

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE UN ÁREA CON POTENCIAL
MINERALIZACIÓN DE LATERITAS NIQUELÍFERAS, EN EL MUNICIPIO DE
PLANETA RICA (CÓRDOBA), COMO APORTE A LOS ESTUDIOS DE
EXPLORACIÓN QUE REALIZA LA COMPAÑÍA CERRO MATOSO S.A.**

MARÍA ALEJANDRA SUAREZ GARCÍA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2017

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE UN ÁREA CON POTENCIAL
MINERALIZACIÓN DE LATERITAS NIQUELÍFERAS, EN EL MUNICIPIO DE
PLANETA RICA (CÓRDOBA), COMO APORTE A LOS ESTUDIOS DE
EXPLORACIÓN QUE REALIZA LA COMPAÑÍA CERRO MATOSO S.A.**

MARÍA ALEJANDRA SUÁREZ GARCÍA

Trabajo de Grado para optar al título de Geóloga

Director:

CARLOS ALBERTO GARCÍA RAMÍREZ

Doctor en Geología

Codirector:

WILSON ESCOBAR

Geólogo - Líder de Exploración Cerro Matoso S.A.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por hacer todo esto posible

A mi madre MYRIAM DEL PILAR GARCIA por apoyarme siempre incondicionalmente en todas mis metas y objetivos, por su amor y comprensión, por ser la principal impulsadora de mis sueños en la vida; a mi padre JORGE AGUSTIN SUAREZ por estar ahí para enseñarme y aconsejarme cuando más lo necesitaba y cuando no también.

A mi director Carlos Alberto García, por ser excelente tutor, por su constante acompañamiento, por su comprensión y apoyo siempre en todas y cada una de las fases de este proceso y también por ser una gran persona.

Agradecida con todo el grupo de Planeación y Exploración de Cerro Matoso S.A. – South 32, por ser un gran equipo de trabajo, pero especialmente a *Wilson Escobar* por ser un excelente líder y mentor, a *Luis Fernando Diaz* por la confianza depositada, a *Julio Solano, Cesar, Angela y Gonzalo* por su ayuda y apoyo con sus conocimientos y enseñanzas.

A todos los que convivieron conmigo en mi estancia en Montelíbano y Planeta Rica (Córdoba), tanto a mis compañeros de la empresa, como a los de las empresas contratistas y a sus habitantes, que me acogieron y me hicieron sentir como en casa, por su calidez, amabilidad y hospitalidad durante todo el tiempo que estuve por allá.

A mis familiares y amigos por acompañarme en todas mis etapas de vida, por sus consejos, por su apoyo, por siempre creer en mí y en todos mis sueños y apoyarme siempre; quiero agradecerle especialmente a mi amiga María Paula Castellanos, por ser incondicional como amiga y compañera y ayudarme en todo lo que necesité para entregar hoy este proyecto durante todo el tiempo que estuve lejos.

A todos los profesores de la Escuela de Geología que aportaron a mi formación como profesional y como persona, pero especialmente a los geólogos y profesores Julián López Izasa y Luis Eduardo Cruz, porque no solo me ayudaron con sus enseñanzas y siempre tuvieron fe en mí, sino que también me apoyaron e impulsaron a cumplir mis objetivos y a superar mis expectativas.

También un agradecimiento muy especial al Geólogo Ricardo Valls, que ha formado una parte muy importante y crucial en mi formación como Geóloga, desde que comencé esta travesía hasta que la culminé, siempre con su excelente disposición a enseñarme y formarme, a apoyarme y ayudarme, a nunca dejarme desfallecer y a impulsarme a ser cada vez mejor que ayer; Gracias Riky porque hiciste parte de toda esta etapa y sé que también harás parte de mis futuros proyectos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS.....	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	17
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PERFILES LATERÍTICOS NIQUELÍFEROS	18
2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS LATERITAS NIQUELÍFERAS	21
2.2 MECANISMOS DE FORMACIÓN Y MODIFICACIÓN:.....	22
3. MARCO GEOLOGICO.....	25
3.1 SITUACION GEOLOGICA.....	25
3.2 SITUACION ESTRUCTURAL:	27
3.3 DESCRIPCIÓN ESTRATIGRAFÍA:.....	30
4. RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES	36
4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	36
4.2 CLIMA, GEOMORFOLOGÍA Y VEGETACIÓN:	39
4.3 ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	41
4.4 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA EN SUPERFICIE:	42
4.4.1 Metodología	42
4.4.2 Litología	46
4.4.3 Estructuras.....	59
4.5 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO A PARTIR DE ANÁLISIS DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN.....	60
4.5.1 Metodología	60
4.5.2 Descripción de las litologías encontradas	62

4.6 ZONAS MINERALIZADAS.....	69
5. COMPETENCIAS ADQUIRIDAS Y DESARROLLADAS DURANTE LA PRÁCTICA.....	71
6. CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA.....	75
ANEXOS.....	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de los depósitos laterítico de níquel a nivel mundial y su contenido en Mt.....	18
Figura 2. Se presenta un perfil de estabilidad mineral de las lateritas niquelíferas la Solubilidad de los minerales más comunes en un perfil laterítico, a un pH~7, de los minerales.....	19
Figura 3. Esquema del perfil del suelo del complejo laterítico /	20
Figura 4. Perfiles esquemático de los diferentes depósitos de lateritas. a) lateritas tipo silicatos hidratados. B) lateritas tipo arcillas. C) lateritas tipo óxidos.	22
Figura 5. Ubicación de la zona de interés del presente trabajo en el mapa de rasgos estructurales más representativos del NW colombiano	28
Figura 6. Columna estratigráfica generalizad.....	30
Figura 7. Ubicación Geográfica de la zona donde se encuentra el área de estudio. Planeta Rica - Cordoba.....	37
Figura 8. Mapa topográfico de la zona de estudio; curvas de nivel tomadas del IGAC.....	38
Figura 9. Panorámica de Sur a Norte, donde se observan los cerros de estudio. El objetivo de este proyecto es Queresas Sur.	40
Figura 10. Tomada con dirección S-N, en la que se observan las geo formas de la zona entre planicies y colinas.	40
Figura 11. Logueo de pozos previamente perforados al trabajo de campo, en la fase de Pre-campo; zona de logging ubicada en la misma zona de estudio.	43
Figura 12. Uso de paladragas. En la imagen de la izquierda se observa en una pendiente bastante escarpada, lo cual dificultaba otro poco más su uso por su	

gran peso; a la derecha se observa auxiliar utilizando la herramienta, sobre laterita no desarrollada de peridotita.....	44
Figura 13. Material extraído con la paladraga hasta los primeros 70cm de profundidad. Laterita de bajo Fe, en un sector con perfil poco desarrollado.....	45
Figura 14. Mapa Geológico de la zona de estudio, en el que se aprecia la cartografía encontrada en superficie (en el 1er metro), las estructuras como fallas, lineamientos y puntos con toma de datos estructurales.	47
Figura 15. A la izquierda, se observa zona con clastos de canga con tamaños entre 40cm a 1mt, ubicados en el norte de Queresas sobre laterita de alto Fe; a la derecha se observa un bloque de canga pseudoestratificada.	48
Figura 16. A la izquierda, Afloramiento hacia la base de Queresas Sur de peridotita expuesta a la meteorización presentando tonalidades pardas rojizas. Y a la derecha, peridotita meteorizada evidenciando los cristales de ortopiroxenos alterándose.	50
Figura 17. Cantera de peridotita en la base del cerro el grillo, hacia el Oeste de Queresas.	51
Figura 18. Laterita de peridotita en perfil no desarrollado, de tonalidad más marrón a café un poco rojiza, sin rastros de canga y con regolito de peridotita saprolitizada y peridotita fresca.....	52
Figura 19. Se observa laterita de Basalto, con un color rojo más encendido, más plástica, más arcillosa, afloramiento ubicado al Oeste de la zona de estudio	53
Figura 20. Basalto con zeolitas rellenas cavidades. Afloramiento al Oeste de la zona de estudio.....	54
Figura 21. Laterita de Gabro, de tonalidad más marrón clara a amarillenta, hacia la parte sur del cerro Queresas.	55
Figura 22. Imágenes de gabros rodados encontrados en el sur del cerro Porvenir. Evidencian metamorfismo.....	55
Figura 23. Se observa tonalidad del material en superficie. Foto tomada en superficie que se encuentra en la parte Norte y NorEste de la zona de estudio..	56

Figura 24. Fotos tomadas en el recorrido de campo donde se muestra la litología encontrada principalmente hacia el Sur y el Oeste de la zona de estudio.....57

Figura 25. Cantera de Cherts al Oeste de la zona de estudio.57

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla-resumen de los controles de formación en las lateritas de Ni.	23
Tabla 2. Escala de dureza utilizada en el presente trabajo para la cartografía.....	46
Tabla 3. Tabla utilizada para el análisis de los núcleos de perforación, la cual contiene códigos para cada casilla.	61
Tabla 4. Perfil Laterítico generalizado de las peridotitas en Planeta Rica, Córdoba	63
Tabla 5. Tabla resumen con las principales características de cada tramo del perfil laterítico de níquel en Planeta Rica.	64
Tabla 6. Perfil laterítico de basalto, con sus respectivas descripciones generales para cada zona.	66
Tabla 7. Tabla resumen del proyecto de Planeta Rica	73

LISTA DE ANEXOS

El anexo relacionado a continuación se encuentra adjunto en medio magnético.

ANEXO A. Descripción petrográfica MAS

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE UN ÁREA CON POTENCIAL MINERALIZACIÓN DE LATERITAS NIQUELÍFERAS, EN EL MUNICIPIO DE PLANETA RICA (CÓRDOBA), COMO APORTE A LOS ESTUDIOS DE EXPLORACIÓN QUE REALIZA LA COMPAÑÍA CERRO MATOSO S.A.

AUTOR: MARÍA ALEJANDRA SUÁREZ GARCÍA **

PALABRAS CLAVES: Exploración, Lateritas niquelíferas, ferroníquel, logueo, muestreo, cartografía, QA/QC, petrografía, núcleos de perforación.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo de grado de modalidad “Practica Empresarial”, consiste principalmente en la caracterización geológica de un área que se encuentra en zonas aledañas al municipio de Planeta Rica, Córdoba, con el fin de aportar bases de datos sólidas que ayuden a la determinación de las reservas y de la delimitación del modelo geológico, hecha por Cerro matoso S.A. posteriormente.

La práctica, se desarrolló durante los diferentes procesos exploratorios de Ferroníquel, llevados a cabo por la compañía, en el que se caracterizó litológicamente y mineralógicamente el perfil laterítico enriquecido en Ni en la zona de estudio; se llevó a cabo, a partir de técnicas analíticas como cartografía geológica del área de interés propuesta, adicionalmente el reconocimiento de nuevas zonas, análisis de núcleos de perforación (logging), y contribución en los sistemas de QA/QC – análisis de control de la calidad, que se implementan en la compañía para corroborar la veracidad de los datos obtenidos en campo y en las perforaciones, a partir de actividades como: muestreo, toma de densidades, generación de etiquetas, manejo de bases de datos, adicionalmente se realizó microscopia óptica; para finalizar, se analizaron e interpretaron todos los datos adquiridos en el desarrollo de la práctica y de la recopilación de información existente, y se plasmaron los resultados en el presente informe y en mapas requeridos por la compañía. Todo lo anterior para contribuir al estudio de factibilidad de un proyecto minero sostenible en nuevas zonas, para Cerromatoso S.A.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto García Ramírez, Doctor en Geología. Codirector: Wilson Escobar, Geólogo - Líder de Exploración Cerro Matoso S.A.

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF AN AREA WITH POTENTIAL MINERALIZATION OF NICKELIFEROUS LATERITES, IN THE MUNICIPALITY OF PLANETA RICA (CÓRDOBA), AS A CONTRIBUTION TO THE EXPLORATION STUDIES CONDUCTED BY THE COMPANY CERRO MATOSO S.A.*

AUTHOR: MARÍA ALEJANDRA SUAREZ GARCÍA**

KEYWORDS: Exploration, nickel-ferrites, ferronickel, logging, sampling, mapping, QA / QC, petrography, drilling cores.

DESCRIPTION

The present bachelor thesis "business practice", consists mainly in the geological characterization of an area that is located in areas bordering the municipality of Planeta Rica, Córdoba, in order to provide solid databases which help the determination of the reserves and the delimitation of the geological model, made by Cerro Matoso SA.

The practice was developed during the different Ferronickel exploration processes carried out by the company, in which the Ni enriched lateritic profile in the study area was characterized lithologically and mineralogically; This was achieved by analytical techniques such as geological mapping of the proposed area of interest, additionally the recognition of new zones, logging, and the contribution in the QA / QC systems - control analysis of the Quality, which are implemented in the company to corroborate the veracity of the data obtained in the field and in the perforations from activities such as: sampling, density acquisition, tag generation, database management, optical microscopy ; To finish, all the data acquired in the development of the practice and the collection of existing information was analyzed and interpreted, and the results are reflected in the present report and in maps required by the company. All of the above to contribute to the feasibility study of a sustainable mining project in new areas for Cerromatoso S.A.

* Degree work

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director: Carlos Alberto García Ramírez, PhD in Geology. Codirector: Wilson Escobar, Geologist - Exploration Leader Cerro Matoso S.A.

INTRODUCCIÓN

Cerro matoso S.A. se encuentra evaluando nuevos proyectos de expansión minera, debido a las necesidades de aumentar sus recursos mineros. Entre las nuevas áreas de interés, se encuentra el proyecto Planeta Rica (Córdoba), zona en la cual se evidencia la presencia un potencial para lateritas níquelíferas. Con base en esto, se está ejecutando un programa de exploración; en la que, los aportes realizados en el presente trabajo, solo serán una parte de la fase total de exploración del proyecto ubicado en Planeta Rica, Córdoba, pues dicha exploración tiene una duración mayor y está sujeta a cambios, a partir de los resultados que se van obteniendo en el transcurso del proceso.

Los depósitos lateríticos de Ni son desarrollados a partir de la meteorización química de rocas ultramáficas y máficas. Geológicamente en el área de estudio, se encuentran asociaciones de rocas ultramáficas, máficas y volcánicas que hacen parte de una secuencia ofiolítica de edad Cretácica, a partir de las cuales se desarrollan los enriquecimientos supérgenos que permiten la formación de las diferentes mineralizaciones económicas de ferro níquel, cuya exposición y estudio a través de mapeo superficial y sondeos a profundidad permiten el modelamiento, determinación y cuantificación de los recursos presentes en el área; Además de rocas sedimentarias de edad Terciaria que se encuentran en contacto con estas, como Grupo Cansona, Formación San Cayetano inferior (Cretácea superior - Paleoceno inferior), Formación San Cayetano superior (Paleoceno superior - Eoceno inferior), del Grupo Carmen se encuentran la Formación Ciénaga de Oro (Mioceno inferior), Fm Cerrito y depósitos aluviales Cuaternarios, nombrados de más antiguo a más reciente respectivamente.

Este estudio permitirá identificar no solo los enriquecimientos de ferro níquel sino que también ayudara a conocer las posibilidades de encontrar otros recursos asociados a los procesos de formación de la secuencia ofiolítica, pero es importante destacar que en el enfoque de los procesos exploratorios están centrados en los proyectos de expansión minera que adelanta Cerromatoso S.A.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL:

Realizar estudios geológicos, como apoyo a la empresa Cerro matoso S.A., en sus actividades de exploración, enfocadas a la identificación e interpretación de una Potencial de mineralización de lateritas níquelíferas.

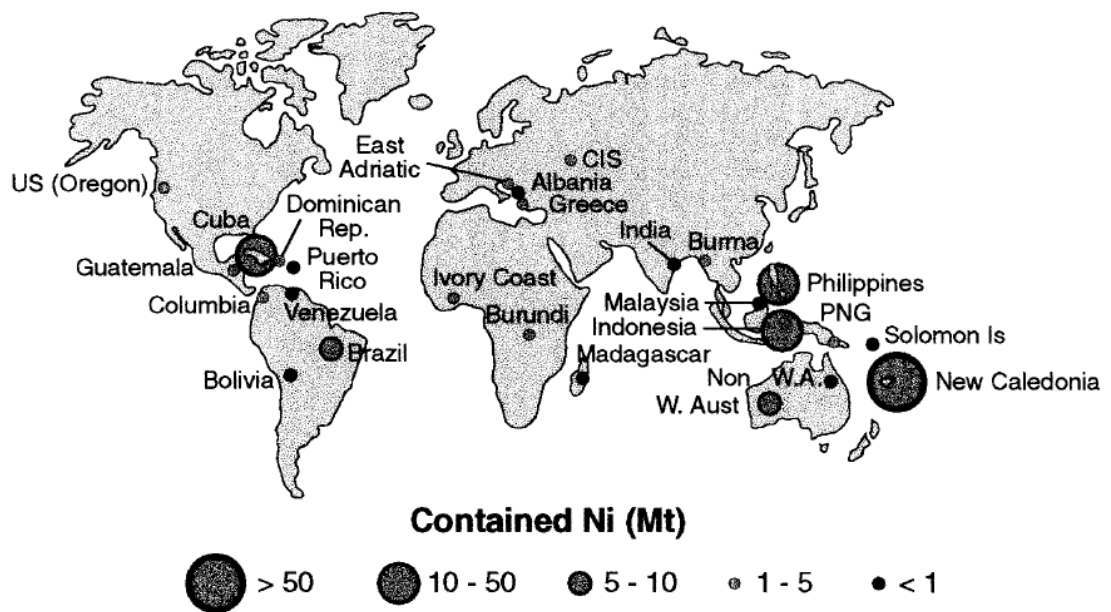
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✚ Determinar la mineralogía de la zona de interés a partir del estudio de núcleos perforación.
- ✚ Contribuir al aseguramiento de la calidad del proceso de logging y muestreo mediante los sistemas QA/QC – garantía y control de la calidad
- ✚ Realizar estudios geológicos del sector Queresas Sur, para elaborar la cartografía geológica escala 1:25.000
- ✚ Aportar al conocimiento geológico del depósito mediante la integración de las técnicas empleadas durante la práctica empresarial.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PERFILES LATERÍTICOS NIQUELÍFEROS

Geográficamente estos depósitos se encuentran restringidos entre latitudes de 22° N y 22° S, y son el resultado de la combinación de factores climáticos, litológicos, estructurales y geomorfológicos.¹

Figura 1. Ubicación geográfica de los depósitos laterítico de níquel a nivel mundial y su contenido en Mt.



Fuente: BRAND, N. W. et al. Nickel laterites: Classification and feature. En: AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 1998. Vol. 17 no.4. P. 83

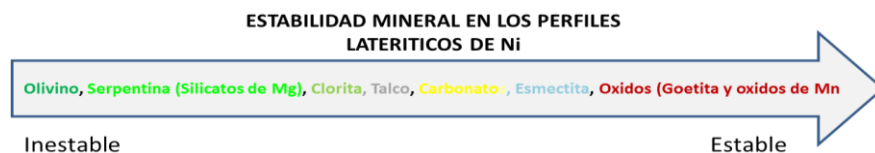
¹ TAMARA GALLARDO, Alonso. Caracterización mineralógica del perfil laterítico de ni de loma ortega. República dominicana: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales, 2008. p. 5.

Usualmente estos yacimientos son encontrados en zonas tropicales, húmedas (sudeste de Asia y Oceanía), en Sur América y el Caribe. Aunque también, hay muchos depósitos a latitudes más altas como: el suroeste de Australia, el oeste de Estados Unidos, Grecia, los Balcanes, los Urales de Kazajstán y Rusia central.²

El Caribe contiene alrededor del 10% de los recursos mundiales de níquel laterítico (Dalvi et al., 2004), con los depósitos más importantes en el este de Cuba y en la Cordillera Central de la República Dominicana.³

Los perfiles lateríticos de níquel se forman en zonas de relieve horizontal sobre rocas ígneas básicas o ultrabásicas, como materiales regolíticos, ricos en minerales ferromagnesianos como el olivino o el piroxeno (Freyssinet et al., 2005). Los minerales que forman las lateritas níquelíferas son, mayoritariamente, hidróxidos y óxidos de hierro (goethita, lepidocrocita, hematites), a menudo acompañados de sílice, y de hidróxidos y óxidos de aluminio y manganeso (ver figura 2). En general estos minerales se disponen en agregados terrosos o crustiformes, formando capas de espesor muy variable, que puede llegar a la decena de metros.⁴

Figura 2. Se presenta un perfil de estabilidad mineral de las lateritas níquelíferas la Solubilidad de los minerales más comunes en un perfil laterítico, a un pH~7, de los minerales



Fuente: modificado de Golightly, 1981, en TAMARA GALLARDO, Alonso. Caracterización mineralógica del perfil laterítico de ni de loma ortega. República dominicana: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales, 2008. p.10

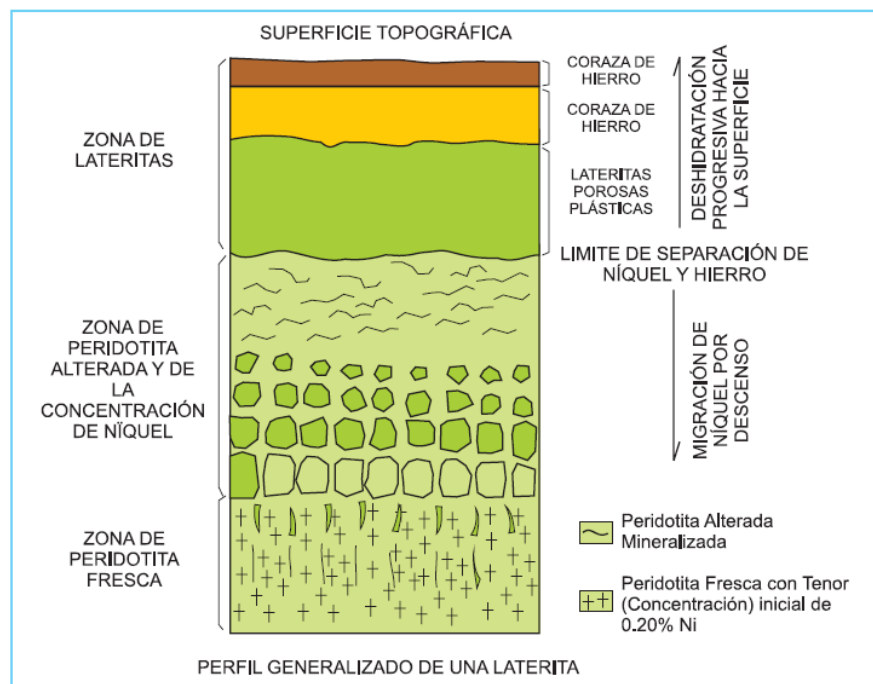
² TAMARA GALLARDO, Óp. Cit.

³ *Ibíd.*, p. 5

⁴ *Ibíd.*, p. 10

Cuando se desarrolla el perfil de meteorización laterítico, este se caracteriza por tener, de techo a base, una zona especialmente rica en hierro (ferricreta o *iron-cap*), seguido de una zona más superficial (laterita) muy rica en óxidos e hidróxidos de hierro y pobre en sílice, seguida de una zona de limonita que en algunos casos puede contener arcillas. De la laterita. Se pasa en profundidad a una saprolita (zona de roca alterada rica en filosilicatos donde aún se observa la textura de la roca madre o protolito) y finalmente a la roca madre.⁵

Figura 3. Esquema del perfil del suelo del complejo laterítico /



Fuente: Balance Minero Nacional Parcial 2007 para 3 minerales. UPME, diciembre de 2007, en Unidad de planeación minero energética - UPME, Níquel en Colombia. Bogotá, 2009. p. 15

⁵ TAMARA GALLARDO, Óp. Cit. p. 10

2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS LATERITAS NIQUELÍFERAS

Se han diferenciado tres grandes tipos de depósitos lateríticos de níquel en el mundo⁶, que son:

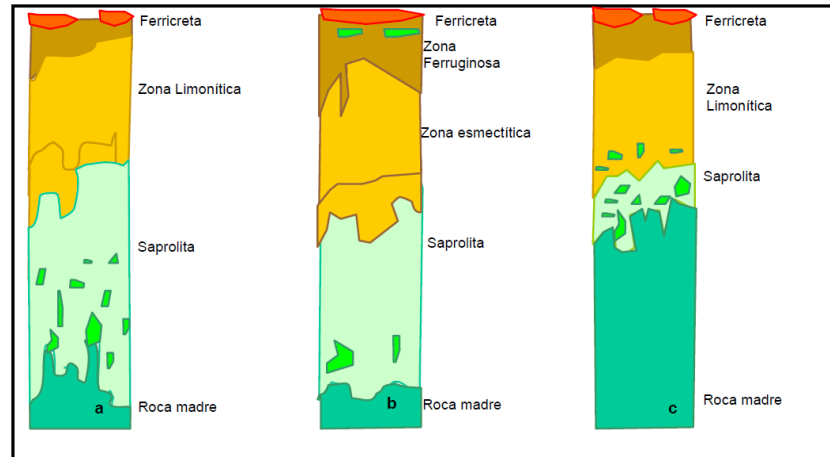
- ✓ **Lateritas níquelíferas tipo arcilla.** La sílice ha sido parcialmente lixiviada del perfil de meteorización. El níquel se acumula en nontronitas y esmectitas, en las partes altas e intermedias de la saprolita. Ejemplos de lateritas níquelíferas tipo arcilla son: Murri Murrin (Australia occidental, 3-5Mt; 0.99% de Ni) y Meseta de Sant Felipe, Camagüey (Cuba, 2-3Mt; 1.3% de Ni) (Gleeson et al., 2003).⁷
- ✓ **Lateritas níquelíferas tipo óxido.** El Ni está asociado principalmente a goethita (Fig. 2.3.). También se suele encontrar Co (y Ni) asociado a óxidos de Mn (“asbolanas”). Tanto la goethita como los óxidos y hidróxidos de hierro presentan una alta capacidad de adsorción de Ni en su superficie. Ejemplos de lateritas níquelíferas de tipos óxidos son: Sampala (Indonesia, >5Mt; 1.34% de Ni) i Pinares de Mayarí (Cuba, 2-3Mt; 1.07% de Ni) (Gleeson et al., 2003).
- ✓ **Lateritas níquelíferas tipo silicato hidratado.** La mineralización se encuentra en la parte inferior de la saprolita; las menas minerales son silicatos de Mg-Ni hidratados (e.g. lizardita níquelífera, “garnieritas”). Ejemplos de lateritas níquelíferas tipo silicato hidratado son: Sorowako (Indonesia, >5Mt; 1.8% de Ni) y Koniambo (Nueva Caledonia, 3-5Mt; 2.58% de Ni) (Gleeson et al., 2003).⁸

⁶ TAMARA GALLARDO, Óp. Cit.

⁷ TAMARA GALLARDO, Óp. Cit.

⁸ *Ibíd.*, p. 11

Figura 4. Perfiles esquemático de los diferentes depósitos de lateritas. a) lateritas tipo silicatos hidratados. B) lateritas tipo arcillas. C) lateritas tipo óxidos.



Fuente: Modificado de Gleeson et al., 2003, en TAMARA GALLARDO, Alonso. Caracterización mineralógica del perfil laterítico de ni de loma ortega. República dominicana: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales, 2008. p.11

Estos tipos de depósitos se consideran reservas económicamente explotables de Ni y, generalmente de Co. Las concentraciones de Ni y Co se dan en uno o más horizontes o unidades dentro del perfil de meteorización (Golightly, 1981).⁹

2.2 MECANISMOS DE FORMACIÓN Y MODIFICACIÓN:

Para que sea posible el desarrollo de los perfiles lateríticos son necesarios una serie de factores como el clima, relieve, drenaje, litología, estructura y tectónica; a continuación se presentan los controles característicos para cada tipo de lateritas:

⁹ TAMARA GALLARDO, Óp. Cit. p.11

Tabla 1. Tabla-resumen de los controles de formación en las lateritas de Ni.

	Lateritas tipo silicatos hidratados	Lateritas tipo arcillas	Lateritas tipo óxidos
Clima:	Sabana húmeda-selva	Sabana húmeda; posiblemente formada o modificada en clima semiárido	Sabana; modificada a clima semiárido
Relieve:	Moderado	De moderado a bajo	De moderado a bajo
Drenaje:	Buen drenaje	Mal drenaje	Bueno y mal drenaje
Tectónica:	Favorecido por levantamiento	No favorecido por levantamiento	Favorecido por levantamiento
Estructura primaria:	Favorecido por el aumento de la erosión y enriquecimiento de Ni a lo largo de fracturas abiertas	Enriquecimiento en algunas fracturas, favorecido por la falta de drenaje	Favorecido por el aumento de la erosión y enriquecimiento de Ni a lo largo de fracturas abiertas
Litología primaria (sólo en rocas ultramáficas ricas en olivino):	Peridotita>Dunita	Peridotita>>Dunita	Dunita y Peridotita

Fuente: Modificada de Trescases, 1975, en TAMARA GALLARDO, Alonso. Caracterización mineralógica del perfil laterítico de Ni de loma Ortega. República Dominicana: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales, 2008. p.13

Entre los distintos tipos de lateritas existen una serie de condiciones en común para que sea óptima la formación de estas, estas condiciones son:

- ✚ Largos periodos de estabilidad tectónica. Probablemente las rocas ultramáficas se alteran más rápidamente que otro tipo litológicos. Sin embargo, se han estimado unas tasas promedios de meteorización variables entre 10 y 20 m por millones de año, lo que implica que un perfil laterítico, sin erosión, puede desarrollarse entre 1 y 6 millones.
- ✚ Relieve moderado. La tasa de meteorización debe ser superior a la tasa de erosión de la superficie, lo que está favorecido por el bajo relieve. Trescases (1975) calculó que la tasa de saprolitización en los yacimientos de Thio, Nueva

Caledonia, es de 40 a 50 m/ma. De lo contrario, el relieve debe ser suficiente para permitir la filtración de los productos químicos de la meteorización.

- ✚ Clima de subtropical a tropical húmedo. Es posible la formación bajo climas templados pero, requiere períodos más largos debido a las menores tasas de meteorización. Esta situación puede haber prevalecido en el sur de Australia, que se ha mantenido en latitudes medias o altas, aunque con períodos de climas subtropicales¹⁰

¹⁰ TAMARA GALLARDO, Óp. Cit. p.13

3. MARCO GEOLOGICO

3.1 SITUACION GEOLOGICA

Las Peridotitas de Planeta Rica hacen parte del complejo ofiolítico cretáceo ubicado a lo largo del sistema de fallas Cauca-Romeral que cruza Colombia desde el sur hasta el norte. En la zona, hay partes del Sinú-San Jacinto cinturón limitado por la falla de Bolívar en el oeste y sistema de Fallas Romeral en el este.

El escenario actual del Cinturón San Jacinto registra una historia desde el Cretácico Tardío hasta el Pleistoceno durante el Maastrichtián Campanano, la región consistió en una zona sumergida donde se presentó la sedimentación predominante de sílice. Los sedimentos se depositaron sobre lecho rocoso formado por peridotitas, gabbros y basaltos con restos de superficie de corteza oceánica, generados en un centro de expansión; Durante su emplazamiento estas unidades ofiolíticas se fragmentaron, se metamorfosearon y sufrieron secuencias estructurales mezcladas con arco volcánico. Estas rocas representan un medio oceánico que contrasta con el continente, situado al este y cuyos límites corresponden a la alineación de Romeral, un antiguo hilo de sutura.¹¹

A finales del Cretácico y del Paleógeno temprano, la interacción de las dos cortezas produce un fuerte plegamiento y fracturado de la corteza oceánica, lo que permitió el aumento a niveles más altos de las rocas del complejo ofiolítico, mientras que la región marginal de la plataforma se profundizó. El escarpado favoreció la acumulación de turbiditas de aguas profundas¹².

¹¹ Ingeominas, Geología del Departamento de Córdoba, escala 1:250.000. Bogotá D.C., 1997

¹² *Ibíd.*

El área de la plataforma y la Cordillera Central continuaron como tierra emergente, luego hubo un volcanismo submarino que corresponde a la etapa inicial de levantamiento del cinturón fragmentado de San Jacinto, activo hasta el Eoceno Medio¹³.

Al final de la deposición de turbidita, los movimientos laterales de compresión condujeron a la localización del complejo ofiolítico y la corteza oceánica implicada, así como al plegamiento de las secuencias sedimentarias relacionadas. Durante este movimiento orogénico se produjo el levantamiento y plegado de la Cordillera Occidental y el Cinturón San Jacinto en el extremo norte que marca el límite con la cuenca San Jorge¹⁴.

La región noroeste de Colombia se caracteriza durante el Mioceno Superior - Plioceno por mayor inestabilidad debido a esfuerzos de compresión lateral. La sedimentación fue de alta energía, turbiditas con deslizamientos de tierra y gran escala y por lo tanto un gran sedimento aumentado por levantamiento de las áreas adyacentes.¹⁵

En San Jacinto Anticlinorium, levantamiento y compresión sobre las rocas ofiolíticas, permitiendo el desarrollo de forma alargada, estrecha, formando un sistema de estructuras de fallas longitudinales. Como segunda etapa de esta deformación se genera un sistema de fallas transversales¹⁶.

¹³ Ibíd.

¹⁴ Ibíd.

¹⁵ Ibíd.

¹⁶ Ibíd.

Entre el Pleistoceno y el Holoceno, se vuelve a producir un rango de estabilidad cuando el período de inestabilidad en la orogenia andina, durante el cual se depositaron los sedimentos continentales que llenan la cuenca del río San Jorge.¹⁷

Estos cuerpos ultramáficos son parte de un cinturón continuo, delgado, que ha sido fragmentado, y se mueve como bloques entre sí, horizontal y verticalmente.

3.2 SITUACION ESTRUCTURAL:

Los elementos estructurales claves que afectan el NorOeste colombiano son los que se observan en la figura 5, los cuales, juegan un papel muy importante en la evolución tectono-estratigráfica desde el Cretácico superior hasta la actualidad, donde se fueron modelando los fondos de sedimentación que se encuentran en el área Caribe de Colombia¹⁸

¹⁷ *Ibíd.*

¹⁸ Ingeominas, Geología de los cinturones del Sinú, san Jacinto y borde occidental del valle inferior del magdalena caribe colombiano, escala: 1:300.000. Bogotá D.C. 2004. p. 11

El área es parte del Cinturón de San Jacinto, que está delimitado al este por el sistema de fallas Romeral y al oeste por falla de Sinú y está constituido por un cinturón sedimentario plegado y fallido, que forma parte de una acreción de prisma plegada y fallida como resultado De convergencia entre las placas caribeñas y sudamericanas.¹⁹

En general, en el geológico del departamento de Córdoba²⁰ las fallas principales en este cinturón tienen dirección de NS a N5°E y están hacia el oeste. Las fallas son principalmente un curso de N NE con desplazamiento sinistral. En el área se producen dos fallas mayores de sistemas; El sistema dominante tiene una tendencia NW y fractura conjuntos de direcciones asociadas entre N30°W y N55°W, con mayores caídas al 75 ° NE; el sistema de fallas con tendencias NE se asocia con fallas y fracturas normales y direcciones N57°E, N10°E y caídas de 67°SE promedio ²¹

El sistema de fallas Romeral, propuesto por Duque-Caro (1979, 1980) ha sido considerado como el contacto entre la corteza oceánica al oeste y la corteza continental al este. Su línea de trazo lleva en el área una dirección aproximada N20°E siguiendo, en algunos tramos, el curso del río Magdalena²². Se extiende a lo largo del alto río San Jorge, en la orilla este de la Serranía de San Jerónimo y cerca de Montelíbano y Planeta Rica (Page, 1986). Asociada a esta zona de falla se localiza entre el área del río Ure y la población de Planeta Rica, rocas ultramáficas serpentinizadas o cuerpos lateríticos, posiblemente representando fragmentos de secuencias ofolíticas desmembradas, colocadas tectónicamente a lo largo de este sistema estructural²³

¹⁹ Ingeominas, Geología del Departamento de Córdoba, escala 1:250.000. Bogotá D.C., 1997

²⁰ *Ibíd.*

²¹ Gleeson, S.A, et al. The Mineralogy and Geochemistry of the Cerro Matoso S.A. Ni Laterite Deposit, Montelíbano, Colombia. By Economic Geology. Vol. 99, 2004. p. 1197–1213

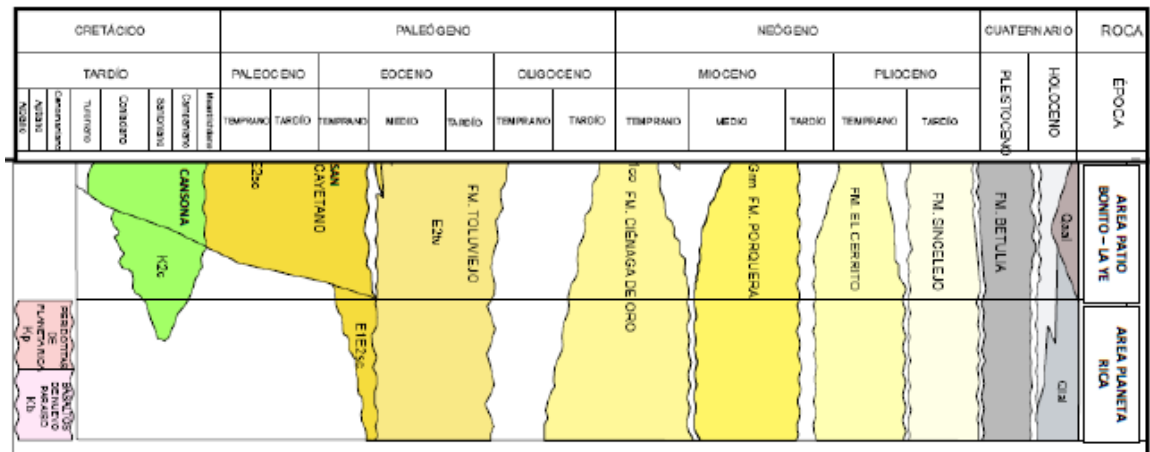
²² Ingeominas, Geología de los cinturones del Sinú, san Jacinto y borde occidental del valle inferior del Magdalena Caribe Colombiano, escala: 1:300.000. Bogotá D.C. 2004. p. 100

²³ Ingeominas, Op. Cit.

3.3 DESCRIPCIÓN ESTRATIGRAFÍA:

Para la descripción de las litologías aflorantes en la región, principalmente una secuencia sedimentaria Terciaria y luego encima de esta algunas Terrazas y depósitos aluviales del Cuaternario, se ha tomado como referencia a los autores Dueñas y Duque (1981), Duque (1972) y CARBOCOL (1986), a los cuales toman como referencia en “Geología de los Cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del Valle Inferior del Magdalena Caribe Colombiano”²⁴; A continuación, se describirán las unidades de interés para la zona, de abajo hacia arriba que se encuentran en la secuencia mostrada en la columna generalizada publicada por Guzmán.²⁵

Figura 6. Columna estratigráfica generalizada.



Fuente: GUZMÁN, et al, 2004, en informe técnico interno, Cerro matoso

²⁴ Ingeominas, Geología de los cinturones del sinú, san jacinto y borde occidental del valle inferior del magdalena caribe colombiano, escala: 1:300.000. Bogota D.C. 2004. p. 134

²⁵ GUZMÁN, G., GÓMEZ, E. y SERRANO, B. Geología de los cinturones Sinú, San Jacinto y borde occidental del valle Inferior del Magdalena, Caribe Colombiano. Escala 1:300.000. Memoria Técnica, Ingeominas. Bogotá. 2004. p. 134.

- ✓ **Peridotitas de Planeta Rica:** Esta unidad fue definida por Dueñas y Duque (1981) en la zona suroeste de la cabecera municipal de Planeta Rica conocida como la colina Las Mulas, colinas de Corozal y Queresas, y luego es descrita por Guzmán y otros (2004). Localmente, es un cuerpo continuo de roca que aparece a lo largo de 10 km de sur a norte formando varias colinas, como Santa Rosa, Sabanas, Porvenir y Queresas.

Dueñas y Duque-Caro (1981.), describen esta unidad como un cuerpo peridotítico compuesto por harzburgitas y en menor proporción dunitas, asociado localmente con serpentinitas y gabros. Según ellos, la serpentización se halla relacionada con zonas de fuerte cizallamiento y alineada con las principales fracturas. En su mayor parte, se reporta que las rocas se encuentran muy meteorizadas, encontrándose roca saprolítica de color verde oscuro y manchas amarillentas con concentraciones locales de ferro-níquel.

Debido a carencias radiométricas, estratigráficamente se considera anterior al Santoniano ya que estas peridotitas infrayacen a la Formación Cansona de edad Cenomaniano-Maastrichtiano. Y se encuentran en contacto con los Basaltos de nuevo paraíso²⁶

- ✓ **Basaltos Nuevo Paraiso**

Unidad definida por Dueñas y Duque (1981) en las colinas al oeste de Buenavista y Nuevo Paraiso. Compuesto por basaltos andesíticos con textura porfírica y matriz microcristalina traquítica. Se encuentran asociados localmente a diabasas. Se presentan generalmente alterados; por su posición estratigráfica pueden ser anteriores al Coniaciano según Etayo en Dueñas y Duque-Caro (1981)²⁷. En

²⁶ Ingeominas, Óp. Cit. 2004. p. 13

²⁷ Ingeominas, Óp. Cit, p.14

Ingeominas 2004. Hasta el momento, se reportan como parte de corteza oceánica acrecionada al Continente.²⁸

✓ **Formación Cansona**

Esta unidad fue definida por Duque (1972) como ciclo de Cansona, posteriormente Dueñas y Duque (1981) mencionan la Fm. San Cayetano inferior perteneciente al Grupo Cansona. Sin embargo, esta formación es perfectamente correlacionable con Fm. San Cayetano inferior publicado por Chenevart (1963). Trabajos posteriores como Guzman (2004), ANH (2007) y ANH (2009) separan nombrar este conjunto como Fm. Cansona. Edad Cretácico Superior (Santoniano-Maastrichtiano)

En la cartografía del INGEOMINAS, se reporta en las Planchas: 36-37; 44 y 52, que la Formación Cansona está constituida por chert tipo estratificado (gris oscuro, pardo y rojizo), capas delgadas, con intercalaciones de limolitas silíceas con restos fosfatizados de vértebras y escamas de peces y microfósiles; ocasionalmente entre las liditas aparecen capas de calizas grises, arcillolitas físis y arenitas grano fino color gris. Conglomerado matriz soportado, con fragmentos de rocas volcánicas básicas e intermedias; intrusiones de silos de basaltos porfiríticos de matriz muy fina, cloritizados.²⁹

✓ **Formación San Cayetano**

Esta unidad fue inicialmente definida por Chenevart (1963) y corresponde a las facies de turbiditas del ciclo de Cansona de Duque (1972) y Fm superior. San Cayetano de Dueñas y Duque (1981).

²⁸ Ingeominas, Óp. Cit. 2004. p. 15

²⁹ Ingeominas. Óp. Cit. p. 22

Se establece a la Formación San Cayetano inferior como Formación Cansona dejando el segmento superior referido únicamente como Formación San Cayetano. Edad Paleoceno tardío–Eoceno temprano. Es una secuencia de conglomerados, areniscas conglomeráticas, areniscas y esquistos que pueden ser separados en dos miembros distintos.

El miembro inferior conocido como Conglomerados El Curial consiste en paquetes de conglomerados de hasta 10 metros de espesor, separados por areniscas marrones conglomeráticas. Los conglomerados son polimíticos con una matriz de arena gruesa bien cementada, gris verdoso y rojizo, marrón y beige por oxidación. Los fragmentos de grava tienen hasta 15 cm de diámetro y son principalmente basalto, pizarra, andesitas de cuarzo y menor cantidad.

La parte superior conocida como arenisca Trementino consiste en litoarenitas de grano medio y grueso, micácea y ferruginosa de color gris amarillento y marrón por oxidación, en capas de hasta 60 cm de espesor con areniscas finas entrelazadas de cuarzo y mudstones silíceos.³⁰

✓ **Formación Ciénaga de Oro**

Esta unidad fue mencionada inicialmente por Duque (1972) como parte del "grupo Carmen" que agrupa las Formaciones Ciénaga de Oro, Porquero y Cerrito. Intercor en obras inéditas mencionó la unidad de tipo de sección en la carretera Montería - Ciénaga de Oro - la Ye. Más tarde Duque (1973) propone el nombre de Fm. Ciénaga de Oro y se extiende a la sección Montería - Planeta Rica. Algunas empresas petroleras utilizan informalmente Fm. Pintura para referirse a ella.³¹

³⁰ Ingeominas, Óp. Cit., 2004, p. 22

³¹ Ingeominas. Óp., Cit, p. 40

Es predominantemente arenosa, consta en general de una alternancia de areniscas de grano fino a conglomeráticas, limolitas intensamente bioturbadas, estratificadas en capas planas paralelas, shales grisáceos algo calcáreos, shales carbonosos y carbón. Presenta color pardo rojizo abigarrado. Suprayace en disconformemente a la Formación San Cayetano, e infrayace en continuidad a la Formación Porquera en el área de Ciénaga de Oro-La Ye. De edad Eoceno tardío - Mioceno temprano.³²

✓ **Formación Cerrito**

Esta unidad fue inicialmente definida por Werenfels (1926) y estudiada por D'Porta (1962). Fm. Cerrito afloran al sureste del área de estudio en el corazón del Sinclinal San Jorge, al oeste del camino entre los pueblos de Pica - Pica y Centro Alegre, y en la carretera Planeta Rica - Montería en el sector La Carolina.

Es una secuencia sedimentaria compuesta por tres miembros. El miembro inferior tiene un nivel calcáreo basal que está expuesto entre Planeta Rica-La Carolina y Planeta Rica-Miraflores. En los niveles de calcarenitas calcáreas se produce una sucesión de conglomerados y conglomerados fósiles grisáceos a marrones.

El elemento central se caracteriza por una secuencia rítmica de areniscas de color gris claro, areniscas grises y alrededor de 40 costuras de carbón de 0,3 a 1,8 metros de grosor. Los mudstone están comúnmente entrelazados con abundantes fósiles de moluscos.

El miembro superior está compuesto por areniscas de grano fino y arcillas de cemento arcilloso y gris-verde, con fragmentos xilópalos en la parte superior. En el centro de los niveles esporádicos de areniscas calcáreas fosilíferas ocurren hacia

³² Ingeominas, Óp. Cit. 2004. p. 40.

la base y se presentan algunas costuras de carbón de no más de 1 metro de espesor, separadas por arcillas grises.³³

³³ Ingeominas, Óp. Cit. 2004. p.60

4. RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES

4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada, hacia la parte central del departamento de Córdoba (ver figura 7), a 58 km de Montería limitando al norte con los municipios de San Carlos y Pueblo Nuevo, al sur con Montelíbano, al oeste con los municipios de Montería y Tierra Alta y, al este con Buenavista.³⁴

El área de interés se encuentra localizada en línea recta, a 40 Km. al noroeste de lo que actualmente son las instalaciones de Cerro Matoso SA y a 10 km al suroeste del casco urbano de Planeta Rica, aproximadamente a 25 minutos pasando por los caseríos de Medio Rancho y Marañonal, se utilizó el sistema de coordenadas planas de Gauss (Datum Magna Sirgas, Bogotá). Se encuentra ubicada en los segmentos de las planchas 71-IV-A y 71-IV-C (IGAC), 81-II-A (IGAC?) – Plancha 5 y 6 (Ingeominas 2015)

³⁴ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Perfil productivo municipio de Planeta Rica, Córdoba 2012-2015, Bogotá D.C. 2015. p. 10

Figura 7. Ubicación Geográfica de la zona donde se encuentra el área de estudio. Planeta Rica - Cordoba.

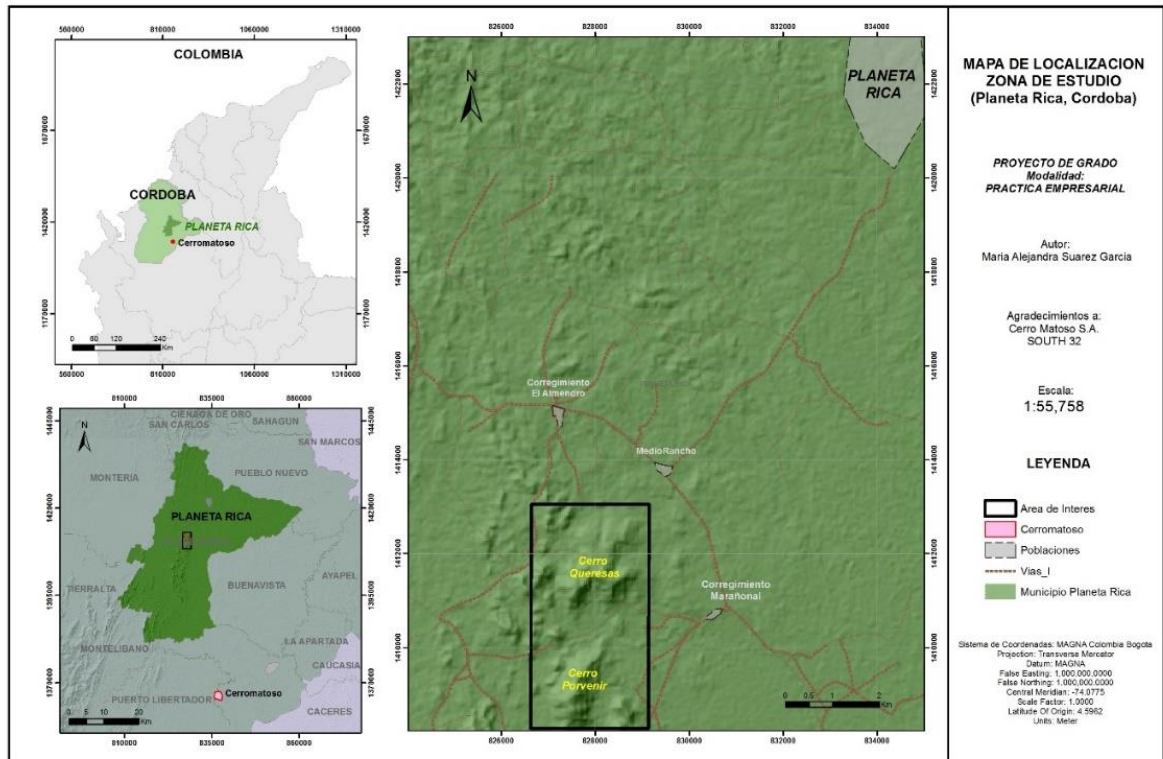
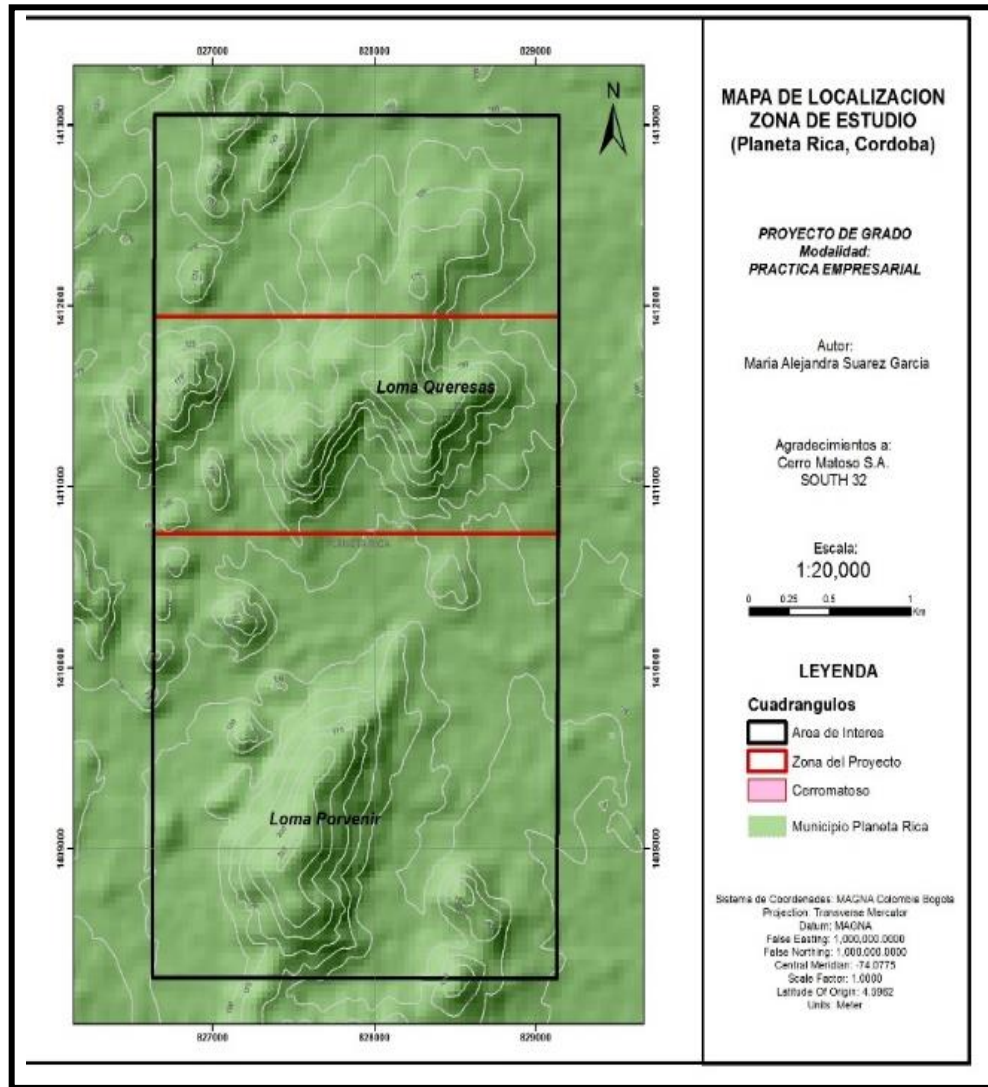


Figura 8. Mapa topográfico de la zona de estudio; curvas de nivel tomadas del IGAC



Los depósitos de Planeta Rica, forman parte del complejo ofiolítico de edad Cretácica, y se encuentra ubicado a lo largo del sistema de fallas Cauca-Romeral que cruza Colombia desde el sur hasta el norte.

4.2 CLIMA, GEOMORFOLOGÍA Y VEGETACIÓN:

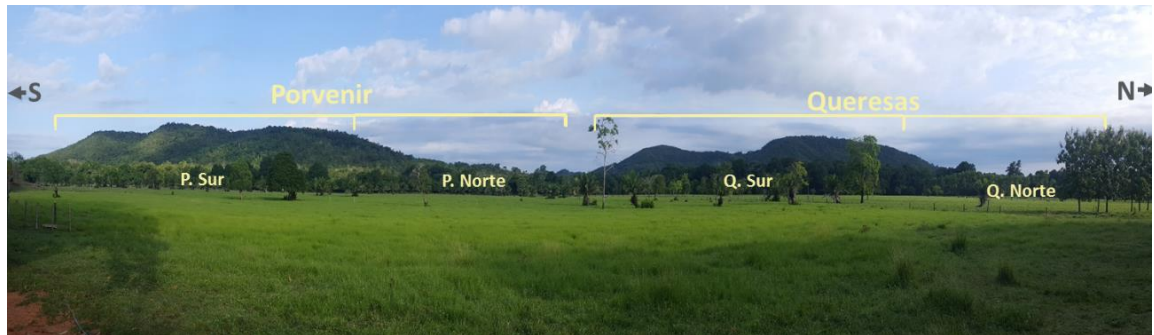
El clima de esta región es caliente y húmedo en todas las épocas del año, con una temperatura promedio de 29°C, variando un tanto en las horas de la noche, cuando desciende hasta 15°C. El régimen de lluvias es variable, no existiendo ciclos definidos de precipitación en el año.

Cuando estas lluvias ocurren con cierto rigor, se producen inundaciones debido a la topografía plana del terreno. En época de verano, las quebradas disminuyen notoriamente el caudal, de tal manera que muchas de ellas se secan³⁵.

Las geo formas de la zona, están conformadas éstas por amplias llanuras o planicies, algunas veces inundables, dentro de las cuales sobresalen cerros, que generalmente tienen forma alargada, teniendo su eje mayor una dirección N-S, Los cerros Queresa y Porvenir donde se hallan los depósitos tienen esta forma. El rango de elevación de estos cerros (Queresa y Porvenir) varía entre 50 a 225 msnm.

³⁵ Programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD). Evaluación de lateritas niquelíferas en los departamentos de Córdoba y Antioquia. (Informe técnico) - Investigación detallada de los depósitos de lateritas niquelíferas en Planeta Rica (departamento de Córdoba). Nueva York, 1975. p. 2.

Figura 9. Panorámica de Sur a Norte, donde se observan los cerros de estudio. El objetivo de este proyecto es Queresas Sur.



El cerro Queresas, hacia el Norte, se observa una disminución en la pendiente, menos elevada y más plana; hacia el sur de este, es más escarpado con una meseta en la parte superior.

La parte Norte del cerro Porvenir es una colina plana y de menor elevación; la parte sur de este, es la colina más empinada y más alta de la zona, con una forma estrecha en la dirección NE-SW.

El basamento cretácico conforma el relieve sobresaliente de la región, mientras que la cobertura terciaria se expone desde colinas hacia la morfología más plana.

Figura 1. Tomada con dirección S-N, en la que se observan las geo formas de la zona entre planicies y colinas.



El área de estudio se encuentra cubierta en su mayoría por arbustos altos y frondosos, sin embargo, también se encuentran partes adecuadas por el hombre, tanto en la cima de las colinas y cerros como en las planicies, gracias a que talan los árboles y utilizan los terrenos para la siembra de pastos para trabajar la ganadería.

4.3 ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Planeta Rica ha sido el foco de escasos estudios geológicos, debido a que las diferentes unidades litológicas que se encuentran aflorantes en la zona no son de gran potencial metalogénico. Actualmente, existen pequeñas canteras para proveer material de construcción general. (PBOT, 2012-2015)

En 1976, las Naciones Unidas realizó una investigación sobre las lateritas níquelíferas en el municipio de Planeta Rica, en colaboración con el gobierno Colombiano, en donde se estudió el tipo de depósito y los procesos involucrados en su formación.

En 1997, Ingeominas publicó el mapa geológico del departamento de Córdoba, en el cual se constituyó como base de futuros trabajos geológicos a nivel regional y local.

En 2004, Gleeson estudió la mineralogía y la geoquímica del depósito de níquel laterítico en Cerromatoso, Montelibano Córdoba y aunque no corresponde a la zona de estudio, es una base para el conocimiento del depósito también estudiado por la compañía y que se encuentra en el mismo departamento.

Ingeominas, en 2004, divulgó la geología de los cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del Valle Inferior del Magdalena - Caribe colombiano, y La ANH, en el 2006, publicó la cartografía geológica en los cinturones plegados Sinú-San Jacinto; Documentos en los cuales, se encuentran la mayoría de las litologías aflorantes en la zona de estudio, incluyendo las peridotitas de Planeta rica, que son de mayor interés para este trabajo.

En el 2008, Tamara, Realizó una caracterización mineralógica del perfil laterítico de Ni en República Dominicana, lo cual ayuda para dar una visión más amplia de los que se puede encontrar en depósitos similares en otros lugares del mundo.

4.4 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA EN SUPERFICIE:

En la fase exploratoria realizada por la compañía, se había hecho con anterioridad un reconocimiento geológico regional y una prospección geoquímica regional donde se determinó entre las áreas de interés a PLANETA RICA.

En el presente trabajo se realizó una Cartografía Geológica de Detalle, en áreas de alto interés para definir con mayor precisión las mallas de perforación y a partir de estos resultados, poder seguir avanzando en las siguientes etapas de la exploración

4.4.1 Metodología

Pre-Campo: Con el fin de optimizar el tiempo y estudiar mejor el área de interés, se realizó una planeación de trabajo de campo, en el que se recopiló y se revisó información bibliográfica de estudios geológicos y cartográficos realizados previamente, los cuales son muy pocos y a nivel regional, además de mapas

geológicos a nivel regional, topográficos a partir de imágenes satelitales y posteriormente mapas topográficos realizados por la compañía, de anomalías magnéticas también propios de la compañía, entre otros, lo que permitió establecer puntos claves de mayor interés y trazar las rutas de inspección y muestreo; esta información fue procesada en el software ArcGis 10.1 para generar los mapas necesarios.

Con anterioridad a este estudio, se perforaron aproximadamente 50 pozos en la zona previos a este trabajo, sobre los cuales se estudió la litología presente para afianzar conocimientos y mejorar el posterior reconocimiento en campo, por eso antes de ir a campo a realizar la cartografía, como parte del pre-campo, se hizo trabajo de logueo.

Figura 2. Logueo de pozos previamente perforados al trabajo de campo, en la fase de Pre-campo; zona de logging ubicada en la misma zona de estudio.



Campo: Se llevó a cabo la salida a campo, en donde se recolectaran los datos geológicos y las muestras necesarias, que ayudaron a la interpretación litoestructural de la zona de interés.

Como se quería definir el perfil en esta cartografía, se implementó en uso de paladragas (Ver Figura 12) para poder extraer muestras del subsuelo en el 1er metro de profundidad si era posible y corroborar bien la litología, pues la zona se encontraba con abundante vegetación y en este tipo de depósito no es común encontrar afloramientos. Después de obtener la información y la muestra necesaria, se llenaba de nuevo el hueco.

Figura 3. Uso de paladragas. En la imagen de la izquierda se observa en una pendiente bastante escarpada, lo cual dificultaba otro poco más su uso por su gran peso; a la derecha se observa auxiliar utilizando la herramienta, sobre laterita no desarrollada de peridotita.



Figura 4. Material extraído con la paladraga hasta los primeros 70cm de profundidad. Laterita de bajo Fe, en un sector con perfil poco desarrollado.



También se implementaron recursos tecnológicos como libreta digital y mapas generados previamente cargados en ella, que ayudaban a la optimización del tiempo en campo y que permitían hacer análisis espaciales de lo que se estaba buscando en ese mismo momento, de esta manera, no se tenía que esperar hasta llegar a oficina para complementar y analizar todo, sino que se iba haciendo a medida en que se iba avanzando, lo cual también permitió realizar este campo en la mitad del tiempo propuesto inicialmente, generando así menos tiempo empleado, menos costos y permitiendo explorar nuevas zonas además de las propuestas en el presente trabajo.

Para medir la dureza de las diferentes tipos de litologías, se utilizó la siguiente escala, la cual es implementada en cerro matoso para la descripción de núcleos de perforación.

Las muestras recolectadas en campo se describieron y caracterizaron, posteriormente se realizó una selección de las mismas para análisis geoquímicos.

Tabla 2. Escala de dureza utilizada en el presente trabajo para la cartografía.

DUREZA		EQUIVALENCIA
1	Extremadamente débil	Se raya con la uña
2	Muy débil	Endiduras por golpes firmes con punta de martillo geológico; Se puede rayar con un cuchillo
	Débiles	Endiduras poco profundas hechas por un golpe firme con punta de martillo geológico
3	Medio Fuerte	Fracturado con un solo golpe firme de un martillo geológico
	Fuerte	Requiere más de un golpe con un martillo geológico para fracturarlo
4	Muy fuerte	Requiere muchos golpes de martillo geológico para fracturarse
5	Demasiado Fuerte	Sólo puede ser astillado con muchos golpes muy fuertes con martillo geológico

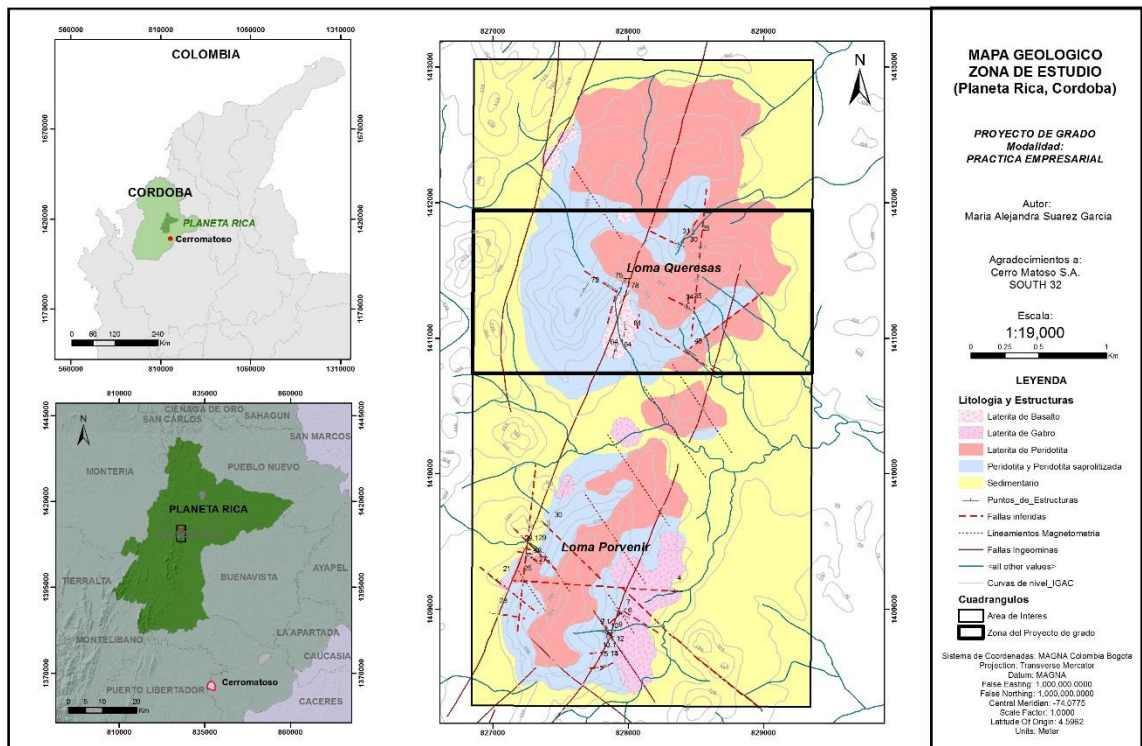
Trabajo de oficina. Recopilación e interpretación final: Se analizaron e interpretaron los resultados obtenidos a través del proceso de investigación, en campo y laboratorio (cartografía, “*logging*”, muestreo); a partir de lo anterior, se elaboraron mapas requeridos por la compañía, los cuales fueron de gran ayuda para la selección de los puntos de las siguientes mallas de perforación más densas, necesarias para la delimitación de la geometría del cuerpo y la caracterización del depósito.

Para la Generación de los mapas, en el presente trabajo se utilizaron las curvas de nivel, los drenajes y las vías existentes del IGAC.

4.4.2 Litología. La zona propuesta para realizar la cartografía a detalle, fue la parte sur de la loma Queresas con 3.011.234 m² (3,012km²), sin embargo, no solo se le desarrolló la cartografía al área propuesta, sino a toda el área de interés que consta de 11.963.624 m² (11,97 km²).

Las peridotitas afloran principalmente en la zona, de sur a norte: y se componen principalmente de canga-duricrest; laterita, saprolito verde, peridotita saprolitizada y peridotita; A partir de lo encontrado, el perfil laterítico de la peridotita se dividió en campo (Cartografía de superficie), en las siguientes unidades: Canga y Laterita, peridotita saprolitizada y peridotita, Laterita de basalto y laterita de Gabro, además de rocas sedimentarias, que por la poca información encontrada en la zona en superficie, se podría colocar como cuaternario, aluvial.

Figura 5. Mapa Geológico de la zona de estudio, en el que se aprecia la cartografía encontrada en superficie (en el 1er metro), las estructuras como fallas, lineamientos y puntos con toma de datos estructurales.



- ✚ **Canga y Laterita de Peridotita:** En el mapa corresponde a toda la franja de color rojo, la cual consta de Laterita y canga.

La canga o “duricrust”, es el último producto del proceso de meteorización de la peridotita y se encuentra sobre la laterita, generalmente en áreas topográficamente más altas como remanentes de planicies o la cima de los cerros, en este caso Queresas y porvenir, en los cuales no se presenta como una capa continua sobre estos, sino en bloques de tamaños que van desde 30cm hasta 1.50m de diámetro aproximadamente y en gran cantidad; por lo general presenta muy alto magnetismo, no se le observa ningún rasgo textural ni composicional de la roca original, compuesta principalmente por concentraciones de nódulos de óxido de hierro en una matriz arcillosa, en algunas ocasiones se encuentra pseudoestratificada, posiblemente por una erosión diferencial de óxidos, muy dura, no se parte con facilidad y al ser golpeada con el martillo presenta sonido metálico. Se encuentra tanto in situ como rodada.

Figura 6. A la izquierda, se observa zona con clastos de canga con tamaños entre 40cm a 1mt, ubicados en el norte de Queresas sobre laterita de alto Fe; a la derecha se observa un bloque de canga pseudoestratificada.



Algunas veces se encuentra como bloques transportados al pie de los cerros, algunas veces sobre materiales sedimentarios especialmente hacia el Nor-Este de Queresas.

La laterita, son Capas de limos y arcillas, de tonalidades café rojizo, rojo oscuro a muy rojizo cuando es de alto contenido de Fe con presencia de canga sobre esta, en algunas partes se observa de tonalidades pardo rojizo por las variaciones en el contenido de Fe y con poca presencia de canga. Esta laterita comúnmente presenta alto magnetismo, bastante terrosa, poco cohesiva y al contacto con las manos, mancha. Generalmente se encuentra en la parte superior de las colinas planas, cubriendo todo el área erosionada

✚ **Peridotita saprolitizada y peridotita:** Dentro de esta “unidad”, en algunas partes de Queresa, se observa el saprolito, de tonalidad verde oscura, un poco arcilloso y plástico, pero en bajas cantidades y delgados, espesores como para ser cartografiadas, por esta razón en el presenta trabajo no se diferencié, pues por lo general, esta se genera cuando el perfil está bastante desarrollado, por lo tanto se debe de encontrar debajo de la canga y la laterita, en contacto con la laterita en la parte superior y en contacto con la peridotita saprolitizada en la parte inferior.

La peridotita saprolitizada ocurre como la alteración inicial de la peridotita, con aspecto fresco, excepto en las áreas expuestas a la meteorización superficial, donde toma un color pardo-rojizo por la oxidación y se resalta a simple vista el ortopiroxeno por su color bronce, muy alterado, la roca también toma coloraciones verde oscura a verde azulado cuando se va a iniciar la transición a saprolito. Su dureza varía de 5 en la parte más “fresca” a 3 en la parte más expuesta a la intemperie donde se puede romper con facilidad; con un poco de profundidad se llega a la peridotita, que es la roca de origen.

La roca a partir de la cual se desarrolla el perfil de interés, hace parte de una serie de rocas ultramaficas con predominio de peridotitas y algunas partes dunitas e intrusiones de gabro. Tienen textura fanerítica, tamaño de grano fino a medio, con apreciables cristales piroxeno, la cual presenta tonalidades verde oscura a negra, cuando está fragmentada, los fragmentos son abrasivos, y grandes. La peridotita de Planeta rica también es un poco magnética y se encuentra altamente fracturada y serpentinizada.

Figura 7. A la izquierda, Afloramiento hacia la base de Queresas Sur de peridotita expuesta a la meteorización presentando tonalidades pardas rojizas. Y a la derecha, peridotita meteorizada evidenciando los cristales de ortopiroxenos alterándose.



Se encuentra un afloramiento de la roca fresca en la zona del oeste del cerro Queresas y la parte meridional de la colina, donde existe una cantera abandonada y artesanal. La peridotita en este afloramiento está fuertemente fracturada y serpentinizada, pero en algunos lugares tiene alguna saprolitización.

Figura 8. Cantera de peridotita en la base del cerro el grillo, hacia el Oeste de Queresas.



También se clasifico en esta unidad, las partes donde se encontraba laterita de perfil no desarrollado de peridotita, pues esta laterita presenta tonalidades más marrones a café un poco rojizo, pero sin rastro de canga, de poco espesor y no se desarrolla saprolito, sino que pasa de una a peridotita o peridotita saprolitizada.

Figura 9. Laterita de peridotita en perfil no desarrollado, de tonalidad más marrón a café un poco rojiza, sin rastros de canga y con regolito de peridotita saprolitizada y peridotita fresca.



- ✚ **Laterita de Basalto:** Se encuentran aflorando la laterita del basalto hacia el norte de la zona de estudio, en el cerro Queresas y hacia el Oeste de este cerro, si se encuentra afloramientos con roca fresca y en este se pueden observar intercalaciones con diabasas (microgabros) algunas veces magnéticas. La laterita de basalto se reconocer por su tonalidad más rojiza (rojo encendido) y un poco más plástica que la laterita de peridotita, tipo arcillosa. A el basalto como roca fresca, se le pueden observar vacuolas y cavidades rellenas de zeolitas.

Figura 19. Se observa laterita de Basalto, con un color rojo más encendido, más plástica, más arcillosa, afloramiento ubicado al Oeste de la zona de estudio



Los Basaltos encontrados son de tonalidad gris oscuro a negro con cristales de plagioclasas milimétrica en una matriz afánítica. Composicionalmente puede variar a las andesitas porfiríticas. En algunas áreas se observan estos basaltos asociados con la diabása por medio de silos y diques. Localmente estas rocas altamente alteradas fueron encontradas formando la oxidación gruesa de las costras (ferricrust) en su superficie.

Figura 10. Basalto con zeolitas relleno de cavidades. Afloramiento al Oeste de la zona de estudio.

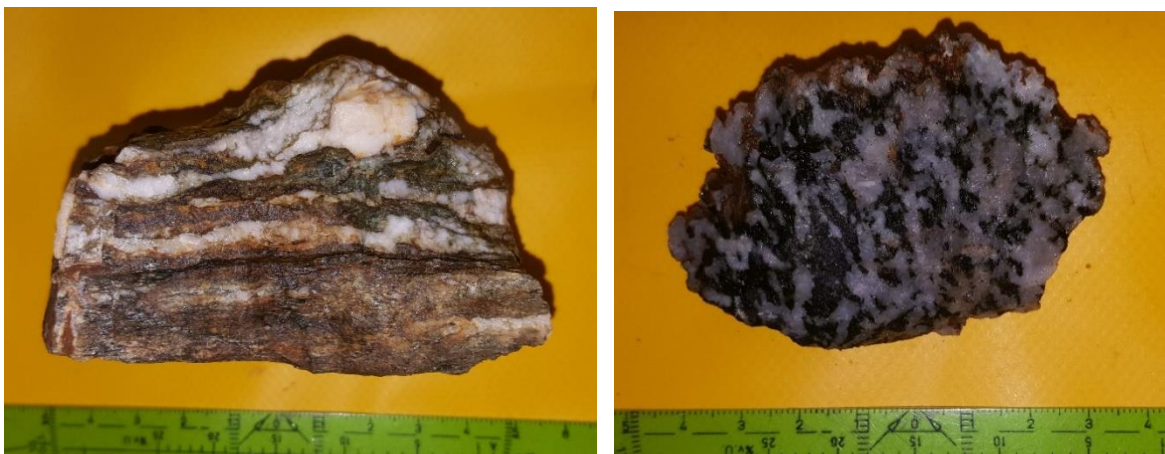


- ✚ **Laterita de Gabro:** Los gabros en la zona están asociados a zonas de falla. Se encuentran incluidos dentro de las rocas ultramáficas y en los micro gabros. Estos gabros se encuentran principalmente hacia el Este de Porvenir, limitados por una falla que los pone en contacto con el perfil de la peridotita, sin embargo también se encuentran en otros lugares muy puntuales como se observa en el mapa, asociado a fallamientos y/o lineamientos, hacia el Oeste de porvenir y en queresas. En superficie, se encuentran muy meteorizados, tanto así que también desarrollan laterita, sin embargo son fácilmente diferenciables de la laterita de peridotita por sus características físicas como su tonalidad más marrón clara a amarillenta y que en algunos casos se encuentran rodados de esta, los cuales presentan una meteorización totalmente diferente en comparación con la de la peridotita, entre esas que algunos gabros de esta zona presentan esquistosidad y orientación, “asociados a metamorfismo y tectonismo”.

Figura 11. Laterita de Gabro, de tonalidad más marrón clara a amarillenta, hacia la parte sur del cerro Queresas.



Figura 12. Imagenes de gabros rodados encontrados en el sur del cerro Porvenir. Evidencian metamorfismo.



Los microgabros se encuentran como facies dentro de los basaltos, haciendo parecer en superficie como si fueran intercalaciones de estas rocas. Se le dio la connotación de “microgabros” por su textura afanítica; en la zona de estudio se encuentran principalmente más hacia el Norte, por Queresas y hasta se encuentran afloramientos en superficie hacia el Oeste de Queresas.

✚ **Rocas sedimentarias:** Por lo general, en la zona de interés, los materiales sedimentarios que se encuentran al Este, no son los mismos que se encuentran hacia el lado Oeste. Los del lado Este son friables, poco compactos, de coloraciones claras y de composición arenosa en el contacto con las rocas ultra básicas, también se observan bancos de areniscas de grano fino a muy fino bien seleccionadas con contenidos de cuarzo.

Figura 13. Se observa tonalidad del material en superficie. Foto tomada en superficie que se encuentra en la parte Norte y NorEste de la zona de estudio.



Hacia el Sur y Sur Oeste se puede diferenciar otro tipo de material sedimentario, con una variedad de tonalidades que van desde grisáceos a amarillentos, naranjas y rojizos, más limoso a limo arenoso muy fino, semiplástico, presenta granos de sílice de tamaño arena media en algunos sectores, más compacto, se rompe en tablitas; también se observan cherts silíceos de tonalidades grisáceas. Geomorfológicamente corresponden a esas colinas pequeñas que sobresalen en medio de las planicies que caracterizan la zona.

Figura 14. Fotos tomadas en el recorrido de campo donde se muestra la litología encontrada principalmente hacia el Sur y el Oeste de la zona de estudio.



Figura 15. Cantera de Cherts al Oeste de la zona de estudio.



Hacia el lado Sur Este de Queresas, se presenta material sedimentario tipo arcilloso, de muy alta plasticidad, de color pardo amarilloso y de tonalidades blancas crema. Es disgregable, terrosa, de muy alta plasticidad, con óxidos de hierro.

Hacia la parte central - Este entre Queresas y Porvenir, se encuentra suelo residual de color pardo oscuro, con tonalidades rojizas, presenta materia orgánica por la coloración, es arcillo limoso con fragmentos subangulosos de cuarzo y líticos (Canga). Es consistente y competente, textura grumosa y terrosa, con oxidación. En el primer metro de profundidad hacia la base el material cambia de tonalidad a un pardo amarilloso menos rojizo, es más conglomerático matriz soportado, con una matriz arcillo limosa (60%) y fragmentos líticos oxidados y cuarzo subredondeados a subangulosos, con tamaños que varían entre 1cm a 1 mm.

Hacia el NW de Queresas material arcillo-limoso de tonalidad blancuzca con sectores rojizos, maleable. Con fragmentos muy pequeños de otros materiales. Luego pasa a un material más arenoso de tamaño de grano fino a muy fino.

Hacia la parte norte de porvenir, se encuentra un material color pardo rojizo, altamente plástico, granular, arcilloso, presenta, una estructura estratificada, con presencia de materia orgánica, a profundidad se va volviendo un material más conglomerático con regolito de peridotita.

Hacia el Noreste de porvenir, el material es de color café a naranja, con fragmentos de materia orgánica, tamaño de grano arena media a fina, presenta granos tamaños granulo de sílice.

Hacia el Sur Este de Provenir, roca sedimentaria tipo arcillolita, de color amarilloso con tonalidades rojizas, de muy alta plasticidad, consistente y competente. A mayor profundidad aumenta el tamaño de grano de las arenas, con bandas carbonosas.

4.4.3 Estructuras. Previamente, se realizó la fotointerpretación a partir de imágenes satelitales y un mapa de magnetometría aportado por la compañía, la cual arrojó un patrón de lineamientos en dirección NW/SE (146 o a 326 grados), que se encuentran con línea punteada, sobre las unidades básicas y ultra básicas, especialmente por todo el cerro porvenir, y en sentido NS y otros NE-SW hacia la parte de queresas.

En campo, a partir de datos estructurales tomados, se encontró que la zona presenta aproximadamente 5 patrones estructurales predominantes que oscilan entre:

- ✓ Patrón 1: 80° y 85°
- ✓ Patrón 2: entre 95° y 100°
- ✓ Patrón 3: entre 305° y 315°
- ✓ Patrón 4: entre 45° y 55°
- ✓ Patrón 5: entre 160° y 165°

Los lineamientos de 165° o 345° se encuentran desplazados por los de 50° o 130°.

Se encontraron también lineamientos en dirección N-S de aproximadamente 8°, 15° y 20°; también se encontraron diques con una dirección de 293°/85°.

Los lineamientos que se sacaron a partir de fotointerpretación, tienen similitud con los encontrados en campo; adicionalmente, coinciden con los patrones

estructurales predominantes en las secciones delgadas en forma de enrejado. (Ver anexo petrográfico). La zona se encuentra muy afectada tectónicamente.

4.5 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO A PARTIR DE ANÁLISIS DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN

Esta actividad se realizó antes de la cartografía en los núcleos de los pozos perforados previamente, con el propósito de aprender a identificar con mayor precisión los diferentes tipos de litologías presentes en la zona; también después de realizar la cartografía, sobre los pozos perforados a partir de ella, comprobando la veracidad de los datos adquiridos en campo; adicionalmente se elaboraron secciones delgadas pulidas, a partir de las cuales se identificaron parámetros como fases minerales, texturas, estructuras, especialmente aquellas relevantes y que ayuden a determinar las rocas aflorantes (Ver anexo petrográfico)

Las perforaciones que se realizaron fueron Perforación con Recuperación de Núcleo y Circulación Directa, las cuales son de gran ayuda, pues aportan bastante información para el modelo.

4.5.1 Metodología. El logueo, la toma de densidades y el muestreo contribuyen a los sistemas QA/QC. A continuación se explica brevemente las metodologías utilizadas para estas actividades:

Logging: En esta actividad se desarrollan análisis macroscópicos de los núcleos de perforación, los cuales tienen como fin establecer características texturales, estructurales y de composición mineralógica (Ver Tabla 3); En este procedimiento también se emplean análisis RQD (*Rock Quality Designation*), de los cuales existen tres procedimientos que se pueden llevar a cabo, sin embargo, en la

compañía, para determinar el RQD en la zona de estudio se calcula midiendo y sumando el largo de todos los trozos de testigo mayores o iguales que 10 cm en el intervalo de testigo de 1 m, se incluyen los discos del núcleo ocasionados por rotura mecánica de la roca como parte del RQD. (ver Tabla 1) A continuación se presenta la fórmula para el cálculo del RQD:

$$RQD = \frac{\text{Suma de longitud de testigos } \geq 10\text{cm}}{\text{longitud total del sondeo}} \times 100\%$$

Tabla 3. Tabla utilizada para el análisis de los núcleos de perforación, la cual contiene códigos para cada casilla.

Observaciones Generales		Corrida						Dureza	Discontinuidad	Fracturas por ángulo			Condición de Discontinuidad			Clasificación Textural o Litológica (Ultra maficos)			Color		Estructuras sedimentarias	Contorno	Minerales secundarios		Muestra	OBSERVACIONES					
Geologo	Fecha	Limite	Topa (m)	Base (m)	Corrida (m)	Recobro (m)	Recobro (%)	RQD (cm)	RQD (%)	Grado	Tipo	F0,30	F30,60	F60,90	Relleno	Alteración	Rugosidad (Corte)	Apertura (mm)	Principal (%)	Secundaria (%)	Principal	Secundario	Tipo	Tipo	Principal	Otros	Código	Descripción			
4	18/04/2017	2.5	2.00	2.50	2.50		0.00		#D1V/D2																						
4	18/04/2017	1.5	0.50	1.50	1.00		0.00		#D1V/D2																						
4	18/04/2017	2.5	1.50	2.50	1.00		0.00		#D1V/D2																						
4	18/04/2017	3.5	2.50	3.50	1.00		0.00		#D1V/D2																						
4	18/04/2017	4.5	2.50	4.50	1.00		0.00		#D1V/D2																						
4	18/04/2017	5.5	4.50	5.50	1.00		0.00		#D1V/D2																						
4	18/04/2017	6.5	5.50	6.50	1.00		0.00		#D1V/D2																						

Densidad: Después de realizarse el logueo, se procede a tomar muestras cada tres metros o cada cambio de litología para determinar la densidad a los materiales. Estas muestras tienen que tener una longitud entre 16 y 20 cm sin fracturas ni fisuras; si se presenta el caso de no tener muestras de esta longitud, se evita tomarlas.

Este procedimiento tiene como fin tomar datos necesarios que aporten al final para la realización del modelo.

Muestreo: Una vez que el núcleo se ha descrito (Logueo) y se han extraído las muestras de densidad, se lleva a la cortadora, la cual realiza un corte longitudinal por el centro, dividiéndolo en dos partes iguales. Posteriormente, se toma la muestra metro a metro, teniendo en cuenta las muestras especiales (Central (C) y Lateral (L)) para después enviarlas al laboratorio. En oficina se realizan las etiquetas para la correcta marcación de las muestras para el ingreso al laboratorio de estas, para así llevar un control de calidad de las muestras y garantizar la calidad de las mismas (QA/QC - Quality Analysis / Quality Control).

4.5.2 Descripción de las litologías encontradas

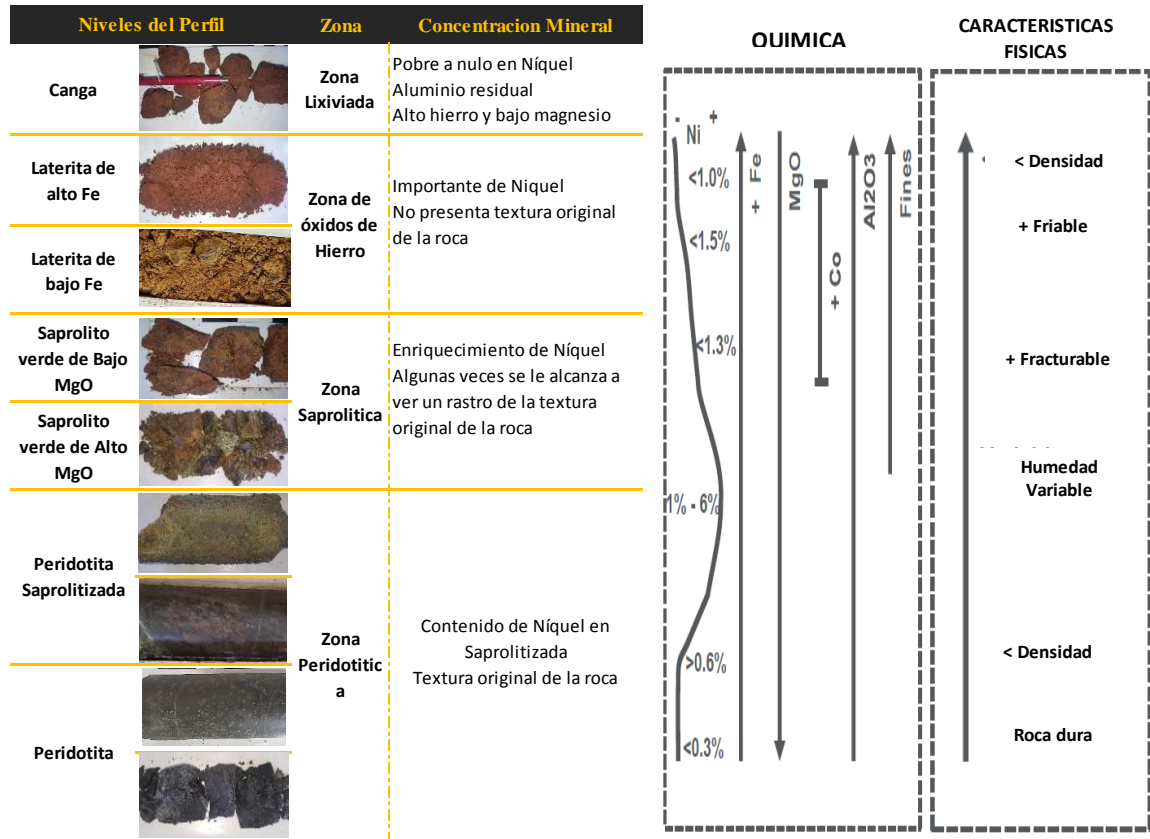
Perfil laterítico de Peridotita

El depósito de lateritas de la zona es de tipo silicatos hidratados. El cual presenta un tramo saprolítico muy desarrollado y enriquecido en minerales portadores de Ni; a continuación, se presenta el perfil generalizado desarrollado en la zona de estudio:

El perfil laterítico de níquel en esta zona, está formado de techo a base por: Canga, Laterita, saprolito, peridotita saprolitizada y peridotita.

La canga que se desarrolla en este perfil tiene una dureza muy alta, masiva, muy magnética cuando tiene alto contenido de Fe, no es común encontrar acá la denominada canga mona, sin embargo si se presenta y se diferencia de la de alto Fe, por su pobre o nulo magnetismo y por su tonalidad parda amarillenta, sin embargo, la presencia de estas, es un indicador de buena mineralización desarrollada.

Tabla 4. Perfil Laterítico generalizado de las peridotitas en Planeta Rica, Córdoba



La zona limonítica o laterítica que en su mayoría es de alto contenido de Fe, sin embargo, hay partes donde por características físicas como tonalidad, magnetismo, entre otras también se diferencia la laterita de bajo Fe.

El Saprolito, el cual presenta una variedad de tonalidades verdosas, rojizas, pardas, entre otras; esta es la zona del perfil en donde hay mayor concentración de níquel, la más enriquecida.

La peridotita saprolitizada, es la transición a la roca fresca (Peridotita), la cual presenta bastante contenido de níquel, conserva la textura original de la roca, se encuentra muy serpentizada y usualmente muy fracturada.

La Peridotita de Planeta Rica, en muestra de mano se clasificó como Harzburgita por los cristales de enstatita que se le pueden observar a simple vista, pero que en sección delgada, por lo alterada que se encuentra (altamente serpentizada), no se pudo definir con certeza; con pequeñas intrercalaciones de dunita (ver Anexo petrográfico). Entre sus propiedades físicas se observa de color verde muy oscuro, Gris oscuro a negro. Su textura es fino a medio granular, algunas veces afanítica y de grano grueso sobre matriz fanerítica, y presenta minerales accesorios como la magnetita pues es bastante magnética, la cromita en menor cantidad, la calcita y el cuarzo, la calcita y la magnesita relleno de fracturas, presenta patinas de broncita.

A continuación, se presenta una tabla resumen con las características principales de cada zona del perfil:

Tabla 5. Tabla resumen con las principales características de cada tramo del perfil laterítico de níquel en Planeta rica.








TR	MINERALOGIA	MANO	SD	COLOR	DESCRIPCION GENERAL	CARACTERISTICAS PUNTUALES
Canga Mona	gohetita chamosita clorita	x	x	café claro a amarillo claro pardo a café claro	<ul style="list-style-type: none"> Corteza ferruginosa endurecida y cementada No se presenta ni rasgo textural, ni composicional de la R. original 	<ul style="list-style-type: none"> Dureza 3 (rayado por el metal) Algunas veces se fractura en forma de tablitas y se pega a la lengua No magnética > cant. De aluminio, < cont Fe
Canga >Fe	espinela cromita magnetita gohetita magnetita secundaria hematita limonita	x x x x x	x x x x x	rojo oscuro pardo café	<ul style="list-style-type: none"> Masiva, algunas veces bandeado laminar Estratodecreciente, cuando se ve pseudoestratiforme 	<ul style="list-style-type: none"> alta cant de magnetita, a veces se presentan Nodulos > cont. Fe, < cont. Al a veces canga nodular Dureza de 5 (raya el metal) en campo al golpear con el martillo su sonido es metalico a veces se observan cristales euhedrales y subhedrales de magnetita
Laterita > Fe	gohetita ox. De manganeso	x x	x x	rojo oscuro muy rojizo	<ul style="list-style-type: none"> dureza de 1 (friable, se desborona al contacto con las manos) suelo amorfo y blando mancha evidencia de movimiento gravitacional 	<ul style="list-style-type: none"> material en su mayoría lodos (limo-Arcilloso) patinas de óxido de manganeso más compacta que la laterita de <fe Fe>40%, Mg<1% Usualmente presenta magnetismo
Laterita < Fe	gohetita M.O.	x x	x x	Rojo a pardo rojizo anaranjado	<ul style="list-style-type: none"> evidencia de movimiento gravitacional 	<ul style="list-style-type: none"> poco cohesivo No presenta magnetismo Predomina material lodoso (limo)
Saprolito Verde de bajo magnesio	manganeso	x	x	pardo verdoso verde clara amarillenta o café rojiza pardo amarillento	<ul style="list-style-type: none"> es la unidad con mayor concentración de Ni se caracteriza por conservar las estructuras de la roca madre dureza moderada a alta preservación de la textura medio a grueso granular original de la roca madre en estado avanzado de meteorización varia su color a café,pardo amarillento en este estado se puede desmenuzar en este estado >Fe y <Mg, por lo tanto se divide en 2 unidades: de Bajo MgO y de alto MgO 	<ul style="list-style-type: none"> no conserva estructuras de la roca original de aspecto terroso, lodoso dureza de 2 (se parte al esfuerzo) predomina material fino, pero tambien fragmentos redondeados al tomar porcion y compactarla con la mano, esta se mantiene compacta manganeso en patinas
Saprolito Verde de Alto magnesio	Garnierita Silice broncita serpetina	x x x x	x x x x	verde oscura verde clara café Verde azulado	<ul style="list-style-type: none"> preservación de la textura medio a grueso granular original de la roca madre en estado avanzado de meteorización varia su color a café,pardo amarillento en este estado se puede desmenuzar en este estado >Fe y <Mg, por lo tanto se divide en 2 unidades: de Bajo MgO y de alto MgO 	<ul style="list-style-type: none"> se caracteriza por conservar Rasgos de las estructuras de la roca original a veces con estructuras moteadas entre tonos de verde dureza de 2, pues se rompe con el esfuerzo de la uña) a 3 Predominan materiales finos aunque con fragmentos subredondeados de peridotita, peridotita saprolitizada o broncita broncita y serpentina en relictos de peridotita saprolitizada Algunas veces se presenta la Garnierita y Si en venas y fracturas apariencia terrosa al tacto, fragmentos lisos cuando se golpea con el matillo suena hueco cuando está humedo se puede confundir con la peridotita

Peridotita sapolitizada	olivino		x	verde oscura	<ul style="list-style-type: none"> • es la primera etapa de meteorizacion de la peridotita • tiene aspecto de roca fresca, excepto e las caras expuestas a meteorizacion, que son naranjas a verde azuloso • enstantitas en relieve generalmente de color bronceado (Broncita) • Quimicamente, es RT50 cuando el cont. De Mg está entre 24 y 34% • Generalmente se presenta en bloque sde roca con peridotista frezca hacia el centro • tiene patinas amarillas y rojas • dureza de 5 en el nucleo (no se rompe al esfuerzo y raya el metal) • Dureza 3 en su borde (se rompe facilmente) • solo se observan cristales de piroxeno a los bordes y la zona mas alterada • serpentina en zonas de fractura • Garnierita, Si, Serpentina en venas asoc. A fracturas • broncitaen zonas de mayor alteracion en los bordes • patinas de manganeso • a veces se ve peridotita sapolitizada silicificada • cuando esta humeda se puede confundir con sapolito de alto Mg • los fragmentos son angulares y de 0.5cm, con material fino que viene de los bordes de la roca • alteracion en los bordes
	piroxenos	x	x	naranja a verde	
	Serpentina (Antigorita y crisotilo	x	x	azuloso	
	broncita	x			
	pirolusita	x			
	calcita	x			
	cromita		x		
magnetita		x			
Peridotita	olivino		x	negro a verde	<ul style="list-style-type: none"> • macroscopicamente medio granular a grueso granular • textura faneritica con cristales de ortopiroxeno que saltan sobre el olivido de menor tamaño • se pueden observar varias estructuras como: venas, Boxwors (colmenas de Si), espejos de falla, Brechas, Brechas de falla, milonita • las milonitas, producidas por presion y frotamiento o cataclasis. Las rocas son rotas y laminadas para formar una roca de grano fino, que puede presentar alguna exfoliacion. • cuando se encuentra milonita no es recomendable para el pozo, aunque el nikel sea de 0.4% • dureza de 5 (no se rompe al esfuerzo y raya el metal) • Garnierita, magnesita, Si, serpentina y calcita rellenando venas • no se ve ningun tipo de alteracion, completamente fresca • cuando esta fragmentado, los fracmentos son abrasivos, y grandes • a veces contiene venas de Qz, carbonatos, serpentina y/o magnesita y planos de falla con estrias.
	Plageoclasa		x	oliva	
	Piroxenos	x	x	Gris azulosa	
	ortopiroxenos	x	x	verde oscura a	
	enstantita			negra	
	Clinopiroxenos		x		
	Serpentina (Antigorita y crisotilo	x	x		
	magnetita		x		
	cromita		x		
	Garnierita	x			
Si y calcita	x	x			
magnesita	x				
Talco		x			
Serpentinita	Serpentina	x	x	negra	<ul style="list-style-type: none"> • Se asocia comunmente con zonas de falla • usualmente presenta textura vitrea, algunas veces terrosa. • a veces presenta planos de falla con estrias. • Se encuentra dentro de la zona peridotitica • dureza de 1 (muy quebradizo y fisil) a 4 (no se rompe al esfuerzo) • los fragmentos son angulares y con bordes afilados y su fractura es concoidea • en SD, presenta textura cataclastica • se pueden observar varios efectos del metamorfismo dinamico relacionado a la zona de falla Romeral: brechacion, cataclasis, granulacion y milonitizacion. • probablemente producto del tectonismo local a partir de la peridotita y/o peridotita sapolitizada • puede indicar posible origen tectonico , siendo un caso extremo de milonitizacion
	Cromita		x		

✚ Perfil laterítico de Basalto:

Se encuentra perfil laterítico de basalto, pero este no presenta enriquecimiento de níquel; sin embargo, se describirá a continuación con el fin de evitar confusiones con el perfil laterítico de la peridotita, pues es el más parecido a este:

Tabla 6. Perfil laterítico de basalto, con su respectiva descripciones generales para cada zona.

Perfil de Basalto		
	Laterita	Tonalidad muy rojiza a anaranjada, sin magnetismo, limoarcilloso, semi plastico, terroso, de grano fino, friable, algunas veces presenta algunos cristales alargados color crema muy alterados.
		
	Saprolito	Con tonalidades mas café verdosas, menos rojizas, mas terroso, arcilloso, friable; no se le diferencian bien la textura
		
	Basalto saprolitizado	Por fluidos presenta bastante meteorizacion dando tonalidades Verdosas, amarillentas y en otros casos oxidacion, en especial asociados a las zonas fracturadas, Tambien se le observan algunos cristales alargados de minerales maficos
		
	Basalto	Roca ignea afanítica de dureza alta, compacta, color gris verdoso oscuro, presenta venillas rellenas de carbonato, la matriz en general es rica en carbonatos, presenta amigdalas o vesículas rellenas en su mayoría de carbonatos, además de algunos cristales alargados de minerales maficos

Se encuentran dentro de estos, facies de microgabros a los cuales se les observan los anfíboles orientados evidenciando textura fluidal. Se encuentran bastante asociados a fallas con fuerte serpentinización

🚧 Perfil laterítico de Gabro:

Los gabros se encuentran asociados a fallas con fuerte serpentinización- El perfil laterítico del gabro es muy diferente al de basalto y al de la peridotita, puesto que este es reconocible a simple vista por su textura un poco granular.

La laterita de gabro, es de tonalidades más pardas a amarillentas, con bastantes óxidos de Fe, material masivo, altamente plástico, de poco espeso; seguidamente se encuentra el saprolito con tonalidades café claro a verdosas, más terroso, con ,matriz limo arcillosa de grano medio, con pequeños cristales de plagioclasas alteradas, textura granular, disgregable y friable, con alto contenido de óxidos, también se presenta fragmentos de sílice y de roca fresca compacta dentro de este algunas veces. El gabro saprolitizado se encuentra altamente afectado por los esfuerzos que afectan la zona, muy fracturado, de textura fanerítica, inequigranular, de grano grueso, con cristales de plagioclasa y feldespatos alterados (argilización), además de anfíboles y piroxenos; también venas rellenas de sílice, con pirita y algunas veces calcopirita menor al 1% y presenta patinas de óxidos amarillentos tipo jarosita en los planos de debilidad.

El gabro de tonalidad gris oscuro, presenta textura fanerítica de grano grueso, con anfíboles alargados y cristales de feldespatos y plagioclasa, se observan venas rellenas de sílice y carbonatos. Se presenta pirita 4% esta se encuentra relleno algunas fracturas y se presenta anhedral y subhedral, asociada a las partes donde la roca se observa con mayor contenido de máficos; en esta, se pueden observar desplazamientos en forma de enrejado.

✚ Rocas Sedimentarias:

Las rocas sedimentarias que aparece en el lado norte y noreste de Queresas y parte sur de la zona, se encuentran asociadas estratigráficamente a la Fm. Ciénaga de Oro, en general, rodeando todas las colinas de la zona. Presentan mantos muy delgados y cintas de carbón, arcillolitas y arcillolitas limosas de diferentes tonos de grises (desde claros hasta oscuros) en algunas lugares presenta contenidos fosilíferos (fragmentos de conchas de moluscos), además, existen bancos de areniscas de grano fino a muy fino bien seleccionadas con altos contenidos de cuarzo, se encuentran estructuras de corriente como laminación paralela y cruzada entre otras. Ocasionalmente se han encontrado zonas con arenas gruesas angulares muy cuarzosas y limpias, en otros casos se observan arenas calcáreas (intercalaciones delgadas carbonatadas) de alta dureza.

El segmento superior es una secuencia de grano decreciente que tiene en la base un nivel oligomíctico de conglomerados (huevos de paloma) intercalado con areniscas conglomeráticas de cuarzo que muestran estratificación cruzada. Esta secuencia tiene en la parte superior una arenisca rítmica y un paquete de barro que muestra una arenisca fosilífera arenosa intercalando en la parte superior menos de 20 metros de espesor.

Rocas sedimentarias que se encuentran en las zonas Oeste y Noroeste de Queresas. Está compuesta por Limolitas silíceas de color amarillo oscuro a color marrón claro, con intercalaciones en sus tonalidades que van desde tonos crema claros de chert a cremas rojizas, asociado a la fm. Cansona

✚ Depósitos aluviales y coluviales

En los alrededores de los cerros es común encontrar un compuesto de material coluvial principalmente por fragmentos de canga de diferentes tamaños en una matriz de laterita. Sólo se encuentran en las zonas más empinadas de las estribaciones.

Al este de los cerros y colinas, en las partes más bajas y más planas, se encuentra material aluvial, asociado a toda corriente y corrientes que descienden. Compuesto principalmente por arcillolitas y arcillas con algunas rocas de diferentes tamaños de canga, peridotita saprolitizada, cuarzo, basaltos. Con un espesor aproximado de 3 a 4 metros.

4.6 ZONAS MINERALIZADAS

Las zonas de interés, de las cuales se esperan altos contenidos de níquel son las que, en el mapa, se encuentran en color rojo, es decir la zona con laterita y canga, puesto que por lo general, cuando se encuentran estas dos en superficie, evidencia un desarrollo más maduro del perfil, por consiguiente, se espera en estas, desarrollo de la zona saprolítica, que es la que tiene el alto contenido de níquel.

Basado en el análisis de la cartografía realizada y de la información adquirida en las descripciones de los núcleos de perforación, se puede decir que:

En la parte norte de Queresas presenta el perfil de canga mucho más grueso, con grandes cantos en la superficie asociado a algunas alineaciones reconocidas en campo en sentido sur-norte con una fuerte serpentización asociada; en la parte Sur, se logra desarrollar el horizonte de saprolito verde un poco más grueso, la laterita se extiende más y hacia los bordes del cerro, el perfil se va reduciendo en espesor.

En el cerro porvenir, no se encuentra tan extenso en superficie como en Queresas, pero contiene mayor espesor desarrollado; en la parte norte de este cerro, el espesor es más uniforme y predomina la presencia de laterita con menor

cantidad de cantos de canga; hacia el Sur de este cerro, presenta un perfil mucho más grueso y evidencia tendencias estructurales asociadas a la mineralización.

Es importante tener en cuenta que, el grado de serpentización es de gran importancia por su grado de enriquecimiento en níquel, pues a mayor grado de serpentización de la peridotita menor contenido de níquel.

5. COMPETENCIAS ADQUIRIDAS Y DESARROLLADAS DURANTE LA PRÁCTICA

Esta práctica aportó a la compañía no solo información sobre el depósito, sino también un apoyo técnico en las diferentes actividades realizadas en esta etapa de exploración, según las necesidades que se iban presentando; a partir de dichas actividades, se desarrollaron competencias y habilidades como:

- ✓ Descripción y análisis de núcleos de perforación (Logging)
- ✓ Mayores conocimientos en Sistemas de información Geográficas (ArcGis)
- ✓ Bases para el manejo de otros software como Datamine
- ✓ Manejo de bases de datos
- ✓ Nuevas metodologías de muestreo. (muestreo con auger, paladraga y Sedimentos activos)
- ✓ Conocimiento en metodologías para QA/QC (muestreo, densidad, bases de datos)

6. CONCLUSIONES

- ✓ Aunque las rocas sedimentarias que afloran en la zona no eran el foco de estudio, a partir de lo encontrado a profundidad en las perforaciones y en campo, se puede decir, que Las rocas sedimentarias que aparece en el lado norte y noreste de Queresas y parte sur de la zona, generalmente, rodeando todas las colinas de la zona, corresponden a la Fm. Ciénaga de Oro y las rocas sedimentarias que se encuentran en las zonas Oeste y Noroeste de Queresas se asocian a la Fm. Cansona.

- ✓ A partir de la composición encontrada y de la asociación de rocas volcanoSedimentarias del cretácico que se encuentran en la zona de estudio, Se podría pensar que el complejo ultramáfico de Planeta Rica, es la continuación más hacia el Norte del gran sistema "tectónico-ofiolítico" de Romeral mapeado a lo largo de más de 300 km al sur.

- ✓ La zona de estudio se encuentra estructuralmente muy afectada; se encontraron que los lineamientos tomados en campo concuerdan con las direcciones de los sistemas de fallas que influyen en esta zona como lo son el sistema de fallas romeral, falla Bolívar, entre otras; también se reconocieron dos direcciones de sistemas de fallas y/o fracturas; en el sistema principal se observa una orientación regional NE, y el secundario una dirección NW; es decir, se interceptan a manera de red como formando una malla, la cual también se evidencio en la petrografía. Las zonas de fallas están bien evidenciadas por milonitización, cataclasis, brechificación y desplazamientos normales, o varios fenómenos a la vez; estos rasgos tectónicos son evidentes dentro del conjunto mesozoico; dentro del terciario y cuaternario se pierden, aunque el conjunto terciario también se ve afectado por el fallamiento.

- ✓ En comparación con el perfil laterítico de Cerro Matoso, el perfil de meteorización de Planeta Rica es muy similar al de la secuencia de algunos pozos que se encuentran en este, con un grosor de 23 metros, identificado como máximo, y todas las unidades litológicas presentes. El perfil de Planeta Rica no es más grueso que el perfil meteorizado de Cerro Matoso, pero es un depósito comparable con otros depósitos del mundo en espesor y litología-.
- ✓ A continuación se presenta una tabla resumen del área de estudio a partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo:

Tabla 7. Tabla resumen del proyecto de Planeta Rica

TABLA RESUMEN	
CARACTERISTICAS	PLANETA RICA
Morfología	Colina alargada con pendiente <30°
Topografía	50 - 225m
Desarrollo de Perfil	Canga, Laterita, Saprolito, Peridotita Saprolitizada y peridotita
Roca Origen	Piroxenita, Hazburgita, Dunita
Litología Relacionada	Basaltos olivínicos, Gabros Serpentinizados - Sedimentos Terciarios
Mineralizaciones Asociadas	Principal: Cromo-espínela, Iddingsita, Hematita-Limonita, Picotita
Edad	Cretácico
Extensión	2 Km
Ambiente	Reductor
Estructural	Estructuras Secundarias Asociadas al Sistema de Fallas de Romeral, Fallas de Alto ángulo con principal componente en rumbo.

- ✓ El proyecto, permitió avanzar a fases más detalladas en la exploración, en donde se seleccionaron los puntos para las mallas de perforación 100m x 100m, y con los resultados obtenidos en dicha malla, se comprobó la veracidad

de los datos obtenidos en campo, acercándonos un poco más a los objetivos de expansión minera de la empresa.

- ✓ Los resultados del proyecto no solo fueron positivos, sino que también se cumplieron los objetivos propuestos, se optimizaron los tiempos con nuevas metodologías, en las que se innovó con el uso de la tecnología en campo como mapas interactivos digitales, lo que permitió realizarlo en menos de la mitad del tiempo propuesto, reduciendo costos, y abarcando también nuevas zonas además de las planteadas, para futuros estudios.

BIBLIOGRAFÍA

ANH, cartografía geológica en los cinturones plegados Sinú-San Jacinto. En Unión Temporal B&G, Bogotá 2006. p. 69

ARIOSIA I., José D & DÍAZ MARTÍNEZ, Roberto. Modelos de yacimientos minerales: tipologías y aplicaciones. En Revista Minería y Geología, Vol. XVII I, No. 2, 2001. p.

BRAND, N.W., et al. Nickel laterites: Classification and feature. En: AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 1998. Vol. 17 no.4. P. 81-88

CEDIEL, F.; SHAW, R. P.; CACERES, C. Tectonic assembly of the Northern Andean Block, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79. , 2003, p. 815– 848.

GLEESON, S.A, et al. The Mineralogy and Geochemistry of the Cerro Matoso S.A. Ni Laterite Deposit, Montelíbano, Colombia. *By Economic Geology*. Vol. 99, 2004. p. 1197–1213

GUZMÁN, G., GÓMEZ, E. y SERRANO, B. Geología de los cinturones Sinú, San Jacinto y borde occidental del valle Inferior del Magdalena, Caribe Colombiano. Escala 1:300.000. Memoria Técnica, Ingeominas. Bogotá. 2004. p. 134.

Ingeominas, Geología de los cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del valle inferior del magdalena caribe colombiano, escala: 1:300.000. Bogotá D.C. 2004. p. 134

Ingeominas, Geología del Departamento de Córdoba, escala 1:250.000. Bogotá D.C., 1997

NIVIA, Álvaro. The Bolivar mafic-ultramafic complex, SW Colombia: the base of an abducted oceanic plateau. En: Journal of South American Earth Sciences. Great Britain, 1996. Vol. 9. No. 1/2. pp. 59--68.

PARIANOS, J M; RIVERS, C J. Geology and Mineralogy of the Brolga Laterite Deposit, Central Queensland. Kalgoorlie, Noviembre 1996. P. 6

Programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD). Evaluación de lateritas níquelíferas en los departamentos de Córdoba y Antioquia. (Informe técnico) - Investigación detallada de los depósitos de lateritas níquelíferas en Planeta Rica (departamento de Córdoba). Nueva York, 1975. p. 294

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Perfil productivo municipio de Planeta Rica, Córdoba 2012-2015, Bogotá D.C.2015. p. 79

Programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD). Perfil productivo municipio de Planeta Rica. Bogotá D.C. p. 10, 28.

TAMARA GALLARDO, Alonso. Caracterización mineralógica del perfil laterítico de ni de loma ortega. República dominicana: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales, 2008. P. 10-14.

Unidad de planeación minero energética - UPME, Níquel en Colombia. Bogotá, 2009. P. 46

ANEXOS