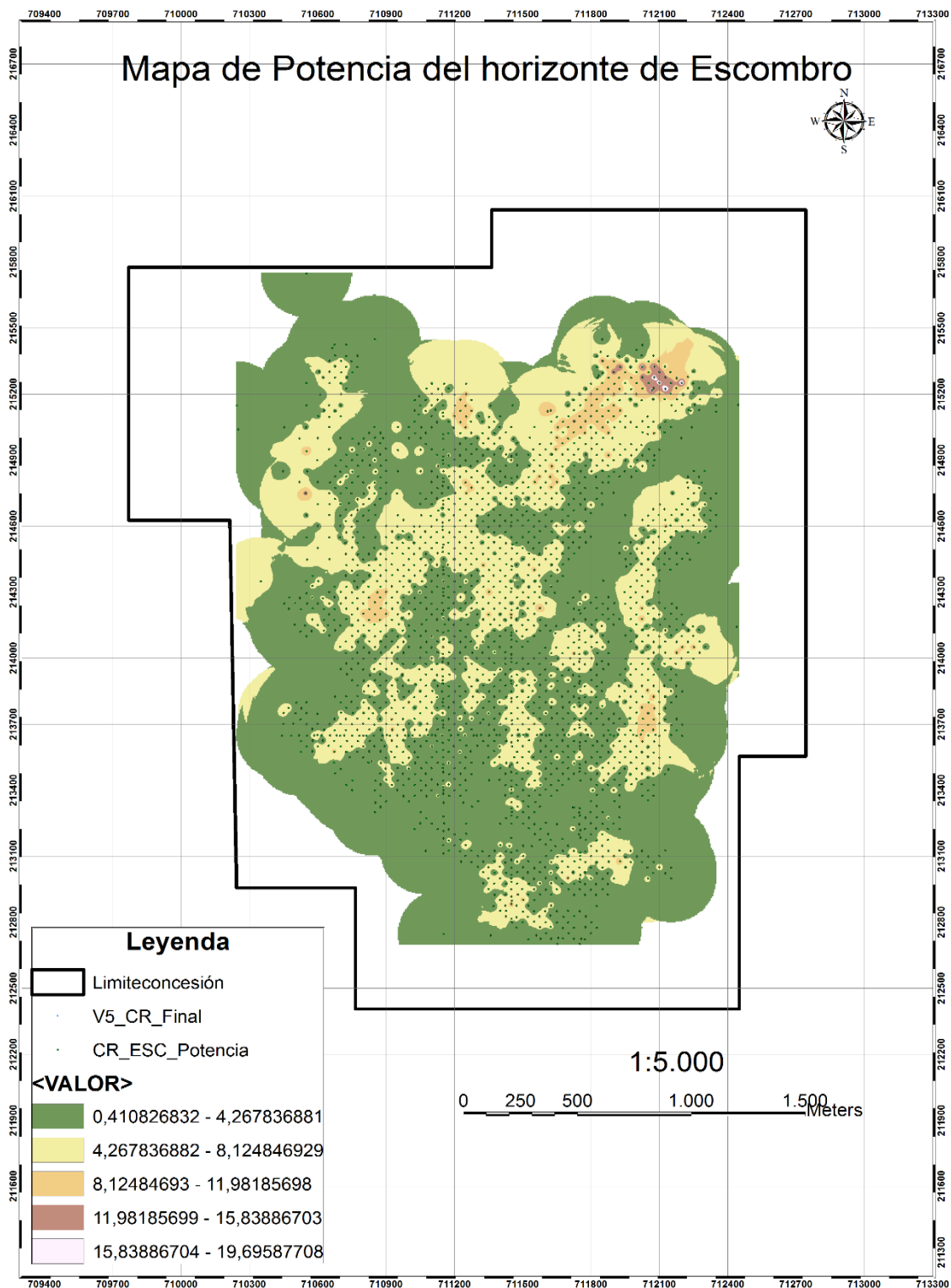




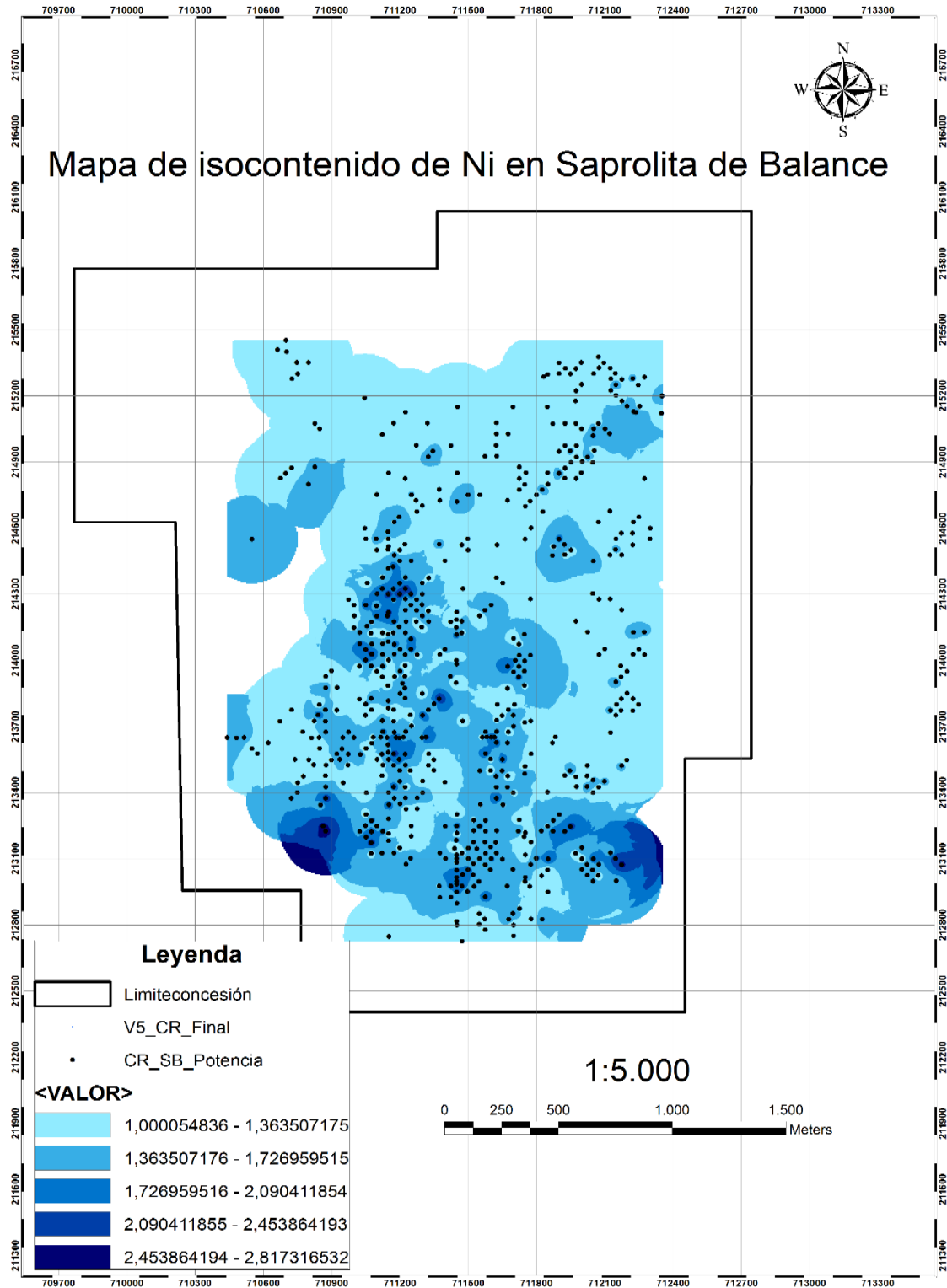
### Anexo No.8. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Cr en E, escala original 1: 5 000



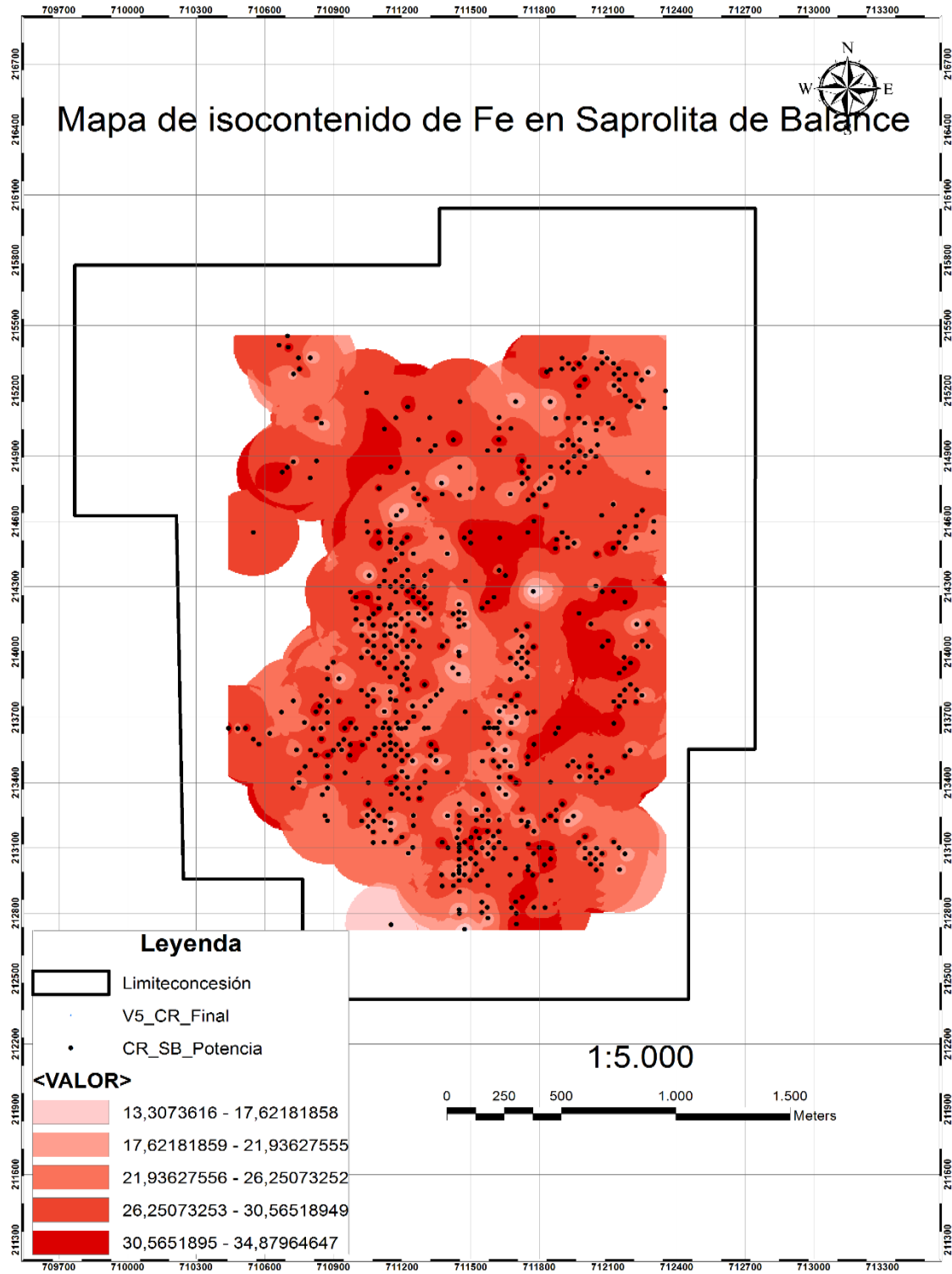
### Anexo No.9. Fotografía del mapa de potencia en el horizonte de E, escala original 1: 5 000



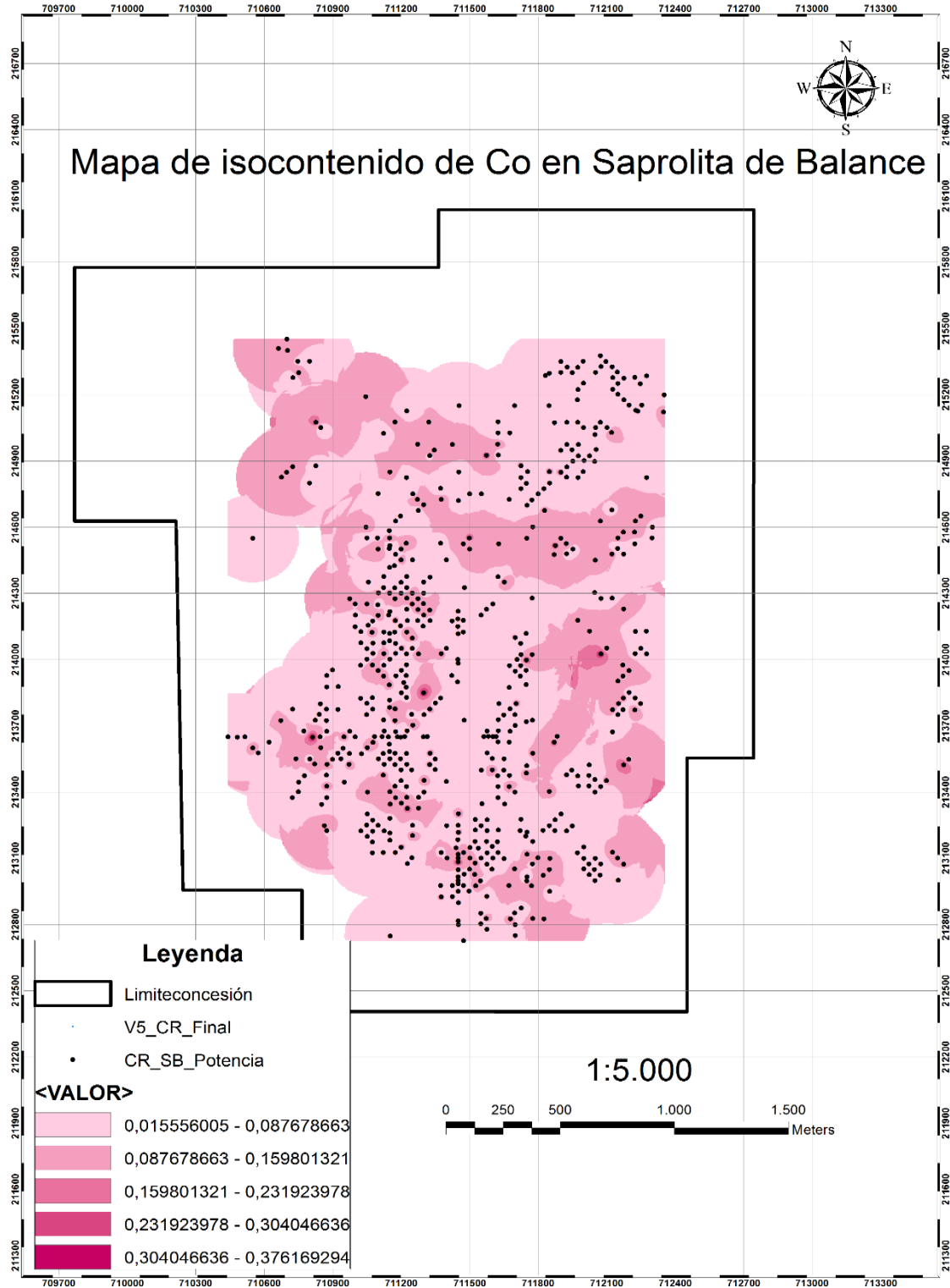
### Anexo No.10. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Ni en la SB, escala original 1: 5 000



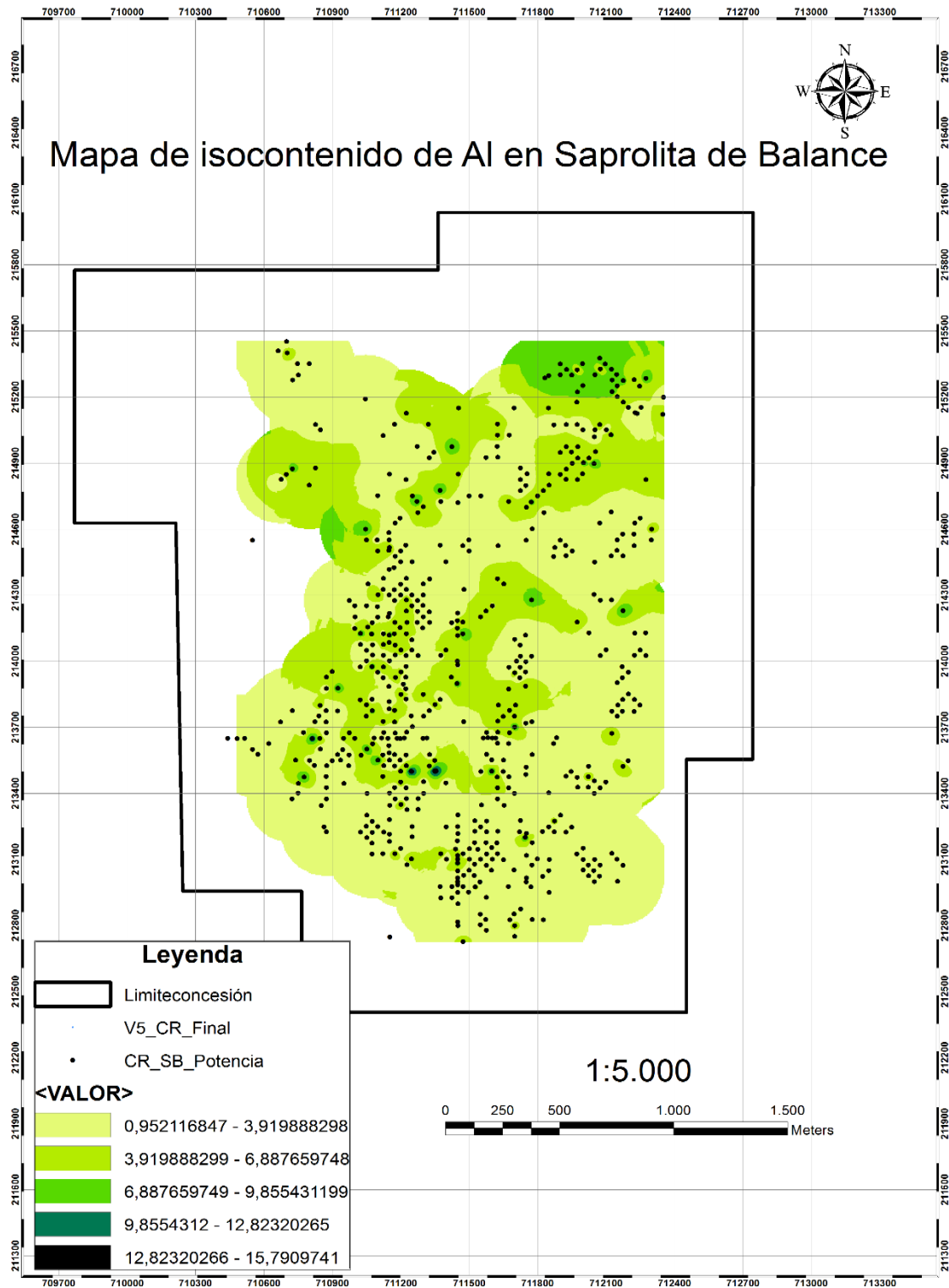
### Anexo No.11. Fotografía de mapa de distribución del contenido de Fe en la SB, escala original 1: 5 000



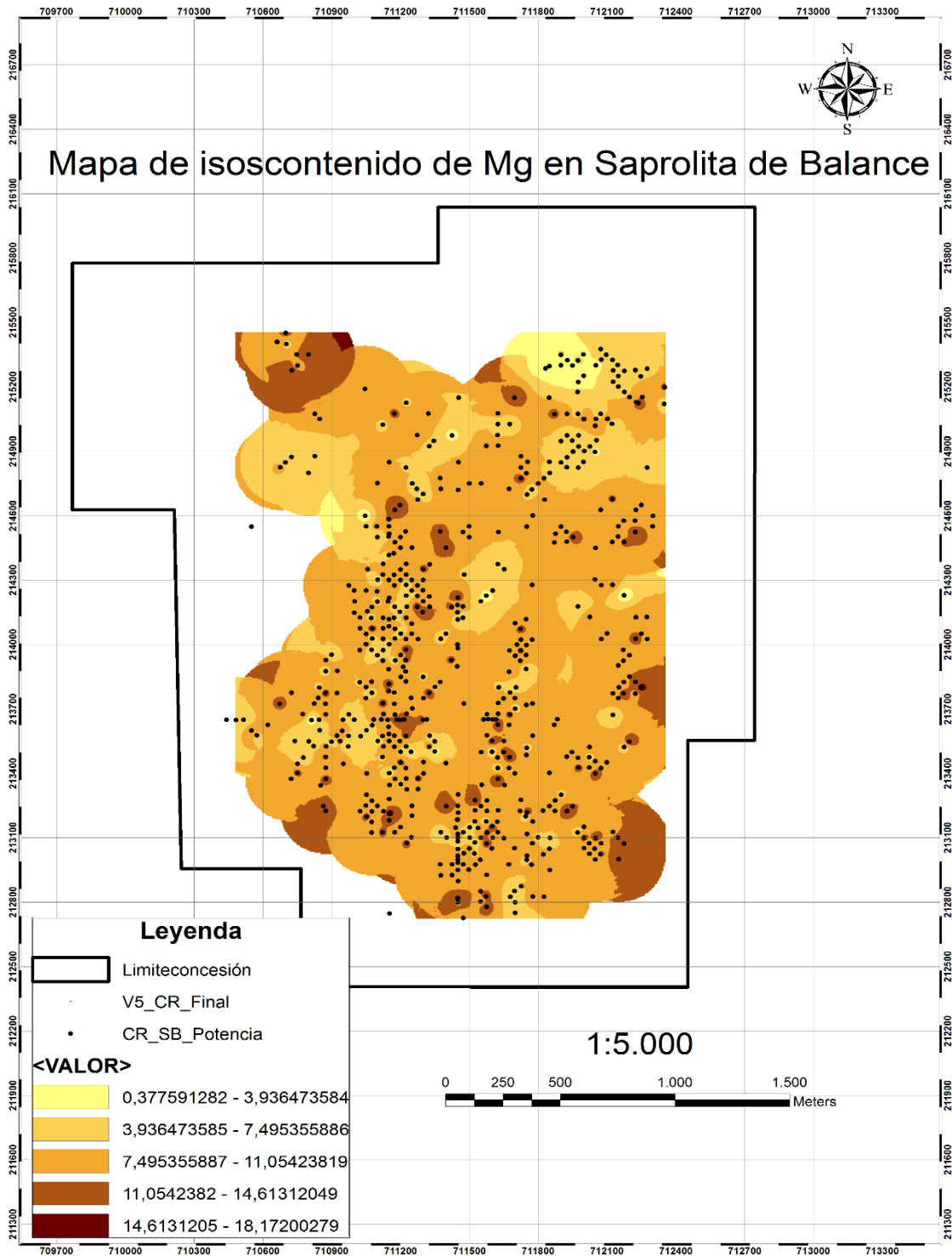
### Anexo No.12. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Co en la SB, escala original 1: 5 000



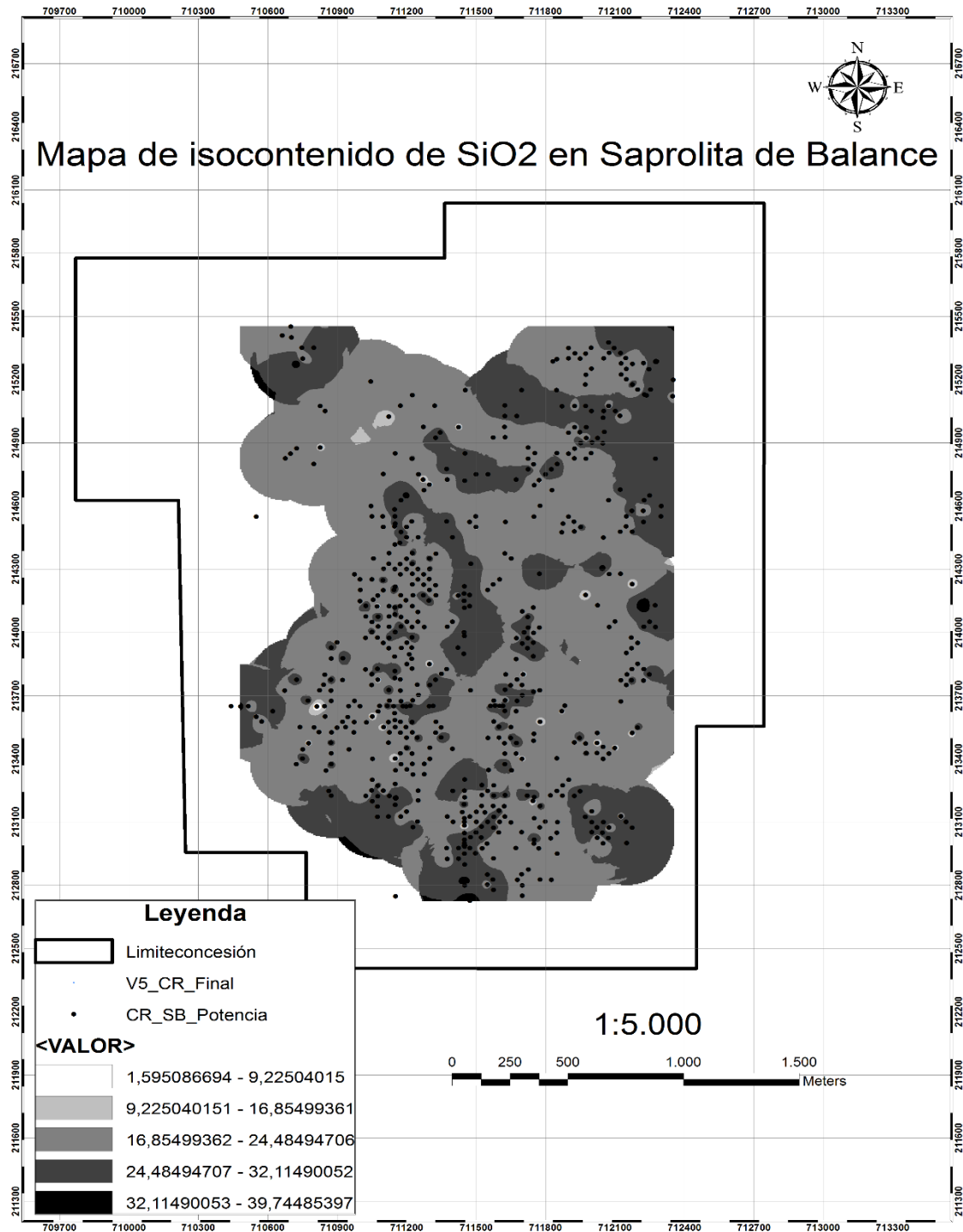
### Anexo No.13.Fotografía del mapa de distribución del contenido de Al en la SB, escala original 1: 5 000



### Anexo No.14. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Mg en la SB, escala original 1: 5 000

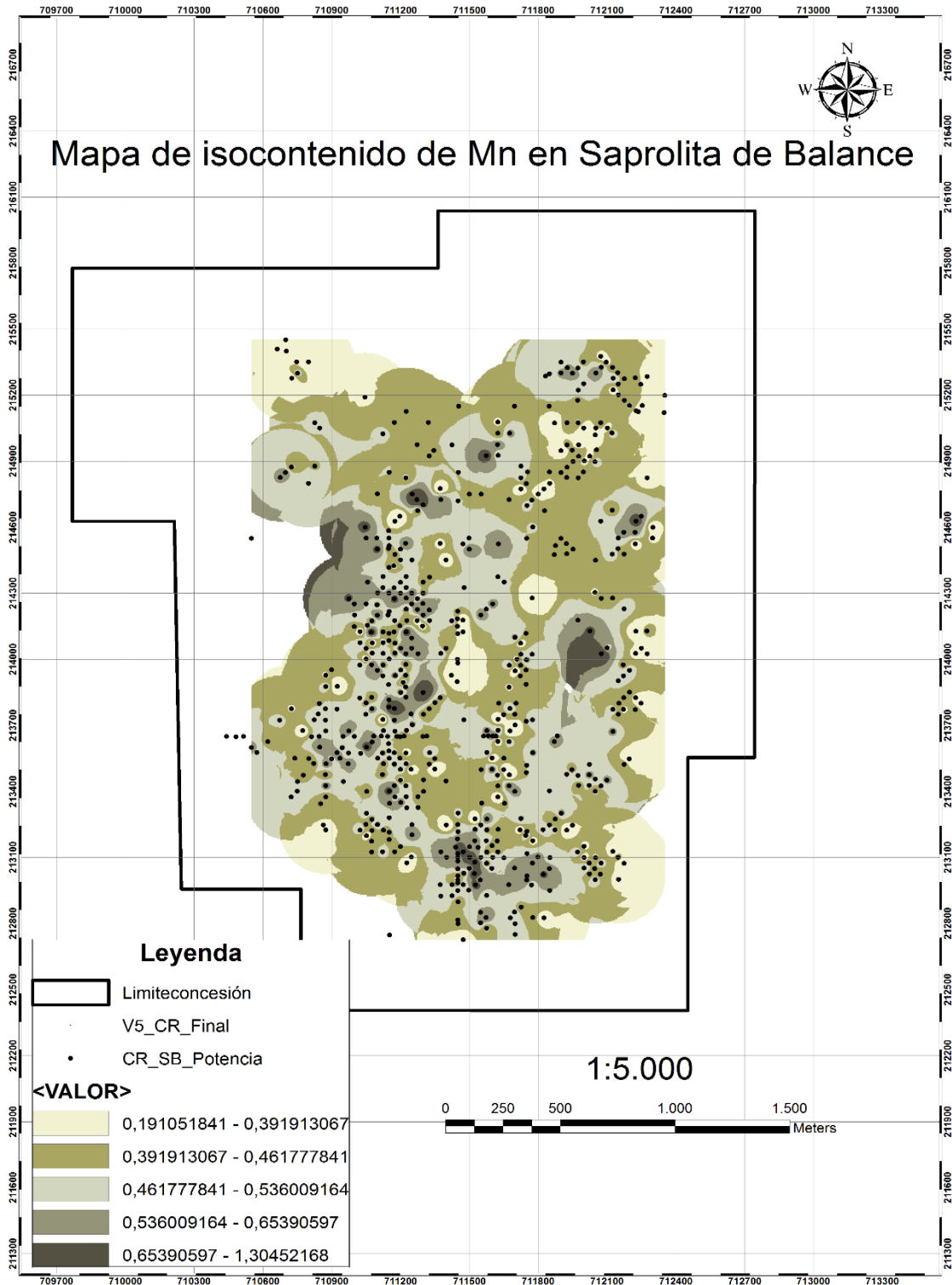


### Anexo No.15.Fotografía del mapa de distribución del contenido de SiO<sub>2</sub> en la SB, escala original 1: 5 000

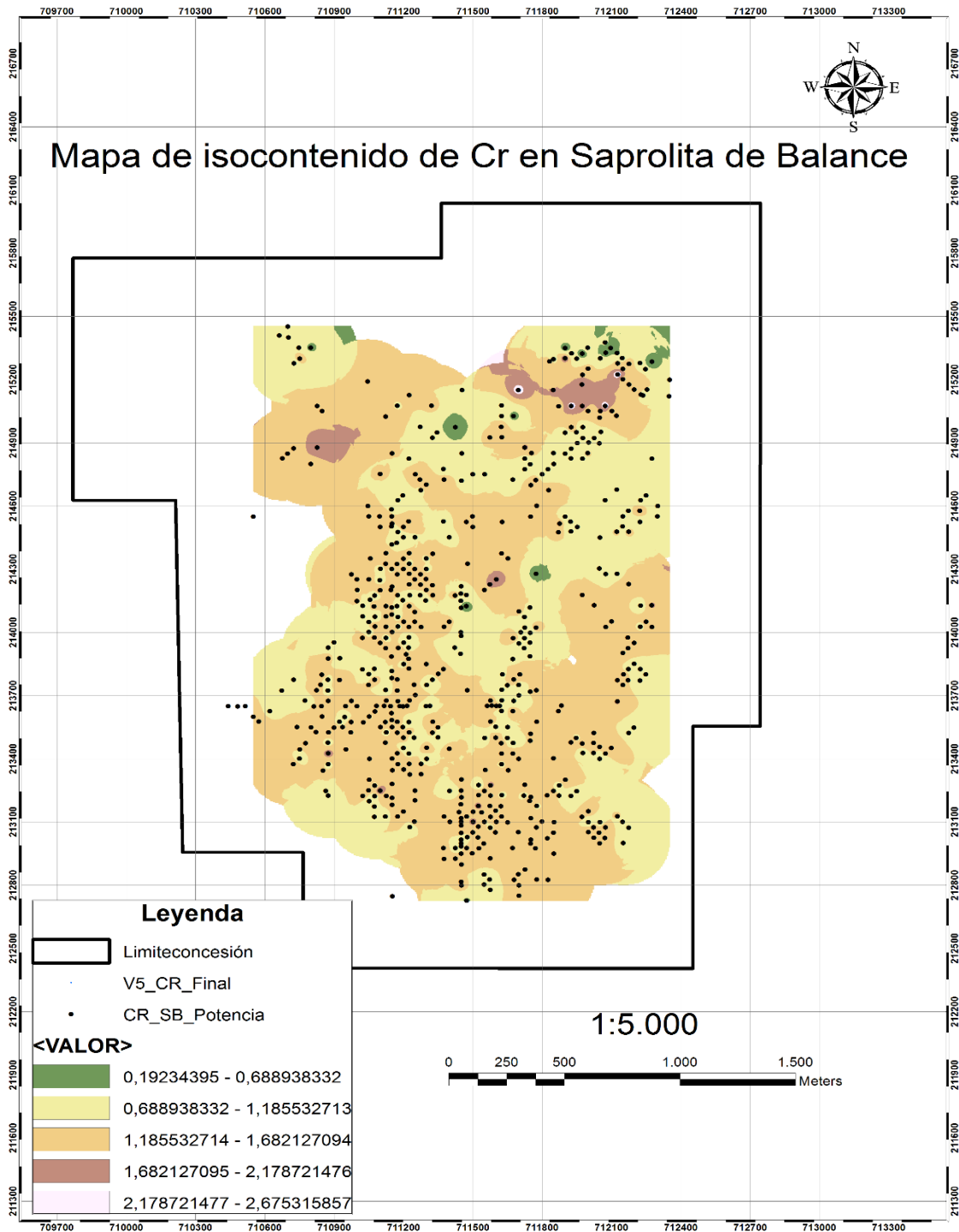




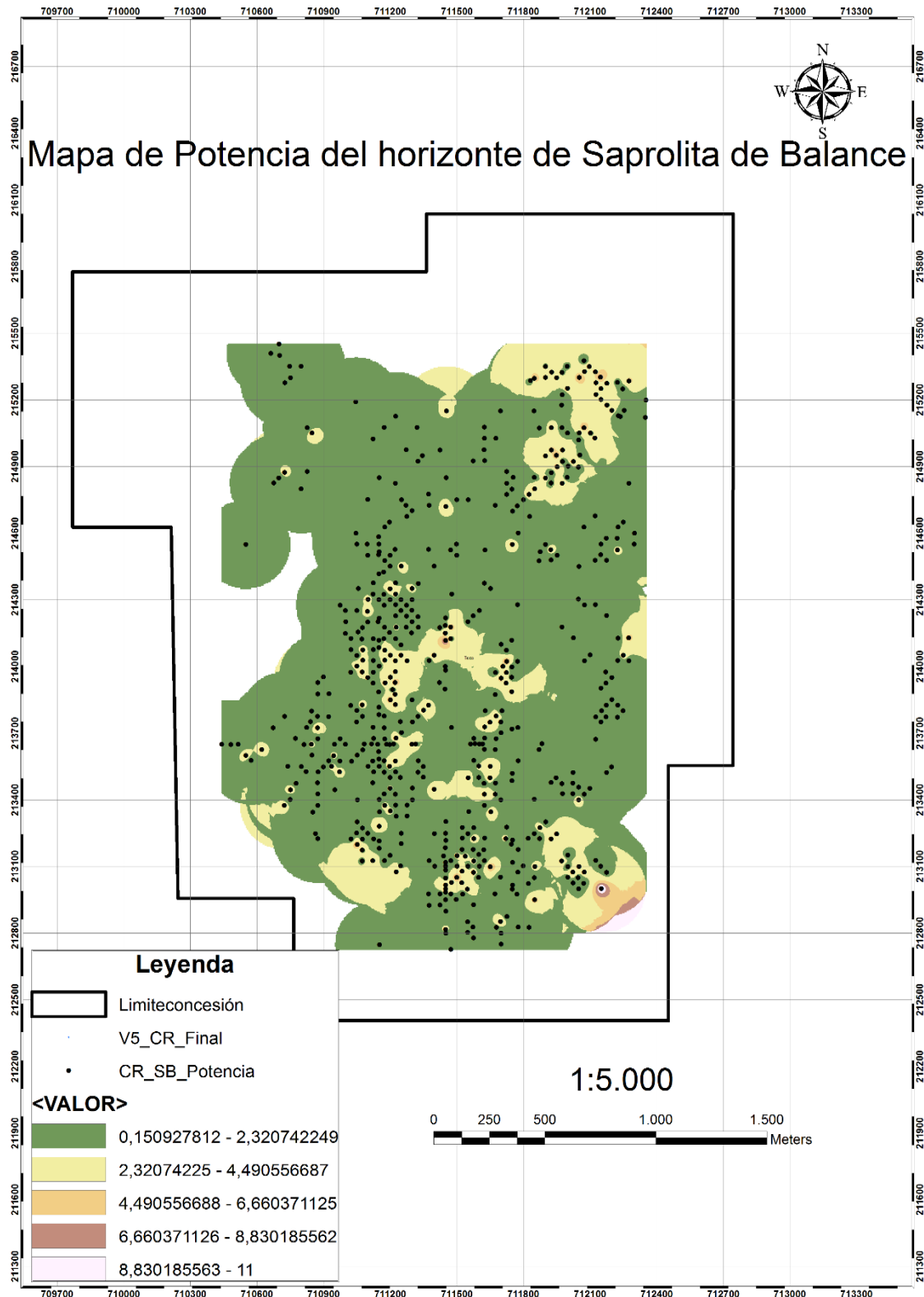
### Anexo No.16. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Mn en la SB, escala original 1: 5 000



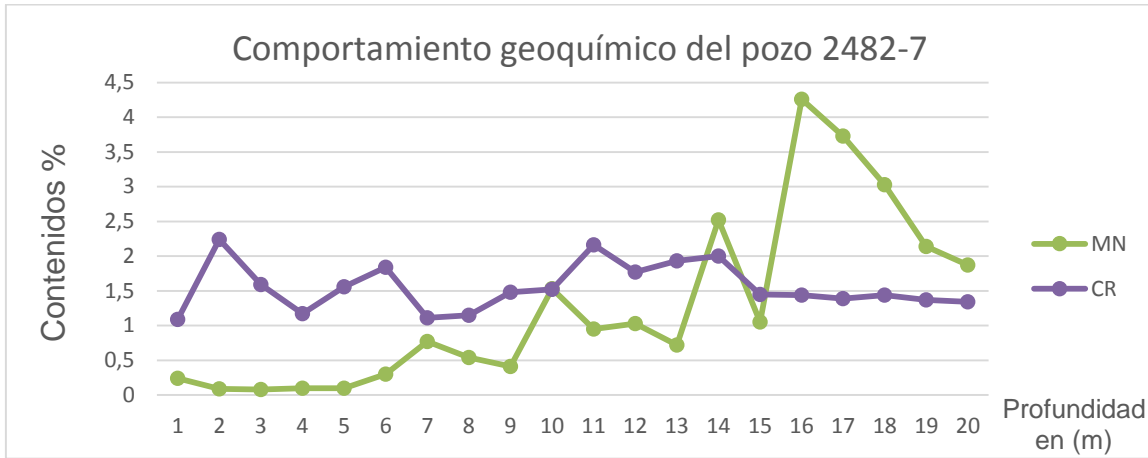
### Anexo No.17. Fotografía del mapa de distribución del contenido de Cr en la SB, escala original 1: 5 000



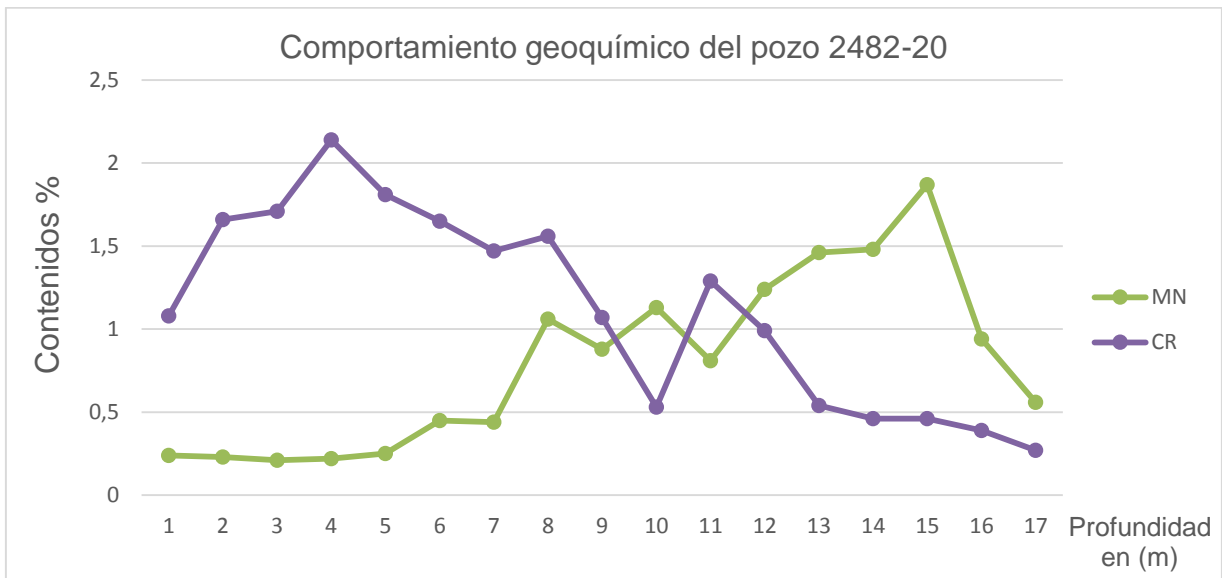
### Anexo No.18. Fotografía del mapa de potencia de la SB, escala original 1: 5 000



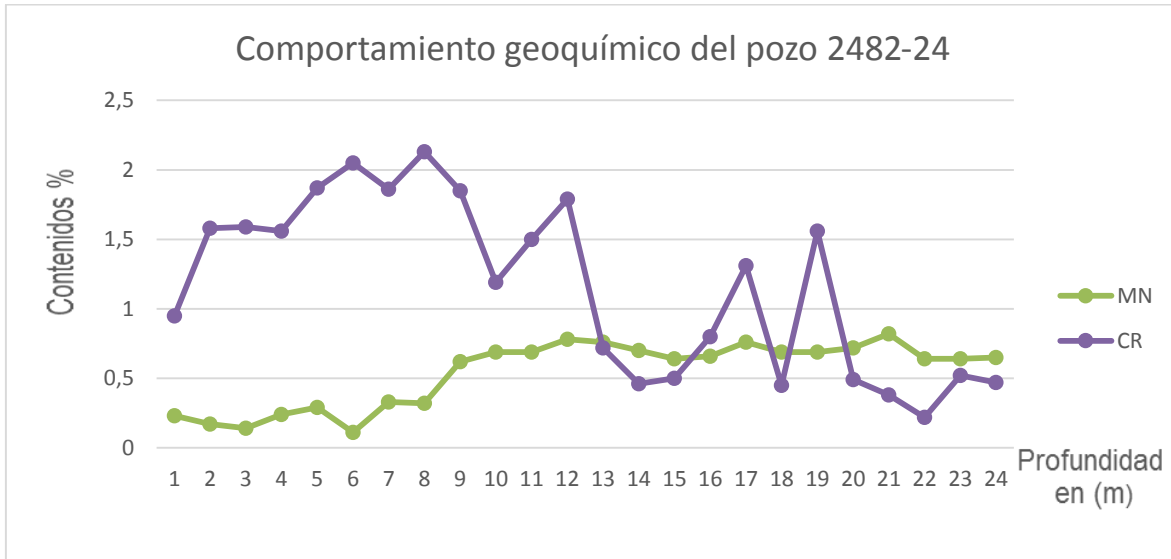
**Anexo No.19. Gráfico de comportamiento geoquímico para los elementos de manganeso y cromo en el pozo 2482-7**



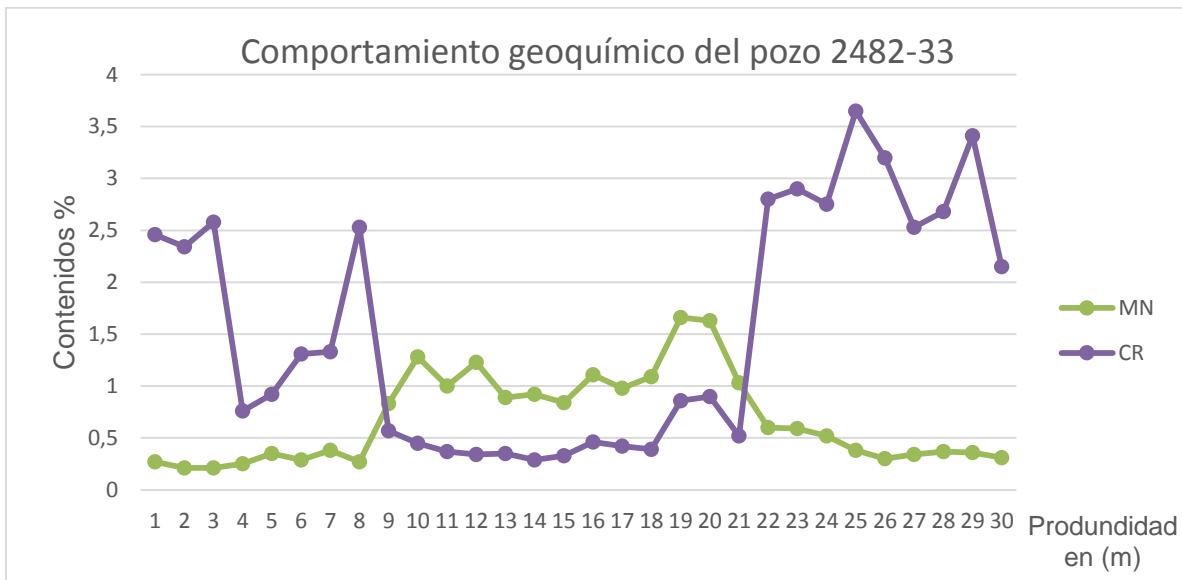
**Anexo No.20. Gráfico de comportamiento geoquímico para elementos de manganeso y cromo en el pozo 2482-20**



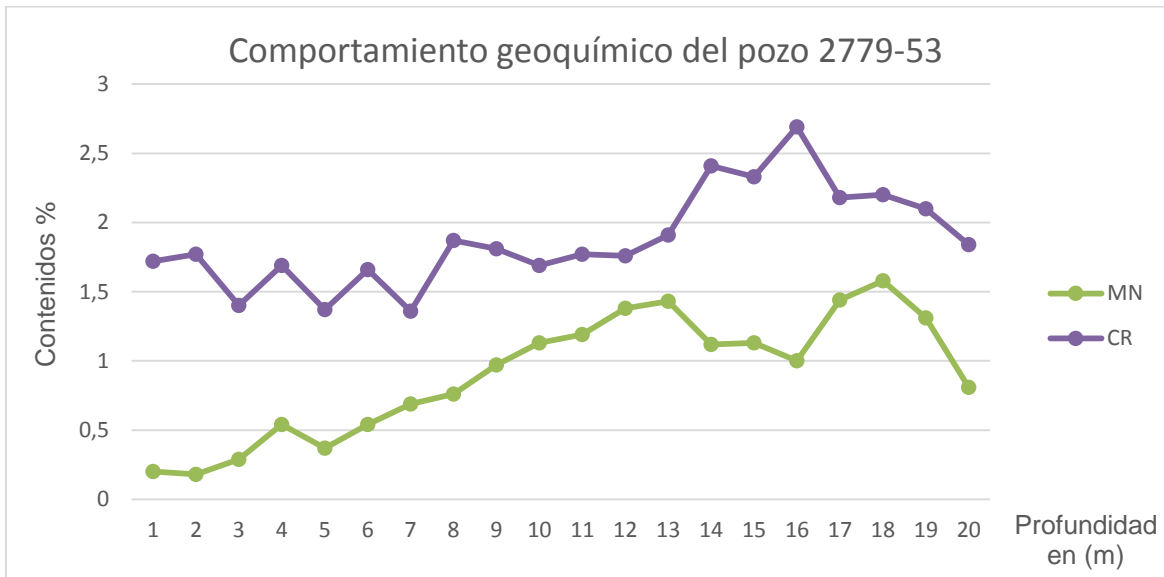
**Anexo No.21. Gráfico de comportamiento geoquímico para elementos de manganeso y cromo en el pozo 2482-24.**



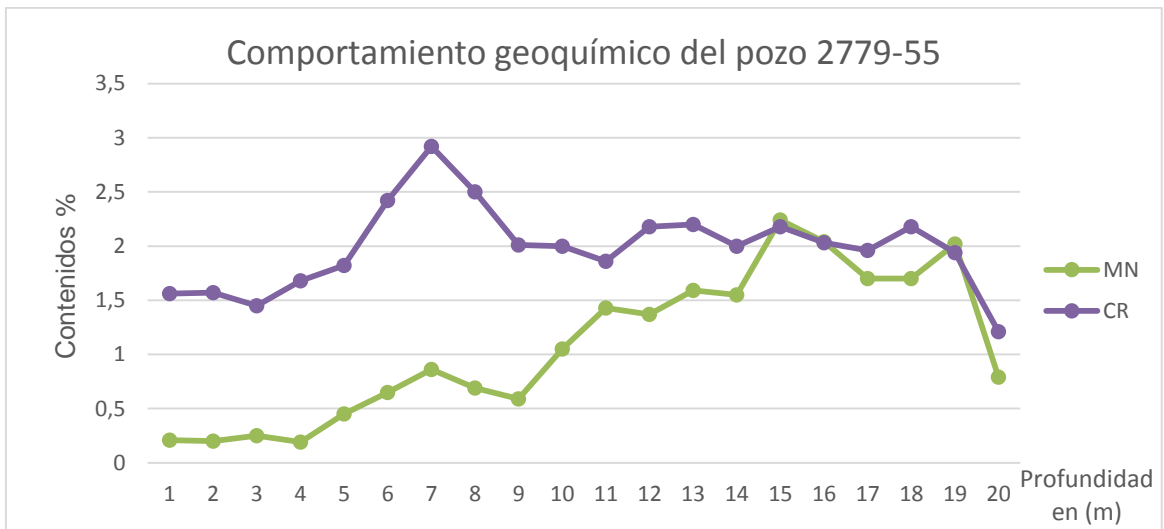
**Anexo No.22. Gráfico de comportamiento geoquímico para elementos manganeso y cromo en el pozo 2482-33**



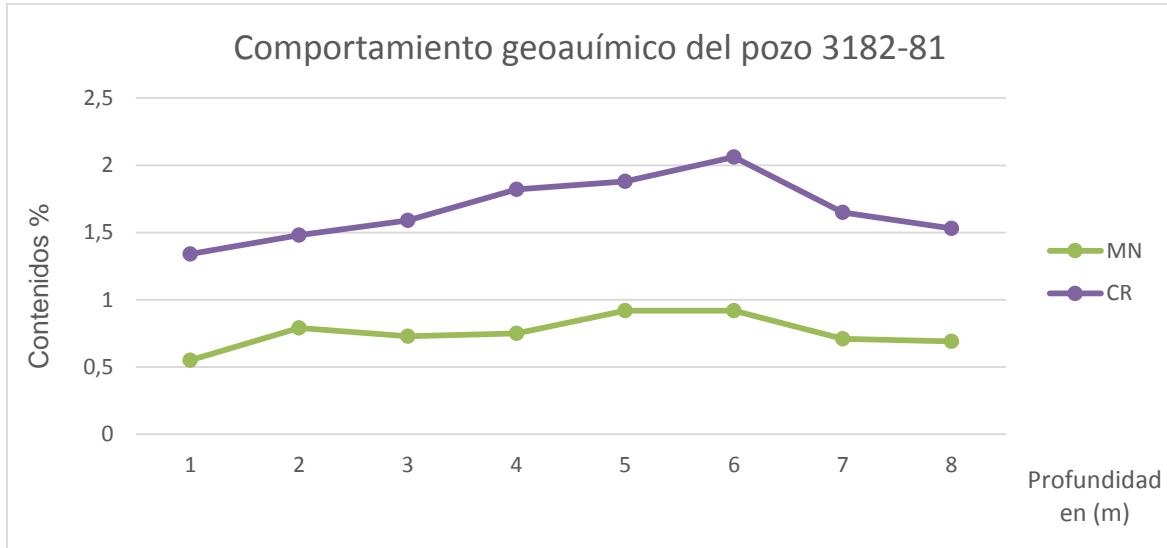
**Anexo No.23. Gráfico de comportamiento geoquímico para elementos manganeso y cromo en el pozo 2779-53**



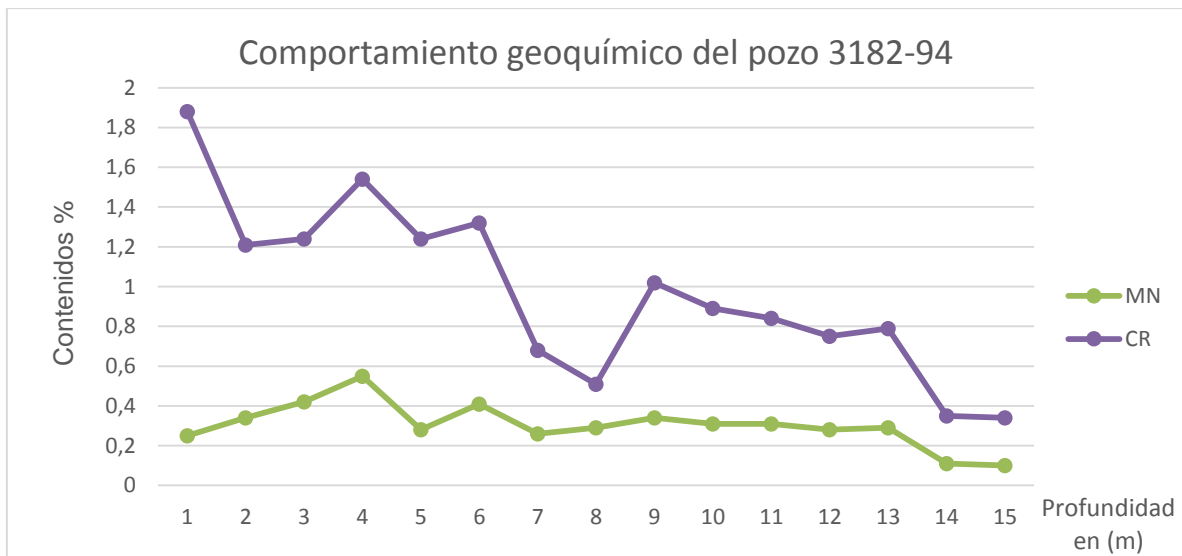
**Anexo No.24. Gráfico de comportamiento geoquímico para elementos de manganeso y cromo en el pozo 2779-55**



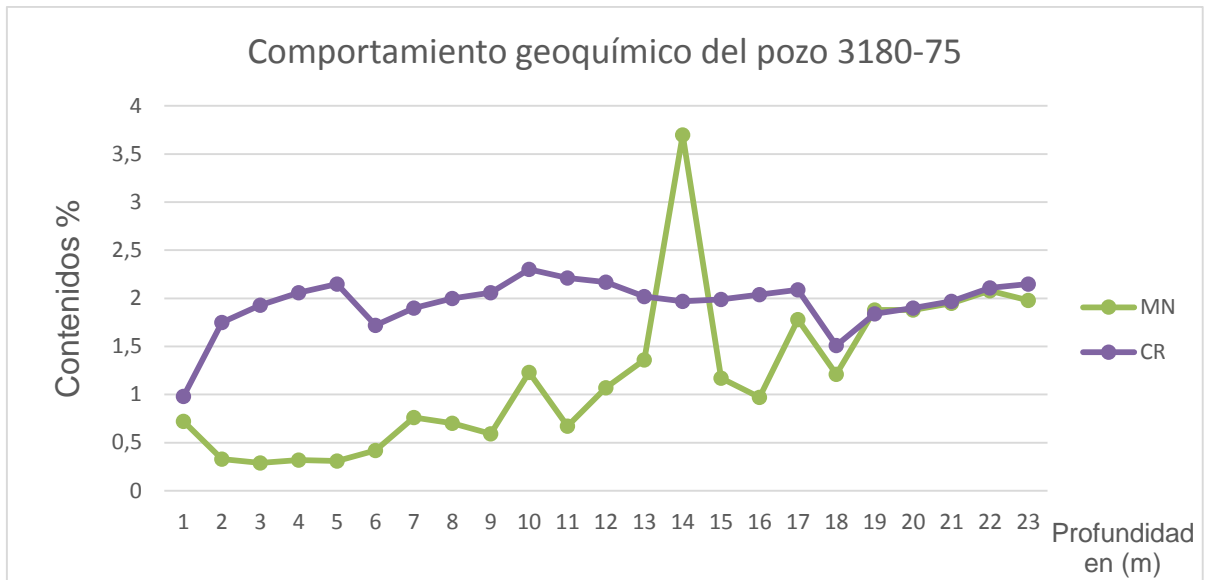
**Anexo No.25. Gráfico de comportamiento geoquímico para elementos de manganeso y cromo en el pozo 3182-81**



**Anexo No.26. Gráfico de comportamiento geoquímico para elementos de manganeso y cromo en el pozo 3182-94**

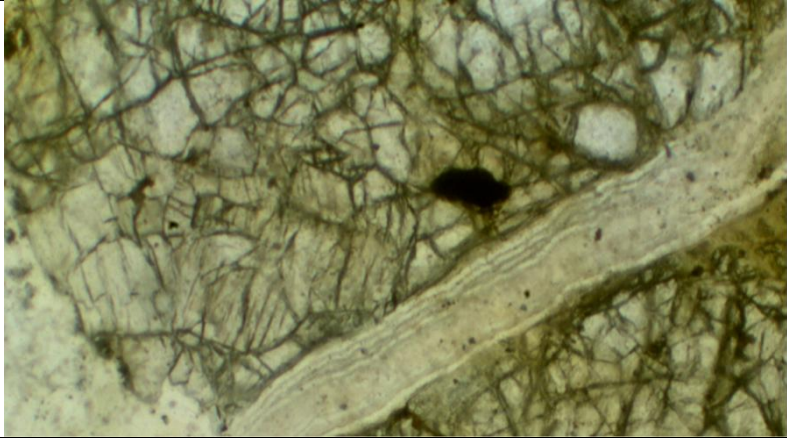
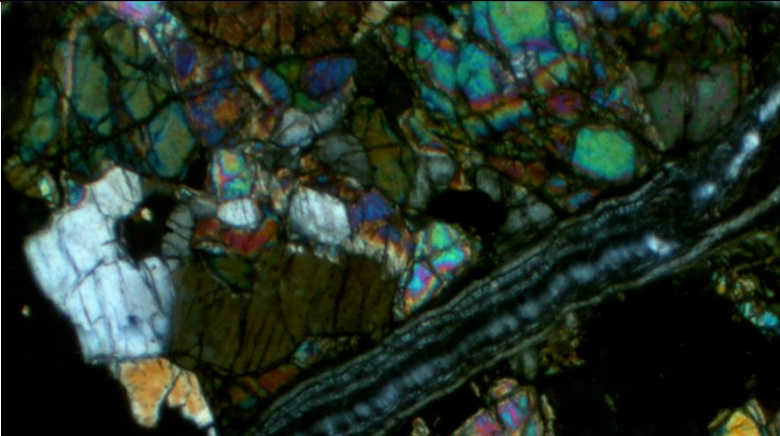


**Anexo No.27. Gráfico de comportamiento geoquímico para elementos de manganeso y cromo en el pozo 3180-75**

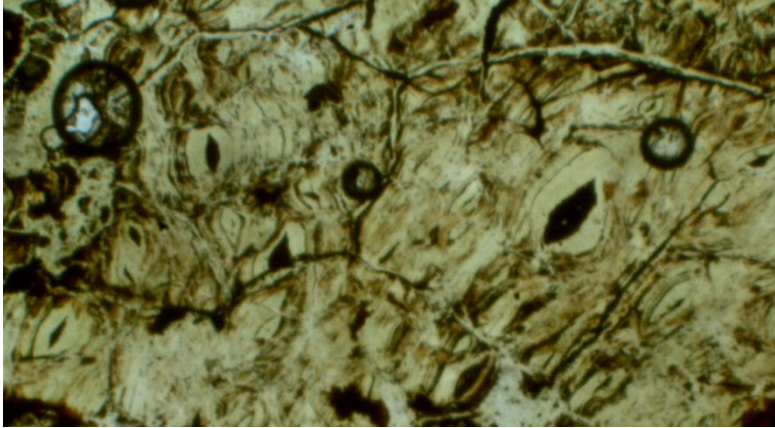
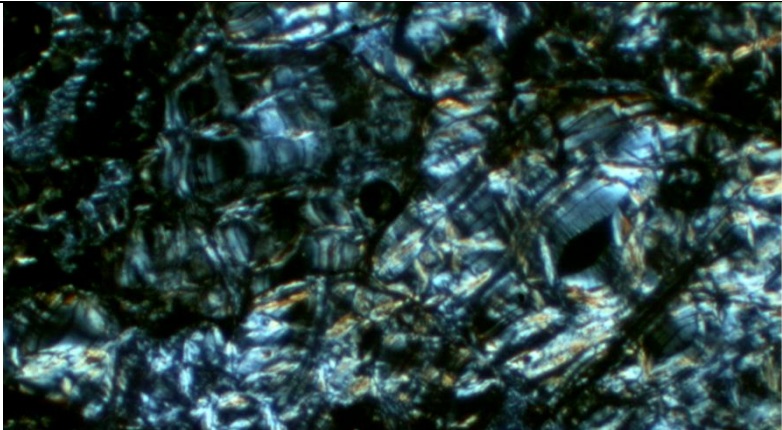





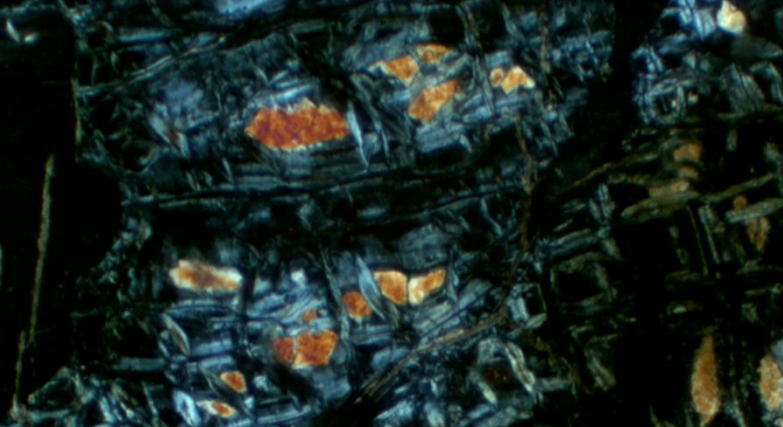
**Anexo No.28. Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

<b>1. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra:</b> CR-HZ-1516-1	
<b>Coordenadas:</b> X: 708475 Y: 216275	
<b>Tipo de laboreo:</b> levantamiento geológico	
<b>Nombre de la roca:</b> dunita	
<b>Textura:</b> idiomórfica equigranular	
<b>Estructura:</b> masiva	
<b>Color:</b> verde negruzco	
<b>Composición general:</b> olivino, piroxeno rómbico enstatita, iddingsita, antigorita, menas metálicas.	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
<p>Roca constituida por olivino que representa el 94 % del volumen total de la roca. El olivino con formas bien definidas (idiomórficas) formando un mosaico de cristales de tamaño 0,5 - 0,8 mm, su birrefringencia elevada, en ocasiones presenta en superficie fracturas irregulares.</p> <p>El piroxeno rómbico Enstatita en poca cantidad, en cristales tabulares y alcanza el 1 % de la roca. Se observa además iddingsita como producto de alteración del olivino, formando en ocasiones una textura de red o malla. En ocasiones se presenta junto con la antigorita este último formando finos cordoncillos.</p> <p>La mena metálica es la cromo espinela parda en parte con procesos de oxidación y cromita las cuales alcanzan el 0,8 %.</p> <p>Cortando a la roca se observan pequeñas vetillas rellenas de minerales del grupo de la sílice (ópalo y calcedonia) esta última en forma radial.</p>	
	nicoles paralelos
	nicoles X

**Anexo No.29.Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

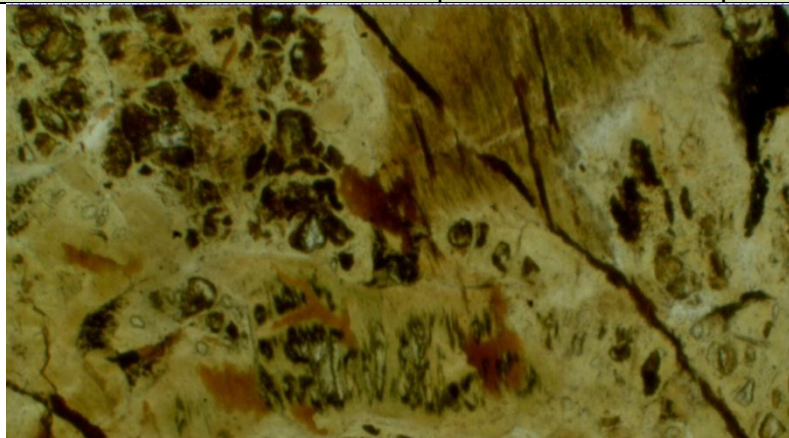
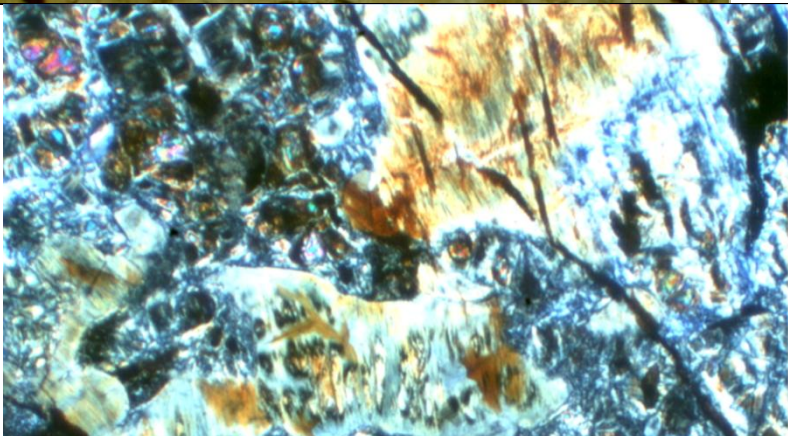
<b>2. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra:</b> CR-SM-220-1	
<b>Coordenadas:</b> X: 707550 Y: 213100	
<b>Tipo de laboreo:</b> levantamiento geológico	
<b>Nombre de la roca:</b> serpentinita	
<b>Textura:</b> pseudomórfica	
<b>Estructura:</b> masiva	
<b>Color:</b> verde, con espejo de fricción	
<b>Composición general:</b> minerales del grupo de la serpentina	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
Roca constituida por minerales del grupo de la serpentina, representada principalmente por antigorita, la cual se presenta en forma lamelar y finos cordones. La mena metálica está representada por óxidos de Fe, lo que le infiere a la roca una tonalidad rojiza. No se observan minerales relícticos.	
	nicoles paralelos
	nicoles X

**Anexo No.30.Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

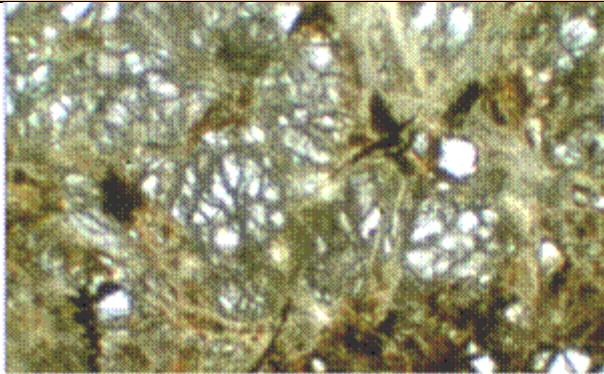

<b>3. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra:</b> CR-VM-1044-1	
<b>Coordenadas:</b> X: 707550 Y: 213400	
<b>Tipo de laboreo:</b> levantamiento geológico	
<b>Nombre de la roca:</b> serpentinita a partir de dunita.	
<b>Textura:</b> pseudomórfica	
<b>Estructura:</b> masiva	
<b>Color:</b> negro	
<b>Composición general:</b> olivino, minerales de la serpentina, mena metálica.	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
<p>La roca está representada por minerales de la serpentina (antigorita), olivino y mena metálica. La antigorita de color verde pálida- incolora y con nicoles cruzados llega hasta el amarillo de 1<sup>er</sup> orden, formando malla o rejilla alrededor del olivino relíctico.</p> <p>Los relictos de olivino tienen forma idiomórfica y alotriomórfica y representan el 35 % de la roca.</p> <p>Se observan además finas vetillas de carbonato, cortando a la roca.</p> <p>La mena metálica es la cromita y representa el 1 %.</p>	
	nicos paralelos
	nicos X



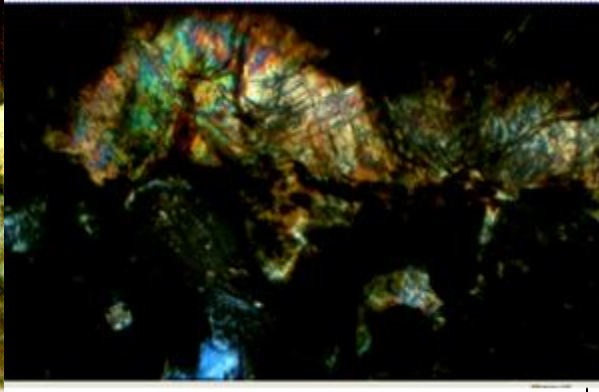
**Anexo No.31. Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

<b>4. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra:</b> CR-SM-362- 1	
<b>Coordenadas:</b> X: 711625,9 Y: 213776,2	
<b>Tipo de laboreo:</b> levantamiento geológico	
<b>Nombre de la roca:</b> harzburgita serpentinizada	
<b>Textura:</b> Reticular en parte alotriomórfica.	
<b>Estructura:</b> masiva	
<b>Color:</b> negro.	
<b>Composición general:</b> olivino, piroxeno rómbico, minerales del grupo de la serpentina, cromo espinela.	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
<p>La roca en sección delgada está algo oxidada por lo que se observa una tonalidad parduzca en la misma.</p> <p>Se presenta el olivino en cristales finos (0,6mm) de forma alotriomórfica (irregular), raras veces se observan granos idiomórficos, algunos de los cristales de olivino están sustituidos por óxido de Fe.</p> <p>La abundancia del olivino en la roca alcanza el 88%.</p> <p>El piroxeno rómbico está bastitizado raras veces en alteración a serpentina. Se presenta en forma tabular e irregular, granulometría fina (0,6mm) y alcanza el 10 % del volumen total de la roca</p> <p>La antigorita es el mineral de la serpentina presente en la roca, en forma de finos cordones dando un aspecto de malla a la misma.</p> <p>La mena metálica es la cromo espinela en cristales esqueléticos, irregulares está dispersa en la roca.</p>	
	nicoles paralelos
	nicoles X

**Anexo No.32.Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

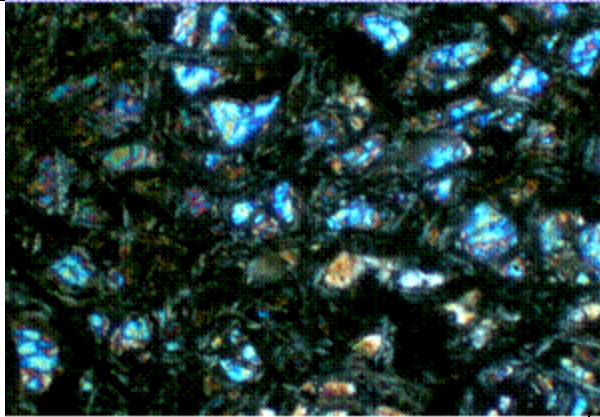
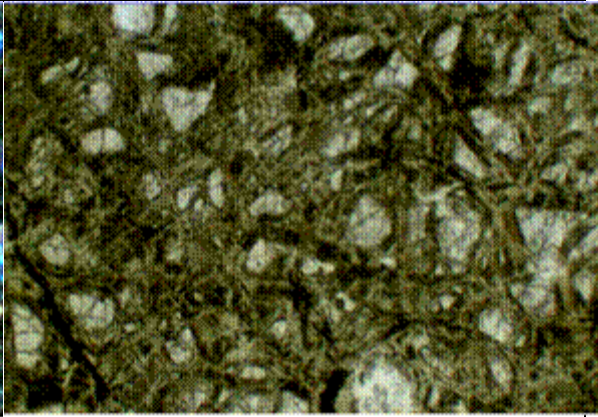
<b>1. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra: 21728</b>	
<b>Coordenadas: X: 711952.668 Y:214898.221</b>	
<b>Tipo de laboreo: pozo</b>	
<b>Nombre de la roca: harzburgita serpentizada</b>	
<b>Textura: intersticial, fibrosa, reticular</b>	
<b>Estructura: masiva</b>	
<b>Color: pardo claro</b>	
<b>Composición general: 35 % minerales serpentina, 45 % olivino, 15 % ortopiroxenos, 5 % magnetita</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
<p>Roca, con pequeñas fisuras o grietas rellenas de minerales serpentiniticos.</p> <p>Se observa aproximadamente un 35 % de minerales serpentiniticos representados por lizardita, antigorita y crisotilo, estos dos últimos con menos presencia que el primero.</p> <p>El olivino en granos alterado a minerales serpentiniticos, en un 45 %. Los ortopiroxenos enstatita se encuentran frescos y bastitizados en un 15 %, en cristales tabulares, prismáticos, alargados, clivaje en una y dos direcciones, alterados a bastita y formando en parte de la roca una textura glomeroporfirica.</p> <p>Los minerales serpentiniticos con textura reticular, están presentes en un 35 %.</p> <p>El mineral metálico es magnetita, con procesos de oxidación, dispuesto por las fibras del mineral serpentinitico y en forma de polvo muy fino disperso por toda la muestra y están presentes en un 5 %.</p>	
	
nicoles paralelos	nicoles X

**Anexo No.33.Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

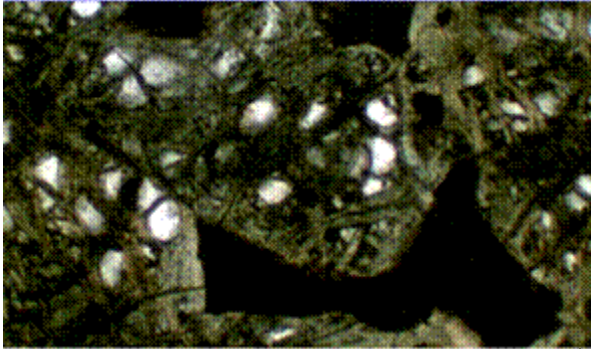
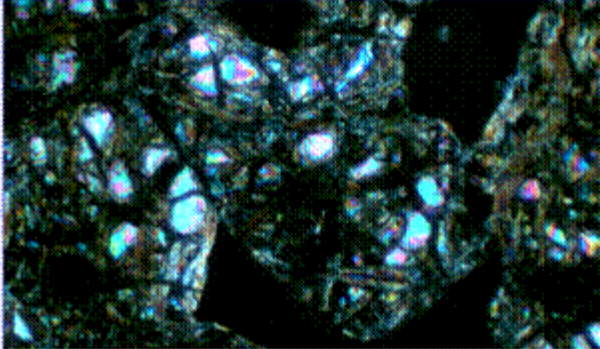
<b>2. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra: 21730</b>	
<b>Coordenadas: X: 711851.291Y:214799.428</b>	
<b>Tipo de laboreo: pozo</b>	
<b>Nombre de la roca: metasomatita</b>	
<b>Textura: Intersticial, fibrosa, reticular</b>	
<b>Estructura: masiva</b>	
<b>Color: verde oscuro</b>	
<b>Composición general: minerales de alteración clorita, minerales serpentínicos, talco, carbonato, óxido de hierro.</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
Se observa en el corte una veta de 2 cm de ancho aproximadamente, rellena por mineralización de color verde claro, posibles minerales de la serpentina. Roca con escasos relictos, con intensos procesos metasomáticos minerales arcillosos, cloritización, taltitización, carbonatización, muy manchada por óxidos de hierro, atravesada por numerosas grietas rellenas de mineral serpentínico (antigorita). El mineral metálico es magnetita con procesos de oxidación.	
	
nicoles paralelos	nicoles X



**Anexo No.34.Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

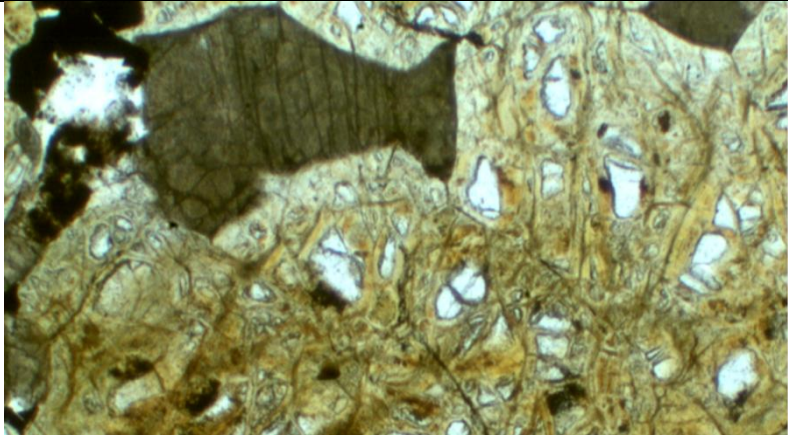
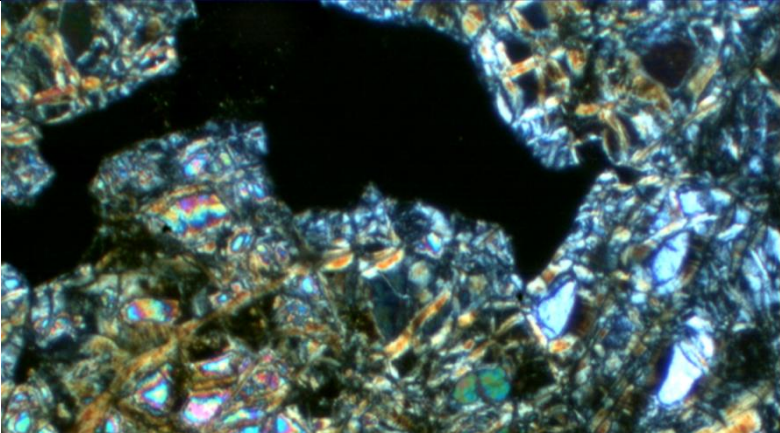
<b>3. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra:</b> 21702	
<b>Coordenadas:</b> X: 712052.856	Y: 215299.64
<b>Tipo de laboreo:</b> pozo	
<b>Nombre de la roca:</b> dunita serpentinizada	
<b>Textura:</b> reticular	
<b>Estructura:</b> masiva	
<b>Color:</b> oscuro	
<b>Composición general:</b> 60 % de olivino, 10 % mineral metálico, 30 % minerales del grupo de la serpentina	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
<p>Es una roca compuesta por el 60 % de olivino, con procesos de alteración a serpentización a minerales del grupo de la serpentina (lizardita y crisotilo), los cuales forman textura de malla, observándose centro de esta textura los relictos de olivino.</p> <p>El mineral metálico es abundante, presente en un 10 %, dispuesto en la roca por las fibras del mineral serpentínico y en forma de polvo muy fino disperso por toda la muestra y también en granos de tamaño medio, dando esta mineralización tonalidades oscuras a la roca.</p> <p>Los minerales del grupo de la serpentina ocupan el 30 % del volumen total de la roca.</p>	
	
nicoles paralelos	nicoles X

**Anexo No.35.Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

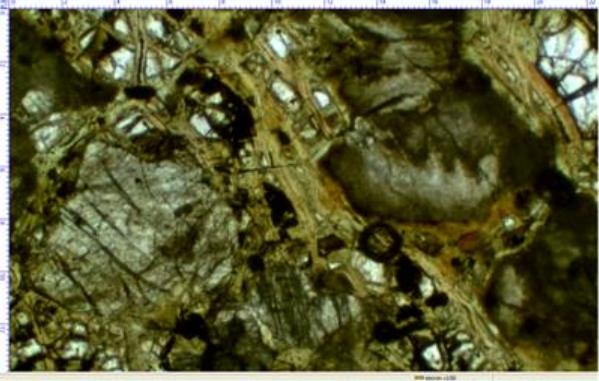
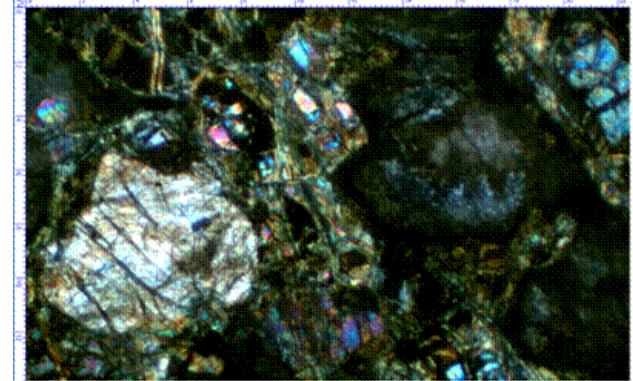
<b>4. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra:</b> 21701	
<b>Coordenadas:</b> X: 711950.14Y:215299.21	
<b>Tipo de laboreo:</b> pozo	
<b>Nombre de la roca:</b> dunita plagioclásica serpentizada	
<b>Textura:</b> reticular	
<b>Estructura:</b> masiva	
<b>Color:</b> oscuro	
<b>Composición general:</b> 60 % de olivino, 25 % de mineral serpentínico, 10 % de relictos de plagioclasas saussuritizadas, 5 % de mineralización metálica	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
<p>Roca con aproximadamente un 60 % de relictos de olivino, los cuales están alterados a minerales serpentínicos. Los minerales lizardita y crisotilo en fibras gruesas que atraviesan los granos de olivino formando una textura reticular, estos minerales ocupan el 25 % en la muestra. Los relictos de olivino en el centro de estos retículos.</p> <p>Las plagioclasas alteradas a minerales arcillosos saussurita, formando un agregado criptocristalino como el hidrogranate, isotrópico en un 10 %.</p> <p>La mineralización metálica magnetita diseminada por toda la muestra y acentuando las fibras de minerales serpentínicos.</p>	
	
nicos paralelos	nicos X



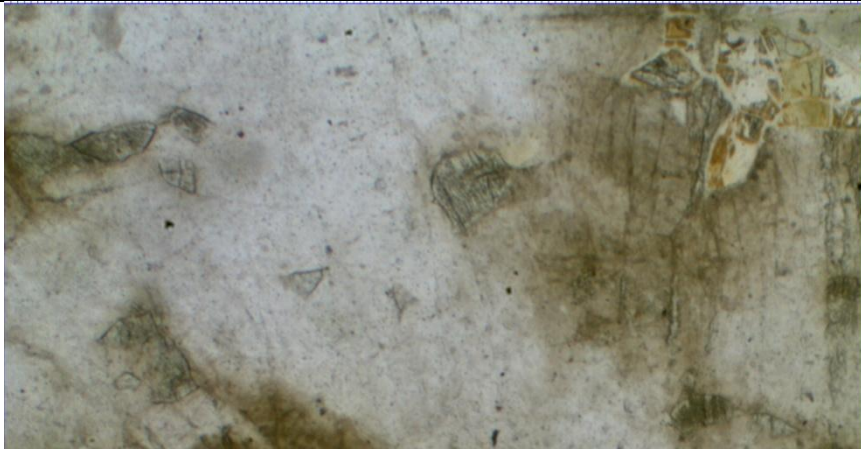
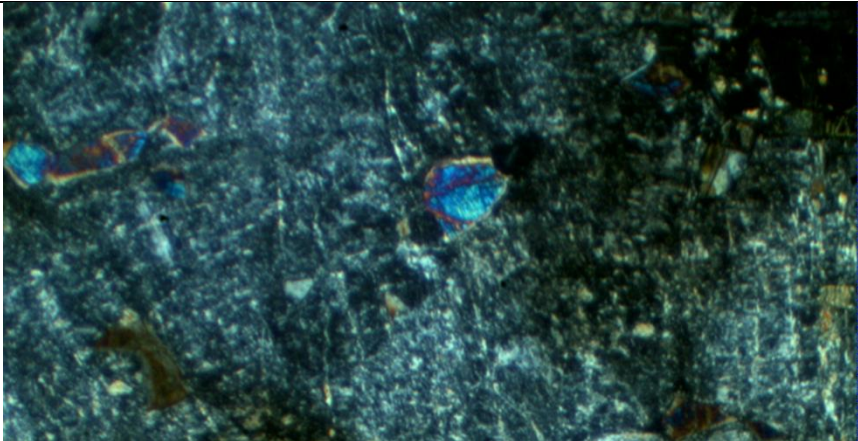
**Anexo No.36.Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

<b>5. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra:</b> CR-HZ-1530-1	
<b>Coordenadas:</b> X: 707450 Y: 213000	
<b>Tipo de laboreo:</b> levantamiento geológico	
<b>Nombre de la roca:</b> dunita plagioclásica	
<b>Textura:</b> reticular	
<b>Estructura:</b> masiva	
<b>Color:</b> gris oscuro con manchas blancas.	
<b>Composición general:</b> olivino, iddingsita, plagioclasas alteradas, menas metálicas	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
<p>Roca representada por olivino de forma allotriomórfica en ocasiones idiomórfica con su elevada birrefringencia característica y cuyos granos o cristales se encuentran rodeados por iddingsita y en menor proporción antigorita dando a la roca un aspecto de malla o retículo, el tamaño de los cristales de olivino es fino. El olivino alcanza el 70 % del volumen de la roca</p> <p>La iddingsita de forma lamelar y en finos cordones de color parduzco y birrefringencia de moderada a elevada formando retículos con malla alrededor del olivino.</p> <p>La plagioclasa? totalmente alterada a minerales arcillosos con birrefringencia muy baja casi isótropa, en forma irregular ocupando espacios vacíos entre el olivino reticular. La plagioclasa representa aproximadamente el 25 % de la roca. La mena metálica está representada por cromita al parecer a partir de cromo espinela y se encuentra en 1,5 %.</p>	
	nicoles paralelos
	nicoles X

**Anexo No.37. Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

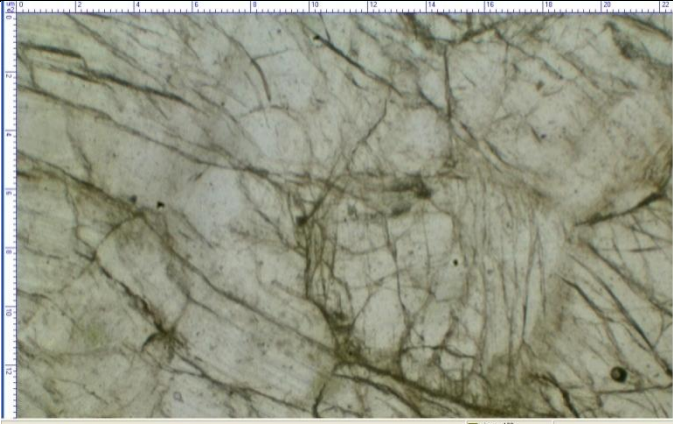
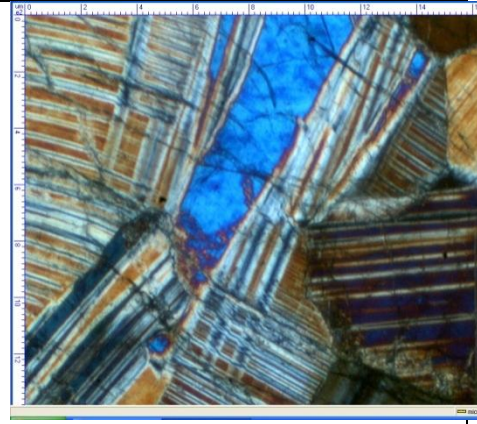
<b>5. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra: 46216</b>	
<b>Coordenadas: X: 712349,466</b>	<b>Y:214599,923</b>
<b>Tipo de laboreo: pozo</b>	
<b>Nombre de la roca: troctolita alterada</b>	
<b>Textura: reticular</b>	
<b>Estructura: masiva</b>	
<b>Color: verde oscuro, con tonalidades blancuzcas</b>	
<b>Composición general: 35 % de plagioclasas, 40 % de olivino, 10 % de minerales serpentínicos producto de la alteración del olivino y un 15 % de magnetita.</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
Roca compuesta por plagioclasas, olivino con intensos procesos de alteración. Las plagioclasas en un 35 % alteradas, saussuritizadas se presentan como manchas oscuras, casi isotropas, de aspecto criptocristalino, con alto relieve, las maclas a penas se observan. El olivino en un 40 %, serpentinizados, atravesado por venillas de mineral serpentínico-crisotilo formando textura reticular y un agregado de magnetita en granos muy finos diseminado por toda la muestra y por las fibras de crisotilo. Manchas de óxido de hierro en la muestra.	
	
nicoles paralelos	nicoles X

**Anexo No.38.Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

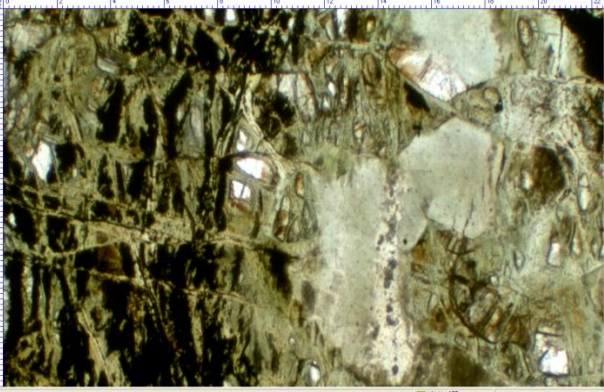
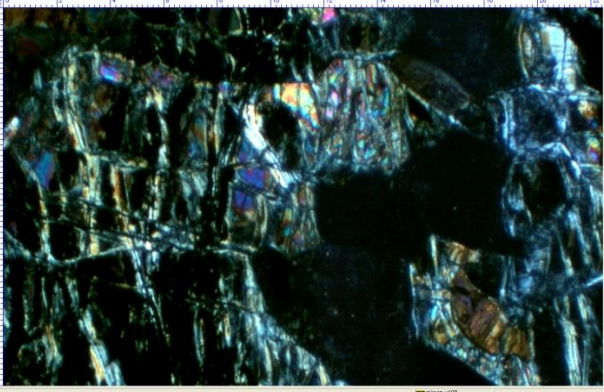
<b>6. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>		
<b>No. Muestra:</b> CR-HZ-1575 -1		
<b>Coordenadas:</b> X: 712276,3Y:215231,3		
<b>Tipo de laboreo:</b> levantamiento geológico		
<b>Nombre de la roca:</b> gabro alterado		
<b>Textura:</b> hipidiomórfica en parte reticular		
<b>Estructura:</b> masiva		
<b>Color:</b> blanco manchado de óxido de hierro		
<b>Composición general:</b> olivino, plagioclasas alteradas, mineral de la serpentina, iddingsita, piroxeno monoclinico, mena metálica.		
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>		
<p>La roca analizada está alterada y presenta un agregado escamoso de sericita, posiblemente a partir de plagioclasa. Se observan granos de olivino encerrados en antigorita y en otras ocasiones por iddingsita, esta última con nicoles // rojo-parduzco y birrefringencia moderada con nicoles X.</p> <p>Las plagioclasas primarias además de estar sericitizadas se encuentran saussuritizadas (agregado criptocristalino de epidota).</p> <p>Se observan además pequeños cristales tabulares de piroxeno monoclinico de manera aislada con clivaje en una dirección.</p> <p>La mena metálica es magnetita en 1 %.</p> <p>La roca es un gabro alterado a sericita, epidota e iddingsita.</p>		
		nicoles paralelos
		nicoles X



**Anexo No.39.Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

<b>6. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra: 49030</b>	
<b>Coordenadas: X : 712250.12:</b>	<b>Y: 214798.46</b>
<b>Tipo de laboreo: pozo</b>	
<b>Nombre de la roca: gabro pegmatita</b>	
<b>Textura: alotriomórfica granular, títica (granos de minerales gruesos)</b>	
<b>Estructura: masiva</b>	
<b>Color: roca con tonalidades claras</b>	
<b>Composición general: 65 % plagioclasas, 30 % clinopiroxenos, 3 % ortopiroxenos y 2 % olivino</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
<p>Roca de grano grueso, con textura alotriomórfica granular, como minerales principales, la plagioclasas, el clinopiroxeno y más escaso ortopiroxenos y olivino. Las plagioclasas en un 65 % de composición labradorita, en cristales gruesos, en forma tabulares alargadas y en parte anchas, con extinción entre 12 y 13 grados aproximadamente. El clinopiroxeno en un 30 % aproximadamente, irregulares, en parte dispuesto de forma intersticial en cristales gruesos y el ortopiroxenos en 3 % y el olivino en un 2 % aproximadamente.</p> <p>Minerales secundarios muy escasos, en partes de la roca de forma muy aislada sericita por los borde de la plagioclasas.</p>	
	
nicoles paralelos	nicoles X

**Anexo No.40. Descripción de secciones delgadas de superficie de Cantarrana.  
(Figueras, M. et al., 2015)**

<b>7. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	
<b>No. Muestra: 49031</b>	
<b>Coordenadas: X:712352.27</b>	<b>Y: 214698.16</b>
<b>Tipo de laboreo: pozo</b>	
<b>Nombre de la roca: gabro olivínico alterado</b>	
<b>Textura: fibrosa, reticular</b>	
<b>Estructura: masiva</b>	
<b>Color: verde oscuro</b>	
<b>Composición general: 25 % de plagioclasas, 30 % de olivino alterado, 20 % de clinopiroxenos, 5 % de ortopiroxenos, 10 % de magnetita, minerales serpentínicos 10 %.</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE DETALLE</b>	
Roca compuesta por plagioclasas en un 25 % alteradas, aparecen como manchas de aspecto criptocristalino, casi isótropas relieve alto, pelitizadas, con bordes sub redondeados, en parte se disponen de forma intersticial. El olivino serpentinizados en un 30 %, dispuesto en el centro de los retículos que forman los minerales serpentínicos, el clinopiroxeno parcialmente anfibolitizado en un 20 % y más escaso se observa el ortopiroxenos en un 5 %, Mineral metálico magnetita en granos finos disperso por toda la muestra y por las fibras de los minerales serpentínicos resaltando las mismas.	
	
nicoles paralelos	nicoles X