

CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE MATERIALES DE
BAJA LEY DE NÍQUEL QUE PERMITAN SU RECUPERACIÓN EN EL
PROCESO PRODUCTIVO EN LA MINA DE CERRO MATOSO S.A.

MELISSA ANDREA VARGAS ALVAREZ



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2015

CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE MATERIALES DE
BAJA LEY DE NÍQUEL QUE PERMITAN SU RECUPERACIÓN EN EL
PROCESO PRODUCTIVO EN LA MINA DE CERRO MATOSO S.A.

MELISSA ANDREA VARGAS ALVAREZ

Trabajo De Grado Como Requisito Para Optar El Titulo De
GEÓLOGO

Modalidad: Práctica Empresarial

Director (UIS)
ANA MILENA CARDOZO ORTIZ
Geóloga

Tutor (Externo: Cerro Matoso S.A)
RODRIGO ENRIQUE GUZMÁN ARTEAGA
Ingeniero Geólogo



Cerro Matoso

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2015

DEDICATORIA

“Quiero dedicar este trabajo a los seres que son mi razón de persistir, mi madre por su gran dedicación y esfuerzo, y a mi padre que desde el cielo me dio motivos para emprender mi camino y volar muy alto”.

Melissa Vargas.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por permitirme ir construyendo mi futuro y enseñarme que se debe ser paciente para lograr las metas que se tienen en la vida.
- A mi madre, Sandra Alvarez por el esfuerzo y dedicación inalcanzable, por haberme enseñado que la disciplina y constancia hacen una gran mujer.
- A mi padre, Armando Vargas que sé que desde el cielo está feliz por verme alcanzar esta primera etapa en mi vida profesional
- A mis hermanos y a mis abuelos porque simplemente sin ellos mi vida no tendría la mayor motivación.
- A mis amigos y futuros colegas, Juan Pablo Arango, Paola Luna y Juan Manuel Arévalo porque con ellos viví las mejores experiencias que quedaran en el recuerdo de la etapa universitaria.
- A la Universidad Industrial de Santander por permitirme formarme como profesional.
- A mis directores de grado, Ana Cardozo y Rodrigo Guzmán por haberme brindado siempre su conocimiento y apoyo para culminar mis estudios de pregrado.
- A Cerro Matoso S.A por ser una compañía que me brindo desarrollar mis conocimientos.

LISTA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1. OBJETIVOS.....	17
1.1 GENERAL.....	17
1.2 ESPECIFICOS	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. MARCO TEORICO	20
3.1 DEPOSITOS LATERITICOS DE NI-CO	20
3.2 TEORIA DEL MUESTREO.....	22
3.2.1 Definiciones.....	22
3.2.2 Problema principal del muestreo	23
3.2.3 Tipos de Muestreo.....	24
3.2.4 Exactitud y precisión	25
3.2.5 Consideraciones prácticas para el muestreo de minerales.....	26
3.2.6 Los 3 estados del mineral.....	27
3.2.7 La segregación.....	27
3.2.8 La extracción de la Muestra	29
3.2.9 La delimitación de la Muestra	30
3.2.10 Diseño de Palas	31
3.2.11 Reducción de la Muestra.....	31
4. GEOLOGIA	32
4.1 GEOLOGIA Y RECURSOS MINERALES	32
4.2 GEOLOGIA REGIONAL.....	33
4.3 AMBIENTE GEOLOGICO DE CERRO MATOSO	35
4.4 EVOLUCION GEOLOGIA DE CERRO MATOSO	36
4.5 PETROGRAFIA ROCA MADRE DE CERRO MATOSO.....	37
4.6 GENESIS DEL YACIMIENTO DE CERRO MATOSO	37
4.7 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	39
4.7.1 Dominio estructural de los Pit 1 y Pit 2	40
4.8 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO DE CERRO MATOSO	40
4.8.1 Perfil de meteorización del Pit 1	42
4.8.2 Perfil de meteorización del Pit 2	43
4.9 MINERALOGIA	44

4.10 MOVILIDAD QUÍMICA DE LOS TIPOS DE ROCA DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN.....	46
5. UPGRADING	47
5.1 UPGRADING CMSA	47
5.1.1 Antecedentes	47
5.1.2 Objetivo.....	48
5.1.3 Cambios en el proceso.....	50
5.1.4 Aplicación Upgrading actualmente	52
5.2 UPGRADING FASE II	52
5.2.1 Objetivo.....	52
5.2.2 Proceso propuesto	53
5.2.3 Ensayos pilotos	54
5.2.4 Equipos Utilizados en Ensayos	54
5.2.5 Diferencias entre UPGRADING I – II.....	55
6. MARCO METODOLOGICO	56
7. DESARROLLO DEL PROYECTO	58
7.1 DETERMINACION DE AREAS DE INTERES	58
7.2 AREAS EVALUADAS COMO ESTERIL.....	60
8. CARACTERIZACION LITOLOGICA – CAMPO	61
9. ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS.....	82
10. DISEÑO CONCEPTUAL DE EXPERIMENTO.....	85
10.1 INSUMOS	85
10.2 PRUEBAS PILOTO	89
10.2.1 ETAPA PRELIMINAR.....	89
10.2.1.1 Disposición de área de trabajo.....	89
10.2.1.2 Montaje	89
10.2.1.3 Elaboración de procedimientos y formatos de control.....	90
10.2.2 ETAPA EJECUCION	97
10.2.2.1 Muestreo del Stock H.....	97
10.2.2.2 Trituración y clasificación del material rocoso dispuesto en el Stock H	99
10.2.3 ETAPA MUESTREO	100
9. DISCUSION Y CONCLUSIONES	101
10. RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFIA.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pit 1 - Mina Cerro Matoso año 1995	18
Figura 2. Pit 1 – Mina Cerro Matoso año 2015.....	18
Figura 3. Gráfico que muestra el decaimiento progresivo en el contenido de níquel en el plan de vida de la Mina Cerro Matoso.....	19
Figura 4. Depositos lateriticos en zona tropical. Tomado de Dalvi et al., 2004.....	20
Figura 5. Solubilidad, a pH 7, de los minerales más comunes en un perfil laterítico (Golightly, 1981).	21
Figura 6. Perfil generalizado de un depósito laterítico. Tomado Cabellero, 2012.....	21
Figura 7. Muestreo estadístico Vs Muestreo de minerales. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.....	22
Figura 8. Problema principal del muestreo. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.....	23
Figura 9. Muestreo de minerales quebrados. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.....	23
Figura 10. El operador toma incrementos de la parte más accesible del lote. La suma de los incrementos constituye un espécimen. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.....	24
Figura 11. Muestreo en cinta transportadora. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.	24
Figura 12. Muestreo estratificado. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.	25
Figura 13. a) Exactitud sin precisión. b) Precisión sin exactitud. c) Exactitud y precisión. d) Ninguno. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.....	25
Figura 14. Representación estadística de conceptos precisión y exactitud.....	26
Figura 15. a) Sesgado, varianza grande. b) insesgado, varianza pequeña. c) insesgado, varianza grande. d) sesgado, varianza pequeña. Tomado de Alfaro 2002.	26
Figura 16. Los tres estados del mineral. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.	27
Figura 17. Diferentes tipos de segregación. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.....	28
Figura 18. Incrementos para constituir una sola muestra, disminuyendo el efecto de Segregación. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.	28
Figura 19. Segregación en cintas o bandas transportadoras. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.....	29
Figura 20. Palas de muestreo. Diseño incorrecto (izquierda), diseño correcto (derecha). Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.....	29
Figura 21. La muestra debe representar al “banco”.	30
Figura 22. El captador debe ser radial. Por ejemplo en una torta, un corte radial garantiza una repartición equitativa de las “guindas”.	30
Figura 23. Vista de arriba. En una cinta transportadora la muestra correcta corresponde a un rectángulo o un paralelogramo. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.	31
Figura 24. Pala adecuada para la toma de muestras.....	31
Figura 25. Localización del depósito de Cerro Matoso. Tomado de BHP Billitton 2013	32
Figura 26. Geología regional de CMSA. Tomado de BHP Billitton 2013	34
Figura 27. Mapa geológico de Cerro Matoso. Tomado BHP Billitton 2013.....	40

Figura 28. Clasificación por dominios del yacimiento de Cerro Matoso. BHP Billiton 2011.	41
Figura 29. Perfil de meteorización típico de los Pit existentes en la mina de Cerro Matoso.....	42
Figura 30. Esquema generalizado de Up Grading.Tomado de Guzmán,R et al., 2013	48
Figura 31. Sentido de la meteorización de una roca. Tomado de Guzmán,R et al., 2013	48
Figura 32. Alteración de peridotita de afuera hacia adentro, conservando un núcleo..	49
Figura 33. Litología en pilas por FY. Aproximadamente en promedio se está enviando al proceso un 12% de estéril (RT 60).....	49
Figura 34. Perfil de meteorización CMSA. Tomado de Guzmán,R et al., 2013	50
Figura 35. Proceso antes del 2001 en CMSA.	51
Figura 36. Proceso después del 2001 en CMSA.....	51
Figura 37. % Níquel por año financiero (FY).....	53
Figura 38. Proceso propuesto Upgrading II.....	53
Figura 39. Diferentes materiales utilizados para los ensayos piloto	54
Figura 40. Equipos utilizados para ensayos UP III.....	54
Figura 41. Comparación de procesos UP I - III	55
Figura 42. Comparación de resultados UP I – II	55
Figura 43. Plan de minería o Forecast del FY15 para Cerro Matoso S.A.....	58
Figura 44. Fases de minería correspondientes a los meses de Enero, febrero y marzo de 2015 en Cerro Matoso S.A.....	59
Figura 45. Fases de minería correspondientes a los meses de Abril, Mayo y Junio de 2015 en Cerro Matoso S.A.	59
Figura 46.Panorámica del banco 91.23 de la mina Cerro Matoso S.A. Dimensiones del área de trabajo: aprox. 250m * 7m.....	61
Figura 47. Banco 91.23, Punto de recolección P1	62
Figura 48. Banco 91.23, Punto de recolección P2	63
Figura 49. Banco 91.23, Punto de recolección P3	64
Figura 50. Banco 91.23, Punto de recolección P4	65
Figura 51a. Banco 91.23, Punto de recolección P5	66
Figura 52. Banco 91.23, Punto de recolección P6	67
Figura 53. Banco 91.23, Punto de recolección P7	68
Figura 54. Banco 91.23, Punto de recolección P8	69
Figura 55. Banco 91.23, Punto de recolección P9	70
Figura 56. Banco 91.23, Punto de recolección P10	71
Figura 57. Panorámica del banco 70.23 de la mina Cerro Matoso S.A. Dimensiones del área de trabajo: aprox. 250m * 7m	72
Figura 58. Evaluación en Datamine del primer segmento del banco 70.....	72
Figura 59. Banco 70.23, Punto de recolección P1	73
Figura 60. Banco 70.23, Punto de recolección P1	74
Figura 61. Banco 70.23, Punto de recolección P3	75
Figura 62. Banco 70.23, Punto de recolección P4	76
Figura 63. Banco 70.23, Punto de recolección P5	77
Figura 64. Banco 70.23, Punto de recolección P6	78
Figura 65. Banco 70.23, Punto de recolección P7	79

Figura 66. Banco 70.23, Punto de recolección P1	80
Figura 67. Banco 70.23, Punto de recolección P1	81
Figura 68. Datos químicos del banco 70.23. Se observa una zona inestable química. Efecto garnierita	84
Figura 69. Datos químicos del banco 91.23. Se observa una zona inestable química. Efecto garnierita	84
Figura 70. Sitio de acopio del material utilizado para realizar las pruebas piloto del proyecto. Área llamada Stock H en la mina, ubicado en el banco 91.2	85
Figura 71. Trituradora lokotrack LT95S.....	86
Figura 72. Herramienta de medición. Apertura de mandíbula.....	86
Figura 73. Adición de canal en la trituradora.....	86
Figura 74. Malla instalada en la trituradora, con una apertura de 50mm.....	87
Figura 75. Retroexcavadora Hyundai 220LC-9S.....	87
Figura 76. Diseño de experimento de inicio a fin.....	88
Figura 77. Primera fase del diseño de experimento.	88
Figura 78. Acomodación del área de trabajo.....	89
Figura 79. a) Estructura dentada con la que fue entregada la trituradora al proyecto. b) Malla instalada para el desarrollo del proyecto de 50 mm en la tolva de la Lokotrack.	89
Figura 80. a) Trituradora dispuesta con dos salidas o bandas. b) Trituradora dispuesta con 3 salidas de material (2 bandas y 1 canal).	90
Figura 81.. Malla de muestreo sobre el Stock H (6x4).	97
Figura 82. Trituradora Lokotrack dispuesta en el área de trabajo	99
Figura 83. Salida de materiales de la trituradora. Producto 1 y 3 se visualizan.....	99
Figura 84. Salida de materiales de la trituradora. Producto 2.....	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composicion mineralógica de los diferentes tipo de roca (RT).....	45
Tabla 2. Densidades por tipo de roca.	46
Tabla 3. Movilidad química de los diferentes tipos de roca en el yacimiento de Cerro Matoso.....	46
Tabla 4. Clasificación de materiales en campo. Geología mina Cerro Matoso S.A	60
Tabla 5. Análisis químico de las muestras del banco 70.23	82
Tabla 6. Análisis químico de las muestras del banco 91.23	83
Tabla 7. Datos de análisis químico de las muestras tomadas en campo al Stock H. ...	98

RESUMEN

TITULO:

CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE MATERIALES DE BAJA LEY DE NÍQUEL QUE PERMITAN SU RECUPERACIÓN EN EL PROCESO PRODUCTIVO EN LA MINA DE CERRO MATOSO S.A.*

AUTOR:

MELISSA ANDREA VARGAS ALVAREZ**

PALABRAS CLAVES: Cerro Matoso, Minería, Open pit, Depósitos lateríticos de níquel, Ley de corte, Caracterización litológica y geoquímica, Prácticas.

DESCRIPCIÓN:

Cerro Matoso S.A. es una empresa del grupo South32, con un complejo minero-industrial que transforma mineral de níquel, a partir de un proceso intensivo en energía, para producir ferroníquel (FeNi). La planta está ubicada en Montelíbano, Córdoba, y cada semestre ofrece oportunidades laborales a estudiantes universitarios de ciencias de la tierra para desarrollar un programa de prácticas que complemente su formación académica e inicien su vida profesional.

Como parte del programa de prácticas de geología de la mina se desarrolló un proyecto de caracterización litológica y geoquímica de unas áreas específicas de la mina con el fin de poder recuperar níquel al proceso productivo actual de la empresa, es por esta razón que se hizo necesario desarrollar unas pruebas piloto de clasificación de material para verificar si es posible o no dar un mayor aprovechamiento al mineral presente en la mina.

Todo este desarrollo del proyecto es enfocado a dar una mayor confiabilidad a los planes mineros que realiza la empresa cada año financiero y disminuir así los coeficientes de dilución y pérdida por minería.

*Proyecto de grado. Modalidad: Práctica empresarial

**Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Geología. Director: Ana Milena Cardozo Ortiz. Tutor: Rodrigo Enrique Guzmán Arteaga

ABSTRACT

TITTLE:

LITHOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF LOW ORE GRADE NICKEL MATERIALS THAT ALLOWS ITS RECOVERY DURING THE PRODUCTIVE PROCESS AT CERRO MATOSO S.A.*

AUTHOR:

MELISSA ANDREA VARGAS ALVAREZ**

KEYWORDS: Cerro Matoso, Mining, Open Pit, Nickel Laterite Deposits, Cutoff, Lithological And Geochemical Characterization, Internship.

DESCRIPTION:

Cerro Matoso SA is a company of South32 group with a mining-industrial complex that converts nickel ore into ferronickel (FeNi) through an energy intensive process.

The operation plant is located in Montelíbano, Cordoba, and each semester provides job opportunities to university students in earth sciences to develop an internship program to supplement their academic training and begin their professional lives.

As part of the geology internship program, the company developed a lithologic and geochemical research in one specific area inside the mine, trying to recover nickel for the productive process of the company. Due to this, it was necessary develop pilot studies to classify the material and verify the feasibility of its exploitation.

The development of this research was aimed to provide greater reliability to the mining plans made by the company each financial year and likewise reduce dilution and lost rates produced by mining.

*Graduate Project. Modality: Internship

**Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director: Ana Milena Cardozo Ortiz. Tutor: Rodrigo Enrique Guzmán Arteaga

INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Cerro Matoso fue descubierto en 1956, por geólogos de la compañía Richmond Petroleum, ubicado a 22 km al Suroeste del municipio de Montelíbano, Córdoba. En 1979 se estableció Cerro Matoso S.A (CMSA) como sociedad bajo la ley Colombiana dedicada a la explotación de níquel y producción de ferroníquel. Inició sus operaciones en junio de 1982. CMSA perteneció a BHP Billiton, y actualmente paso a ser propiedad de South 32.

Cerro Matoso S.A es reconocido por la calidad del mineral del yacimiento y por el proceso piro-metalúrgico que hace posible proveer a los clientes de ferroníquel de la más alta calidad. (Cerro Matoso S.A., 2013) El proceso de producción de ferroníquel se realiza en las siguientes fases:

- ✓ **Exploración:** Búsqueda de zonas de interés económico dentro y fuera del área en la que se ubica actualmente CMSA.(Durante el año financiero (FY) 15 el área de exploración se encuentra restringida a realizar sus estudios dentro del área de la mina)
- ✓ **Explotación minera y homogenización del mineral:** El material es extraído, llevado al patio de trituración y posteriormente se acumula en una “súper pila” que cumple ciertas especificaciones químicas para ser entregado a la planta.
- ✓ **Secado:** En esta fase, el mineral que ha sido homogenizado y apilado, se seca parcialmente (10%), se clasifica retirando el mineral con grado de níquel menor a 1% y se almacena en silos.
- ✓ **Upgrading:** Proceso físico que incrementa el grado de níquel del material enviado al proceso, mediante el retiro de la fracción gruesa pobre en níquel.
- ✓ **Calcinación:** El mineral que ha sido clasificado y está parcialmente seco, se calcina a una temperatura de 800°.
- ✓ **Fundición:** Se continúa con el procesamiento de la calcina “pre-reducida” para completar las reacciones químicas de “reducción”. La calcina se funde para entregar un metal líquido (con impurezas).
- ✓ **Refinación – Granulación:** El metal líquido es procesado hasta eliminar las impurezas, de acuerdo con las especificaciones comerciales, para entregar un ferroníquel granulado, pesado y almacenado en tolvas.
- ✓ **Manejo de producto terminado:** El ferroníquel se identifica, sella, y almacena para entregar lotes de ferroníquel al proceso de ventas y comercialización

La mina constituye la primera etapa del producción de ferroníquel, en ella se evalúan, se seleccionan, se extraen, se clasifican y se disponen de todos los materiales que se encuentran en el yacimiento. La operación de la mina tiene

como objetivo principal la construcción de Súper-pilas que alimentan la planta; Estas “súper-pilas deben cumplir con una especificación química preestablecida por año financiero (FY) para que el proceso piro-metalúrgico sea óptimo.

Para poder cumplir con la especificación química, los geólogos de pit deben controlar estrictamente la composición de los materiales extraídos del yacimiento y decidir su destino según corresponda: Patio, Stock o botadero.

La dinámica del día a día en la mina permite el desarrollo de prácticas empresariales a estudiantes universitarios en diferentes áreas del conocimiento, lo cual se realiza para que el aprendiz adquiera conocimientos y aporte un plus a la compañía con el fin de desarrollar proyectos que anexen un valor agregado en el proceso productivo de Cerro Matoso S.A

1. OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Caracterizar materiales de baja ley de níquel a partir de estudios litológicos y geoquímicos que permitan minimizar las pérdidas por minería en el yacimiento de Cerro Matoso S.A

1.2 ESPECIFICOS

- Realizar actividades de control geológico a stocks y áreas a minar en el plan de producción del FY15
- Caracterizar litología y geoquímica presente en los diferentes stocks y áreas a minar incluidas en el plan de producción del FY15.
- Identificar materiales que cumplan con las características litológicas y químicas que permitan la recuperación de níquel.
- Diseñar proceso físico que permita la recuperación óptima del níquel en los materiales de baja ley.
- Cuantificar la recuperación de níquel en el material de baja ley.
- Contribuir al desarrollo y estabilidad del proceso productivo de CMSA.

2. JUSTIFICACIÓN

Cerro Matoso S.A es una compañía minera localizada en el municipio de Montelíbano en el departamento de Córdoba. Su operación consiste en la extracción y explotación de níquel y su posterior transformación industrial en ferroníquel, siendo uno de los principales productores del metal a escala mundial.

Las condiciones actuales del mercado de ferroníquel (precio, costos de producción, etc.) sumado a los cambios que ha sufrido el yacimiento en la forma de mineralización, cantidad y grado de níquel, han llevado a la compañía a buscar alternativas que apunten a un mejor aprovechamiento de los recursos y permitan su sostenibilidad.



Figura 1. Pit 1 - Mina Cerro Matoso año 1995. Toada de reporte CMSA 2002.



Figura 2. Pit 1 – Mina Cerro Matoso año 2015

- **Mineralización:** Después de 33 años de extracción minera el yacimiento ha sufrido grandes cambios desde el punto de vista geológico. Se ha pasado de una mineralización continua y con alto grado de níquel a mineralización controlada por estructuras con bajo grado de níquel, creando condiciones favorables para incrementar la dilución y pérdida por minería.

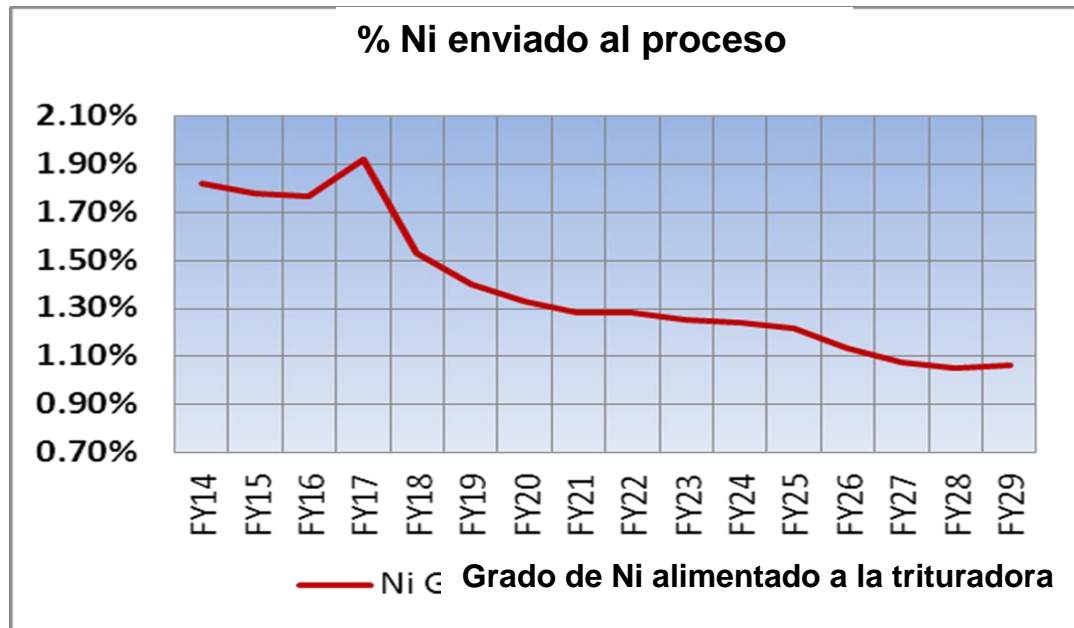


Figura 3. Gráfico que muestra el decaimiento progresivo en el contenido de níquel en el plan de vida de la Mina Cerro Matoso.

- **Grado de Níquel:** De acuerdo a estudios financieros, se espera que para los próximos años (FY) el grado de níquel en la mina de Cerro Matoso S.A. decaiga fuertemente, debido a los diferentes factores nombrados anteriormente, en donde uno de los más influyente es el cambio en la mineralización del yacimiento.

Dentro de las alternativas que buscan mitigar la caída en el grado de níquel y que impactan la producción, surge el proyecto de “Caracterización litológica y geoquímica de materiales de baja ley de níquel que permitan su recuperación en el proceso productivo en la mina de Cerro Matoso S.A.”.

3. MARCO TEORICO

3.1 DEPOSITOS LATERITICOS DE NI-CO

Los depósitos lateríticos de Ni y Co, desarrollados a partir de la meteorización química de rocas ultramáficas y máficas, representan el 70% de las reservas mundiales de níquel, y producen actualmente alrededor del 40% del Ni, que consume la industria (Gleeson et al., 2003; Dalvi et al., 2004). Además, los estudios de mercado del Ni coinciden en que la expansión en la capacidad de producción de este metal se deberá a la explotación de esta tipología de depósito (Dalvi et al., 2004; Ranieri, 2004).

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.

El Caribe contiene alrededor del 10% de los recursos mundiales de níquel laterítico (Dalvi et al., 2004)

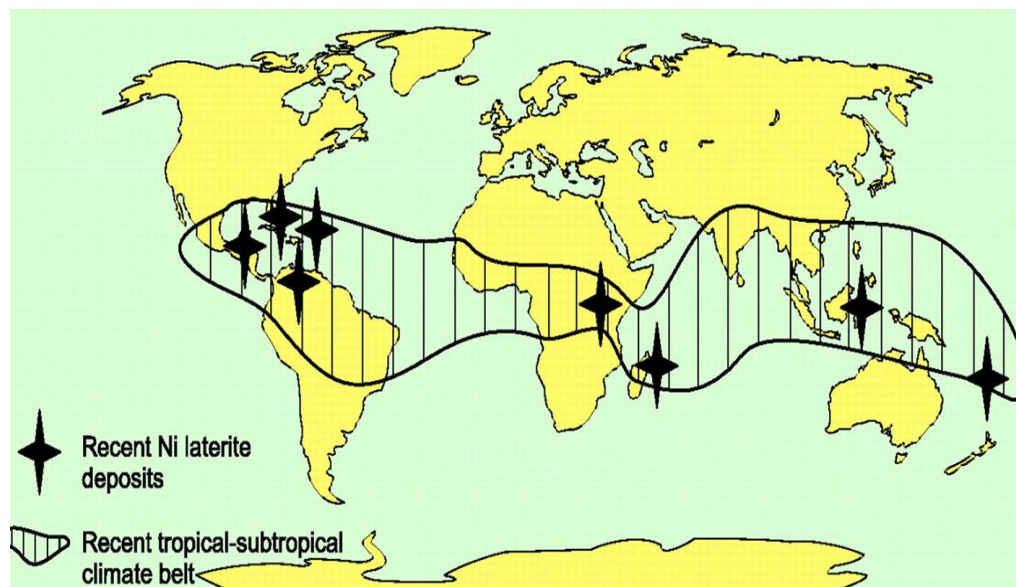


Figura 4. Depósitos lateríticos en zona tropical. Tomado de Dalvi et al., 2004

Las lateritas níquelíferas son materiales regolíticos. Se forman en zonas de relieve horizontal sobre rocas ígneas básicas o ultrabásicas, ricas 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 (Fig. 2.1). 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 (Golightly, 1981).

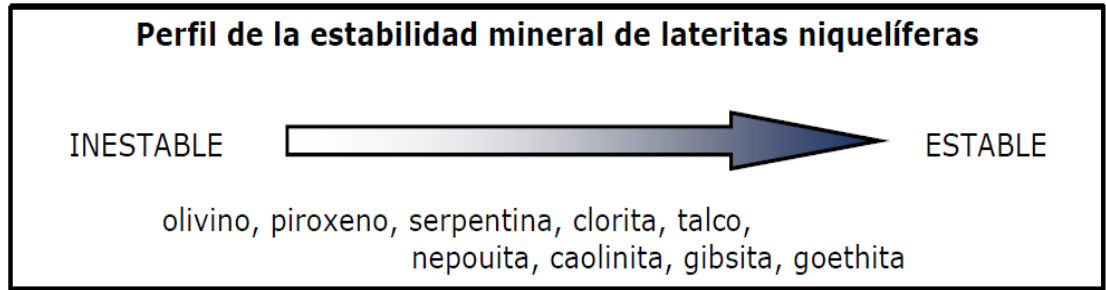


Figura 5. Solubilidad, a pH 7, de los minerales más comunes en un perfil laterítico (Golightly, 1981).

En general, los perfiles de meteorización lateríticos se caracterizan por tener una zona más superficial (laterita s.s.) muy rica en óxidos e hidróxidos de hierro y pobre en sílice. Esta laterita suele contener una zona especialmente rica en hierro (ferricreta o *iron-cap*) en la parte más superior, seguida de una zona de limonita que en algunos casos puede contener arcillas. De la laterita s.s. 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.

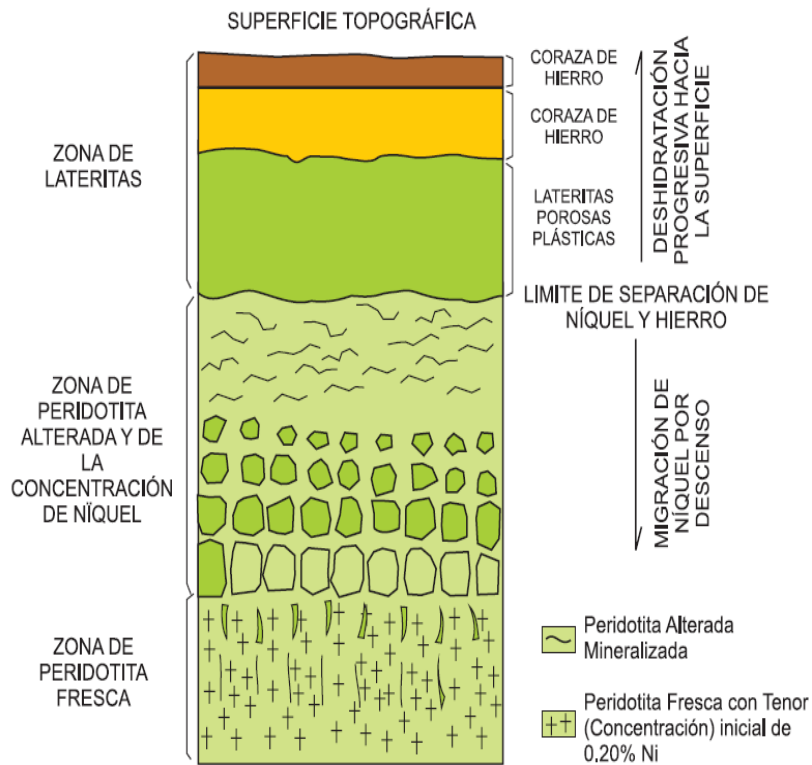


Figura 6. Perfil laterítico. Tomado Cabellero, 2012. Perfil generalizado de un depósito

3.2 TEORIA DEL MUESTREO

La teoría de muestreo se refiere al estudio de las relaciones que existen entre un colectivo o población y las muestras que se extraen de las mismas.

El estudio de las muestras permite hacer estimaciones de características desconocidas de la población (tales como media, desviación típica, proporciones, etc). Estas estimaciones se hacen a partir del conocimiento de las características de las muestras (media, desviación típica, proporción, etc).

Las características o medidas obtenidas de una muestra se llaman estadísticos; y las medidas correspondientes a la población parámetros. Cuando una medida muestral o estadístico es utilizada como representante de una característica poblacional o parámetro se denomina estimador.

3.2.1 Definiciones

Muestra es una parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como **representativa** del mismo.

Muestreo es la acción de recoger muestras representativas de la calidad o condiciones medias de un todo o la técnica empleada en esta selección o la selección de una pequeña parte estadísticamente determinada para **inferir** el valor de una o varias características del conjunto.

Población o lote: es el conjunto completo de observaciones que deseamos estudiar.

El muestreo **estadístico** es diferente del **muestreo de minerales**:

- En el muestreo estadístico, el lote o población está compuesto por objetos de igual peso.
- En el muestreo de minerales, el lote está compuesto de objetos de diferentes pesos.

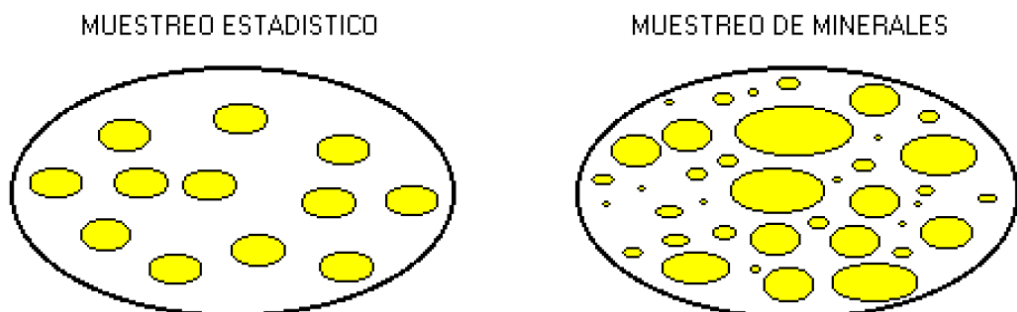


Figura 7. Muestreo estadístico Vs Muestreo de minerales. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

3.2.2 Problema principal del muestreo

La figura resume el problema principal del muestreo: estimar la media de una población (con N elementos) o lote (de tamaño M_L) a partir de una muestra (de tamaño n o M_S).

En general, el muestreo exhaustivo, es decir tomar los N datos o la masa total M_L (llamado a veces censo) es muy difícil y de alto costo.

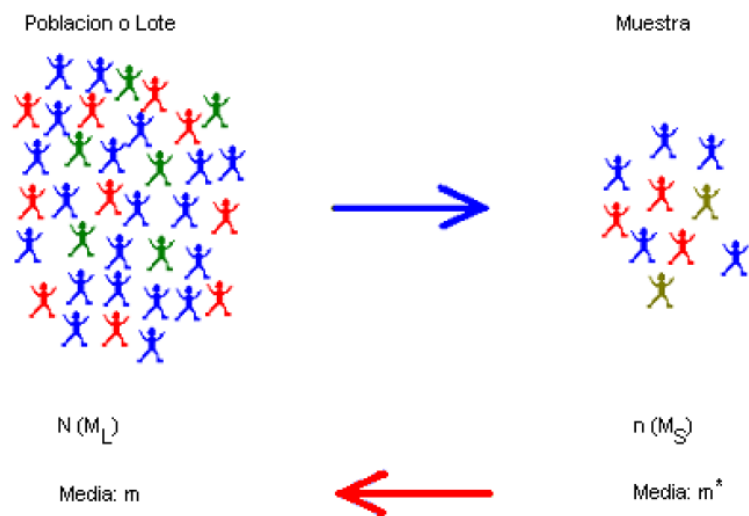


Figura 8. Problema principal del muestreo. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

Para cumplir bien con la definición inicial de muestreo, se debe cumplir el hecho siguiente, de vital importancia: “El muestreo debe ser equiprobable”.

En el caso de los minerales, el muestreo es equiprobable cuando todos los fragmentos que constituyen el lote tienen la misma probabilidad de ser elegidos para la constitución de la muestra.

Según Pierre Gy, creador de la teoría moderna del muestreo de minerales, cuando la condición de equiprobabilidad no se cumple, se tiene más bien un “especimen” (un ejemplar) en vez de una muestra.

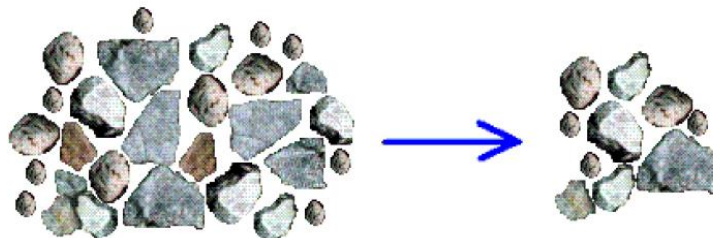


Figura 9. Muestreo de minerales quebrados. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

La figura muestra un ejemplo de espécimen, las extracciones se basan en la hipótesis no realista y peligrosa de homogeneidad.

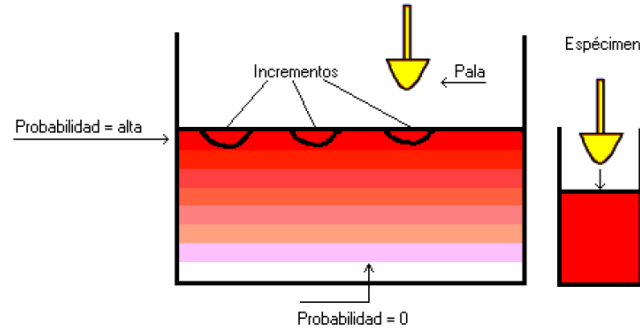


Figura 10. El operador toma incrementos de la parte más accesible del lote. La suma de los incrementos constituye un espécimen. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

3.2.3 Tipos de Muestreo

Los principales tipos de muestreo son los siguientes:

- **Muestreo aleatorio simple**

Consiste en la selección de n fragmentos o unidades del lote ML de modo que todas las muestras posibles de tamaño n tengan la misma probabilidad de ser elegidas.

- **Muestreo sistemático**

En este caso las extracciones de las muestras son determinadas según una regla fija.

Ejemplos:

- Tomar canaletas en una galería cada 2 metros.
- En una cinta transportadora, tomar una muestra cada 10 minutos.

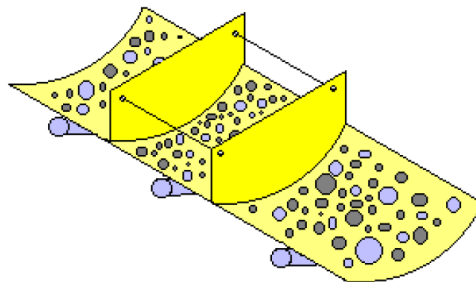


Figura 11. Muestreo en cinta transportadora. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

- **Muestreo estratificado**

El lote ML se divide en partes o estratos que no se solapan entre sí. Cada estrato es muestreado posteriormente según los procedimientos anteriores.

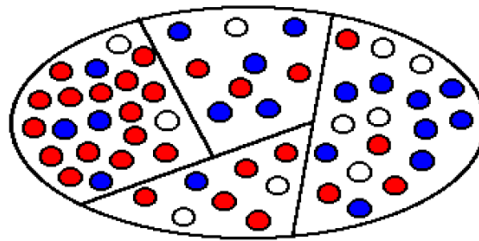


Figura 12. Muestreo estratificado. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

3.2.4 Exactitud y precisión

En teoría del muestreo de minerales se utilizan las nociones de exactitud y precisión.

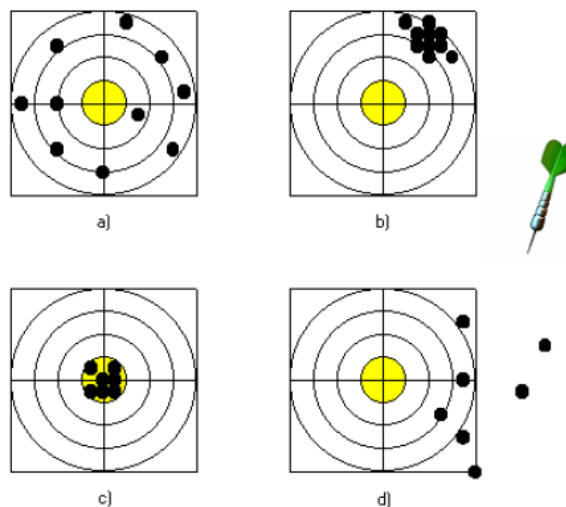


Figura 13. a) Exactitud sin precisión. b) Precisión sin exactitud. c) Exactitud y precisión. d) Ninguno. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002

- **Exactitud:** Grado de conformidad de un valor (medido o calculado) respecto a su valor “real”. (BHP Billiton, 2008)
- **Precisión:** Es la repetitividad o reproducibilidad de una serie de mediciones. También es una medida de la variabilidad. (BHP Billiton, 2008)
- **Bias – Sesgo:** Es la diferencia entre el valor medio de una serie de datos y un valor de referencia (ej. Objetivo) el Bias representa el grado de exactitud que puede ser positivo o negativo. (BHP Billiton, 2008)

En términos estadísticos estos conceptos corresponden respectivamente a la media, la cual debe ser insesgada (exactitud) y a la varianza del error, la cual debe ser pequeña (precisión).

Exactitud ————— **Media**
Precisión ————— **Varianza**

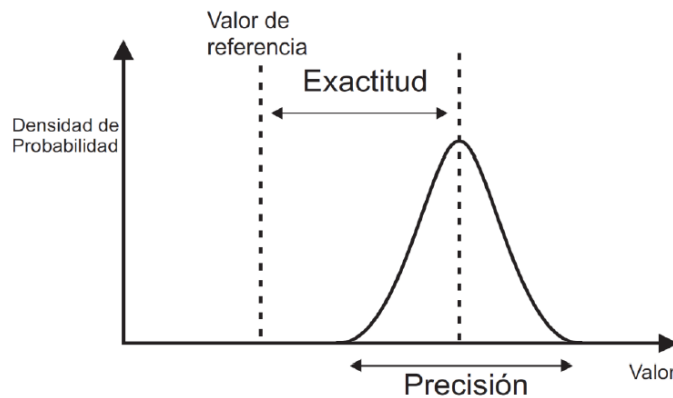


Figura 14. Representación estadística de conceptos precisión y exactitud.

3.2.5 Consideraciones prácticas para el muestreo de minerales.

Resulta difícil proporcionar recomendaciones prácticas generales acerca del muestreo de minerales, debido a que esta operación se realiza en todas las etapas de un Proyecto Minero y a que no existen dos minas iguales entre sí.

El punto fundamental es siempre (para no tener sesgos) y resultados reproducibles:

“Muestras representativas, es decir equiprobables y de varianza pequeña”

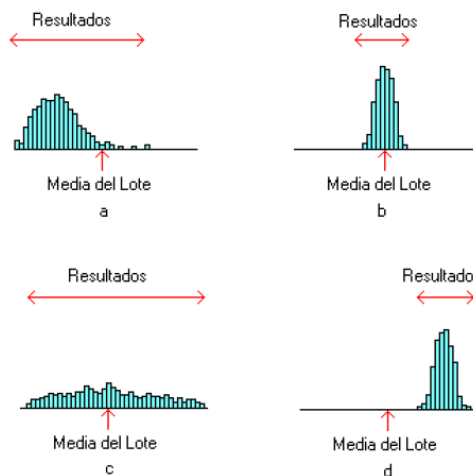


Figura 15. a) Sesgado, varianza grande. b) insesgado, varianza pequeña. c) insesgado, varianza grande. d) sesgado, varianza pequeña. Tomado de Alfaro 2002.

3.2.6 Los 3 estados del mineral

- a) **In situ:** corresponde en este caso aplicar la Teoría de la Geoestadística.
- b) **Quebrado:** corresponde en este caso aplicar la Teoría del Muestro de Pierre Gy, la cual estudiaremos más adelante.
- c) **Liberado:** en este caso, debido a un proceso de conminución (molienda) se ha separado la ganga (material estéril) del componente crítico o material con valor comercial o mena.

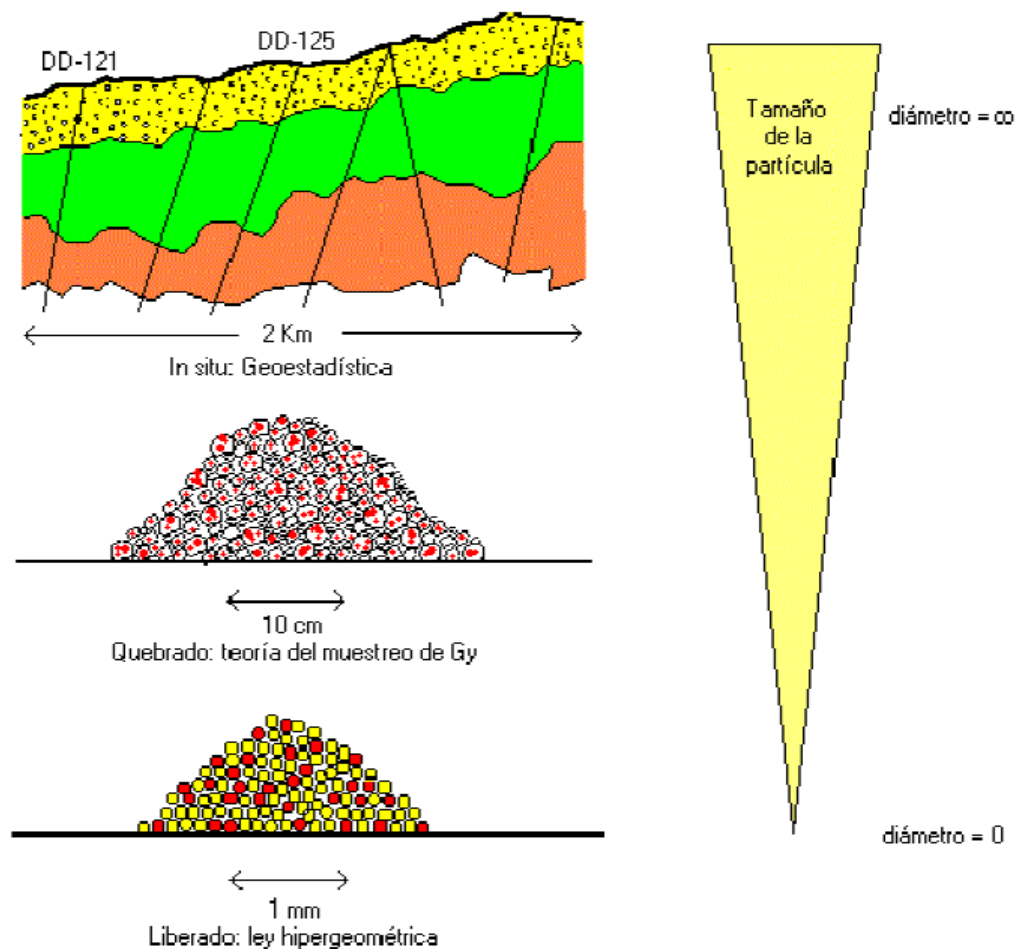


Figura 16. Los tres estados del mineral. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

3.2.7 La segregación

Las partículas de mineral tienden a segregarse, por ejemplo las más pesadas tienen una tendencia a localizarse en el fondo. El caso homogéneo es muy difícil de encontrar en la práctica (algunos autores afirman que este caso es

inexistente). Sin embargo, el fenómeno de segregación es más complejo y depende además de las granulometrías, formas y pesos de las partículas. Para ver lo anterior haga el experimento siguiente: ponga en un recipiente transparente una cierta cantidad de porotos y otra cantidad de azúcar: observar que es imposible tener un conjunto homogéneo.

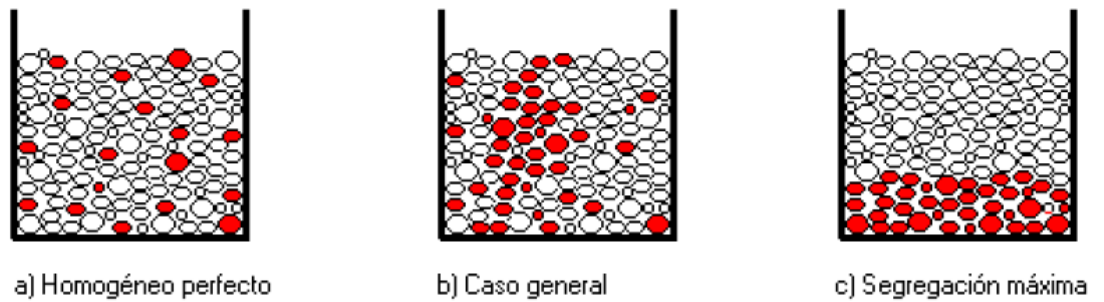


Figura 17. Diferentes tipos de segregación. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

Una forma para disminuir el efecto de la segregación en la toma de la muestra es realizar varios incrementos, es decir tomar un cierto número de submuestras para constituir una muestra primaria.

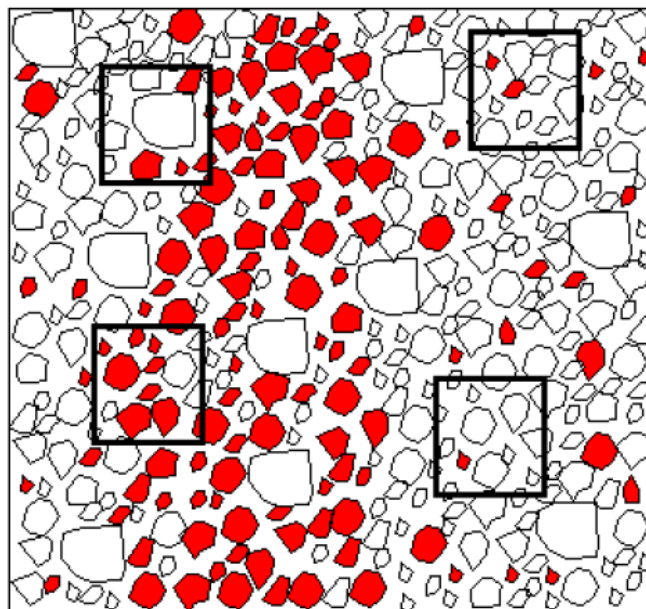


Figura 18. Incrementos para constituir una sola muestra, disminuyendo el efecto de Segregación. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

Donde se producen segregaciones importantes es en las cintas transportadoras de mineral, tal como muestra la figura.

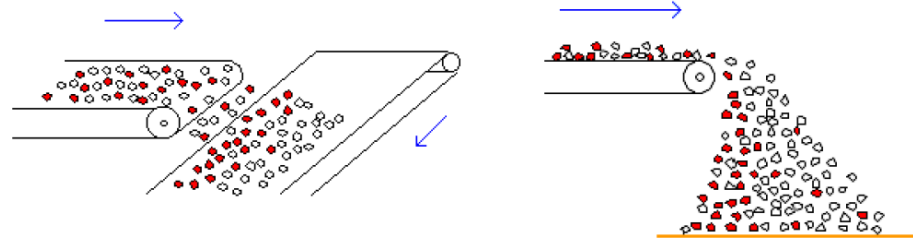


Figura 19. Segregación en cintas o bandas transportadoras. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

No se han realizado muchos estudios prácticos respecto del problema de la segregación de minerales pero se sabe que es un problema mayor.

3.2.8 La extracción de la Muestra

La extracción e integridad de la muestra es de vital importancia en el muestreo minero.

Ejemplo: Las palas deben tener una abertura suficiente de manera de contener los diferentes tipos de tamaño (granulometría) del material quebrado.

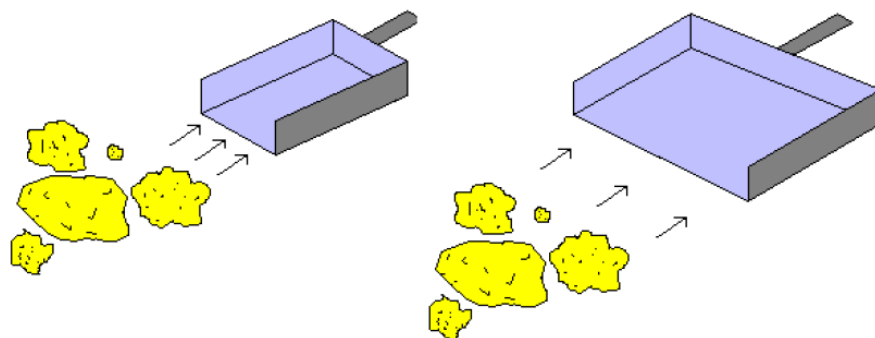


Figura 20. Palas de muestreo. Diseño incorrecto (izquierda), diseño correcto (derecha). Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

Una solución para el diseño es tomar el diámetro d de la abertura de manera tal que:

$$d > 3d_M$$

En que d_m es el diámetro de la partícula máxima.

En general la muestra debe respetar la granulometría del lote debido a que en la mayoría de los casos, la ley del material fino puede ser muy diferente de la ley del material grueso.

Respecto a la integridad de la muestra. Es evidente que si se usa una bolsa, ésta debe ser resistente, estar bien etiquetada (rotulada) y guardada en un lugar seguro. En ciertas ocasiones la muestra debe estar a prueba de fraudes o de contaminación.

3.2.9 La delimitación de la Muestra

La delimitación de una muestra está íntimamente relacionada con la representatividad de la misma. Es importante que la delimitación sea correcta.

Ejemplo 1: En una mina a cielo abierto, la muestra de un pozo de tronadura debe ser representativa del banco y no debería considerarse la pasadura. Lo anterior, dependiendo del método, ocasiona problemas operacionales, debido a que habría que detener la perforación del hoyo y/o cubrir el cono de detritus con una lona o plástico (figura).

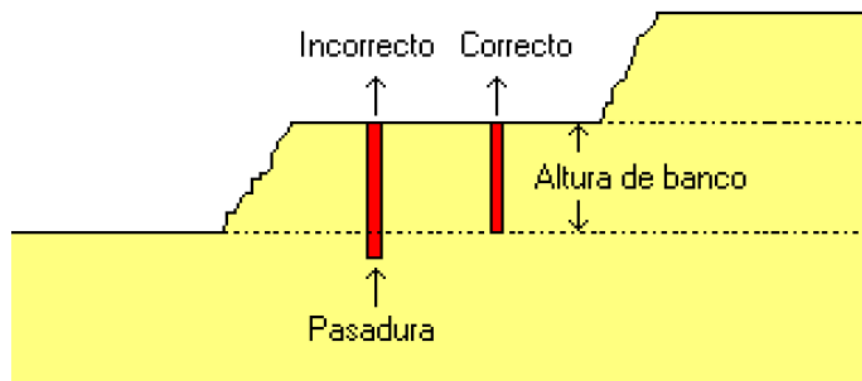


Figura 21. La muestra debe representar al “banco”.

Ejemplo 2: Si se utiliza un captador de polvo de perforación, éste debe ser radial (de esta manera se respeta la proporción de finos/gruesos en la muestra).

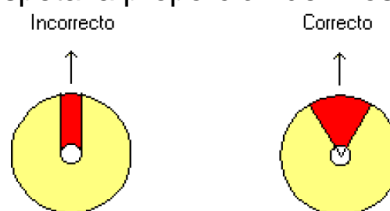


Figura 22. El captador debe ser radial. Por ejemplo en una torta, un corte radial garantiza una repartición equitativa de las “guindas”.

Ejemplo 3: En una cinta transportadora la geometría de la muestra debe ser un rectángulo o un paralelogramo (figura 23).

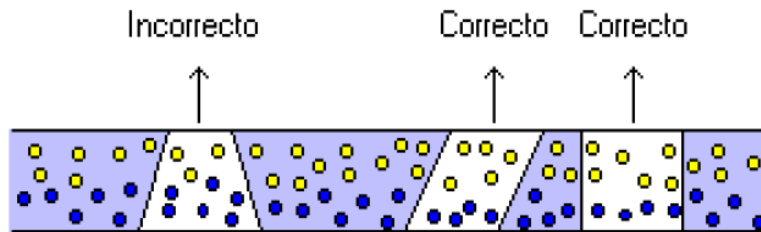


Figura 23. Vista de arriba. En una cinta transportadora la muestra correcta corresponde a un rectángulo o un paralelogramo. Tomado de Alfaro Sironvalle, 2002.

3.2.10 Diseño de Palas

Las espátulas, poruñas y palas tienen que tener un diseño recto, con bordes laterales, para no perder material, evitar el problema de la segregación y proporcionar muestras equiprobables (figura).

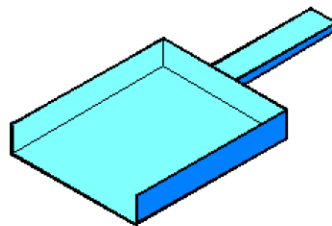


Figura 24. Pala adecuada para la toma de muestras.

3.2.11 Reducción de la Muestra

La reducción o división de una muestra es necesaria en la práctica.

Principalmente se utiliza:

- Cuarteo
- Riffle
- Divisor rotatorio
- Divisor de mesa

4. GEOLOGIA

4.1 GEOLOGIA Y RECURSOS MINERALES

El yacimiento de Cerro Matoso se encuentra asociado a un cuerpo aislado de rocas ultramáficas que forma parte del complejo Ofiolítico del Cauca. Este conjunto de rocas máficas y ultramáficas está ubicado dentro del denominado sistema de fallas Cauca - Romeral.

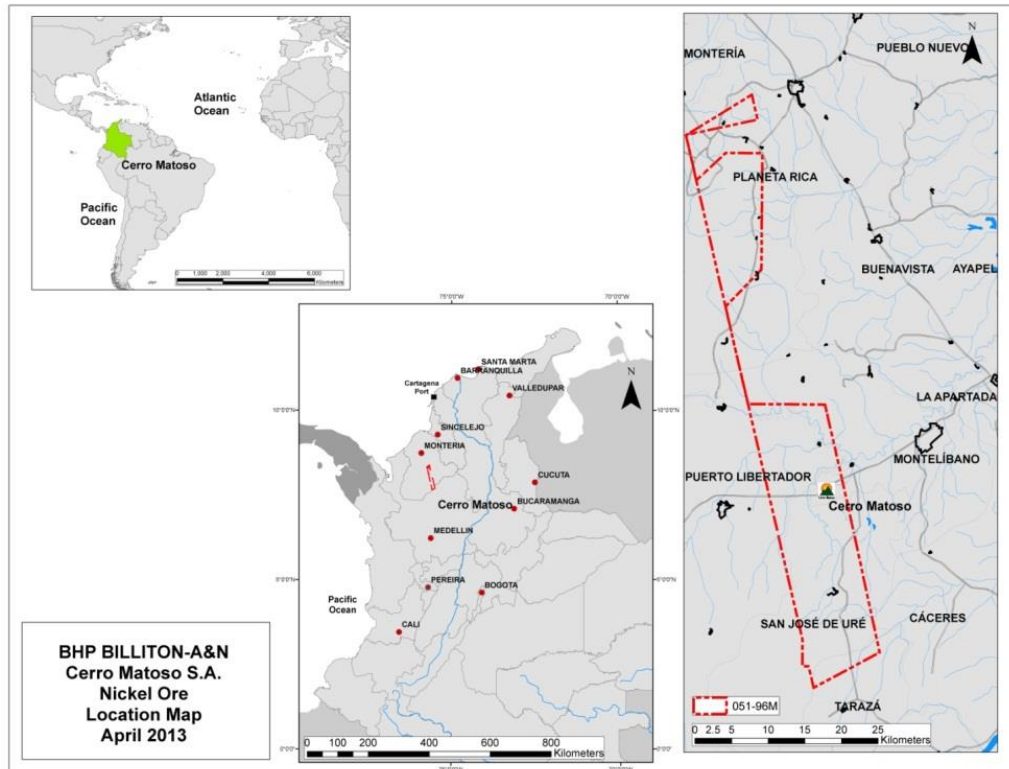


Figura 25. Localización del depósito de Cerro Matoso. Tomado de BHP Billiton 2013

El cuerpo mineral tal como se expone en forma de un cerro alargado de unos 2.5 km de largo por unos 1.7 km de ancho con una altura de 245 metros.

El protolito original y dominante es una harzburgita en parte serpentizada a partir del cual se desarrolló un perfil de laterítico de espesor variable y donde se encuentran zonas de Peridotita fresca, peridotita saprolitizada, saprolitos, laterita y Canga.

Geológicamente el depósito de Cerro Matoso se encuentra dividido en dos amplios sectores denominados pit 1 y pit 2, los cuales presentan características litológicas, químicas y físicas muy diferentes.

El pit 1 se encuentra localizado en la parte noreste del depósito, es el sector de la mina en la cual el proceso de meteorización actuó con mayor intensidad lo cual fue favorecido por el intenso fracturamiento y por ser el bloque que descendió durante el fallamiento. Geológicamente se caracteriza por poseer una columna de meteorización bastante amplia que comprende tres niveles principales: Nivel Limonítico, Nivel de Saprolito y Nivel Peridotítico. Además existen en este pit algunos materiales como el saprolito negro y taquilita los cuales no encajan dentro del perfil típico de un yacimiento laterítico.

El pit 2 se encuentra localizado en suroeste del depósito y corresponde a la zona menos alterada del yacimiento, geológicamente se caracteriza por poseer una columna de meteorización típica de un depósito laterítico, donde el nivel de saprolito (rico en Níquel) es mucho menor que el del pit 1 pero con un nivel peridotítico mucho mayor.

4.2 GEOLOGIA REGIONAL

El yacimiento de CMSA está situado en la parte noroccidental de Colombia y se generó como una serie de cuerpos de peridotita asociadas al complejo Ofiolítico del Cauca, de edad Cretácica (Mejía y Durango, 1981). En la zona de estudio, su estructura está formada por el cinturón de San Jacinto y los Anticlinales de San Jacinto, Luruaco Sur y San Jerónimo, donde se ubica CMSA (INGEOMINAS 2001). Está rodeada al este por la falla de Romeral y al oeste por el río Sinú. En la región, al sur de Córdoba y al norte de Antioquia, se encuentran tres cuerpos de peridotita con una orientación norte-sur, conocidos como el Cinturón de Níquel de Cerro Matoso. Este grupo de rocas ultramáficas están presentes en las siguientes áreas:

- Área que comprende el yacimiento y las extensiones por debajo de la cubierta sedimentaria.
- La zona Planeta Rica, ubicada 40 km al norte de las instalaciones de Cerro Matoso.
- La zona Uré, situada 15 km al sur de las instalaciones de Cerro Matoso.

La estratigrafía regional está compuesta en el Cretáceo Superior, de base a tope por rocas ultramáficas correspondientes a las "Ultramáficas de Cerro Matoso" (roca fuente de los depósitos), basaltos andesíticos y rocas básicas al tope. El Terciario está representado por sedimentos desde marinos a continentales de las formaciones Ciénaga de Oro, Carmen y Cerrito. El depósito de Cerro Matoso es un cuerpo cuyas dimensiones son aproximadamente 2,5 km de longitud por 1,7 km de ancho, está rodeado por rocas sedimentarias de la Formación Cerrito. La Figura 2.2 muestra la geología regional de CMSA.

La geología se compone principalmente de tres unidades litológicas identificadas en el área de mina de Cerro Matoso, así: Ultramáficas de Cerro Matoso (Ksu) del periodo Cretácico, la Formación Cerrito (Ngmpc) del periodo Terciario y los depósitos aluviales Cuaternarios (Qal1 y Qal2).

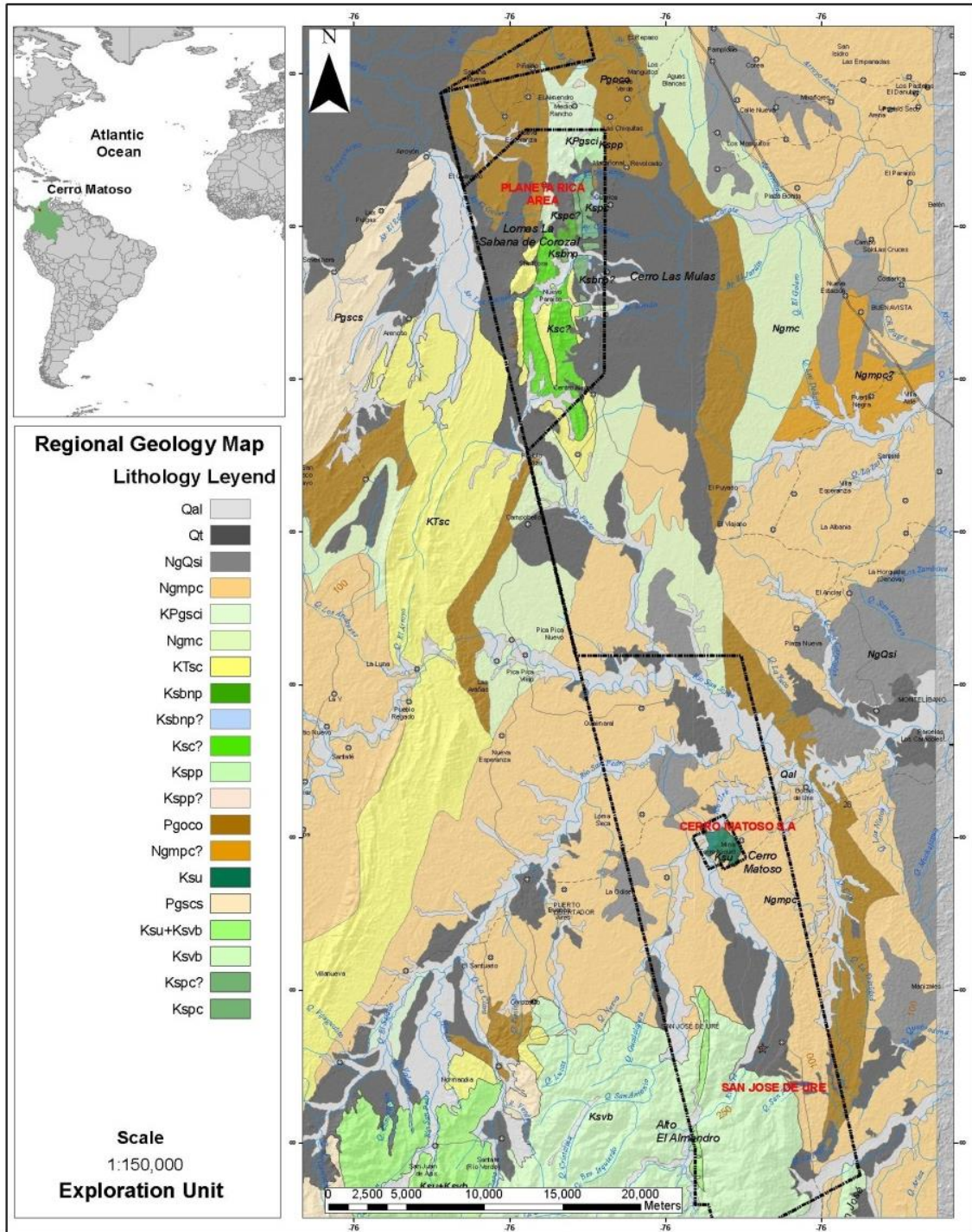


Figura 26. Geología regional de CMSA. Tomado de BHP Billiton 2013

- **Ultramafitas de Cerro Matoso (Ksu):** se encuentran en las lomas de Cerro Matoso y La Esmeralda, está compuesta por peridotita (harnzburgita) de color verde a negra de grano fino, localmente con bandas negras que pueden corresponder a una mayor proporción del piroxeno.

Desarrolla un amplio perfil de meteorización que se refleja en el contenido de Ni. El perfil de meteorización va desde la roca fresca (peridotita) hasta el desarrollo de suelo laterítico y “canga”, este no es homogéneo en todo el cuerpo mineralizado y en ocasiones es común encontrar aflorando la roca fresca o laterita de alto Fe en contacto con Saprolito verde.

- **Formación Cerrito (Ngmpc):** corresponde a una secuencia turbidítica de sedimentos arcillosos, interestratificados con sedimentos granulares, arenosos y conglomeráticos y localmente calizas; también contiene algunos mantos de carbón. Se encuentra en contacto discordante con la unidad de rocas ultramáficas de Cerro Matoso; en el área de La Esmeralda la Formación Cerrito (Ngmpc) tiene un espesor de 80 m incrementándose al oeste. Esta formación presenta un rumbo de N15°- 40°E y buzamiento de 15°- 27°NW.

- **Depósitos Aluviales (Qal1):** estos depósitos son típicas secuencias sedimentarias compuestas por limo, arenas limosas y especialmente por sedimentos arcillosos no consolidados de llanuras de inundación. Los depósitos aluviales se han dividido en dos unidades teniendo en cuenta su diferencia en tamaño de grano:

- El primero se compone principalmente de limo y sedimentos limo arenosos suprayacidos por sedimentos arcillosos del segundo nivel y tiene un espesor general de 5 m.
- El segundo nivel aluvial se compone principalmente por sedimentos arcillosos de 1 m de espesor.

En general el espesor del depósito aluvial varía entre 7 y 14 m dependiendo de varios factores como paleo-topografía y la distancia entre las zonas de inundación y las márgenes de los ríos.

4.3 AMBIENTE GEOLOGICO DE CERRO MATOSO

El yacimiento de Cerro Matoso, se encuentra asociado a un cuerpo aislado de rocas ultramáficas que está formando parte del Complejo Ofiolítico del Cauca (Mejía y Durango, 1981). El ambiente geológico para estos complejos litológicos

en Colombia es una amplia franja localizada en el occidente del país de la cual forma parte la cordillera occidental y el límite entre ésta y la cordillera central. Este conjunto de rocas máficas y ultramáficas está ubicado dentro del denominado sistema de fallas cauca-romeral, sistema que presenta un estilo estructural de fallecimiento intrincado y de convergencia variable dentro del cual hay una secuencia estratigráfica incierta y fragmentos de corteza siálica simática de edades variables desde el paleozoico hasta el Cretáceo.

Es posible describir la franja como una provincia tectónica específica; en los mapas de Terrenos Geológicos de Colombia es denominada como el Terreno Cauca-Romeral. En este Terreno se mezclan estructuralmente varias litologías que incluyen desde basaltos toleíticos, a veces con estructura en almohadilla, diabasas y sedimentos marinos, gabros, peridotitas y anfibolitas hasta esquistos muy variados a menudo cubiertas por rocas sedimentarias Terciarias; también se dan en él plutones calcoalcalinos e intrusivos subvolcánicos. Según Barrero, (1974), la zona de falla Cauca-Romeral es la zona de convergencia de la corteza oceánica y la corteza continental.

El sistema de Romeral se puede igualmente considerar como una importante provincia Metalogénica en la cual son varios los tipos de mineralización existentes, o predecibles de existir. Hay entre otros:

- En las secuencias ultramáficas: Depósitos de asbestos (Campamentos), talco (Yarumal), cromita (Santa Elena), lateritas níquelíferas (Cerro Matoso, Planeta Rica, Uré, etc.), Magnesita y Olivino (Bolívar)
- En las secuencias de rocas volcánica-sedimentarias: Sulfuros masivos auríferos en rocas basálticas o depósitos de manganeso (Santa Bárbara); y de Oro diseminado o vetiforme de tipo hidrotermal (Marmato) asociado a las rocas subvolcánicas.

Es importante resaltar que en esta provincia hay una gran potencial para el hallazgo de nuevos depósitos Minerales similares a los ya definidos.

4.4 EVOLUCION GEOLOGIA DE CERRO MATOSO

Durante el cretáceo las rocas de Cerro Matoso, el pit de la Esmeralda y de otros cuerpos similares en Planeta Rica y en Uré se formaron en un rift cercano al continente. Según Duque Caro (1979), la cuenca del San Jorge emerge en el eoceno medio y vuelve a sumergirse a finales de este período y principios del oligoceno. Del eoceno medio y hasta finales hay erosión en la cuenca lo que pudo permitir la formación de una penillanura que dejara visible las rocas de Cerro Matoso.

A principios del oligoceno, el mar invade la cuenca del San Jorge por el norte y el occidente, dejando una franja deltaica entre Ciénaga de Oro y Cerro Matoso, sitio en el cual se depositaron mantos de carbón. Para este tiempo, Cerro Matoso era una isla en medio de lagunas y pantanos de agua dulce, con algunas entradas frecuentes del agua del mar. Finalmente la zona es levantada durante la orogenia andina del plio-pleistoceno.

4.5 PETROGRAFIA ROCA MADRE DE CERRO MATOSO

La roca madre en Cerro Matoso, se clasifica según Streckeisen (1976) como una peridotita piroxenifera (harzburgita), que presenta diques pequeños de dunitas y lentes de peridotita serpentizada con abundantes vetillas de magnetita.

Un estudio petrográfico¹ realizado a la roca madre de Cerro Matoso, muestra la siguiente textura y composición mineralógica:

- Textura de mosaicos y minerales esenciales: Olivino 82%, Ortopiroxeno 10%, Serpentina 8%. Los minerales accesorios son: Picotita, Magnetita y Cromita.
- Olivino: Cristales Subhedrales formando mosaicos equiregulares, incoloro con fracturas irregulares presentando serpentización a lo largo de las mismas y segregación local de óxidos de hierro.
- Ortopiroxeno: Cristales subhedrales ligeramente más grandes que los del olivino; incoloro sin manchas.
- Serpentina: Principalmente antigorita serpofita. A lo largo de microfracturas en el olivino.
- Picotita: Cristales subhedrales dispersos.
- Magnetita y Cromita: Minerales opacos en cristales dispersos y como segregación a lo largo de fracturas serpentizadas en el olivino.

4.6 GENESIS DEL YACIMIENTO DE CERRO MATOSO

Sobre el origen del yacimiento se ha planteado un origen del perfil laterítico que se iniciara en las últimas etapas de la Orogenia Pre-Andina, a finales del Eoceno Tardío. El perfil y sus variabilidades en la distribución de los valores de níquel, fueron favorecidos para que se diera con su más amplio grosor y mayor contenido en la zona noreste del cuerpo, esto sería consecuencia de dos

factores: el grado de serpentización (a mayor grado una menor concentración de Ni) y un suave levantamiento con perturbaciones después de la Orogenia Andina del Mioceno tardío- plioceno que hicieron posible la erosión del sector suroccidental. Es posible visualizar la génesis de Cerro Matoso como un proceso que estaría influenciado y condicionado desde el origen las rocas ultramáficas. Se iniciaría en el Cretáceo durante la consolidación y emplazamiento del cuerpo ultramáfico, a este proceso estaría ligado una deformación dúctil- frágil a la cual se asociaría la serpentización de parte del cuerpo y la introducción de fluidos hidrotermales remanentes los cuales serían los causantes de formar las venas de magnesita, garnierita y las zonas silíceas y calcáreas. Posteriormente se darían los procesos orogénicos de levantamiento de la cordillera y el ascenso hacia la superficie del cuerpo ultramáfico íntimamente asociado a los procesos geológicos del sistema Cauca- Romeral. Ello incluiría eventos compresivos y distensivos que originan deformación frágil, desarrollo de zonas de fallas y fracturamiento intenso que posibilitan en las rocas una mayor permeabilidad. Expuestas las rocas en superficie se iniciarían los procesos del interperismo bajo condiciones muy especiales en un ambiente típico del trópico en el cual se darían la alteración de las rocas ultramáficas, la formación de Saprolitos y la laterización misma.

La concentración de níquel en Cerro Matoso se puede asociar a la deposición de los sedimentos de la cuenca carbonífera de Puerto Libertador, ya que al perforar los sedimentos adyacentes a Cerro Matoso, se encontraron mantos de carbón cubriendo saprolitos con concentraciones pequeñas de níquel.

El níquel se concentró en la capa de suelo residual y de peridotita parcialmente meteorizada por acción conjunta de dos procesos íntimamente ligados a la meteorización de la peridotita, el primero es un proceso de concentración residual, en donde diversos factores como el intenso fracturamiento de la roca madre, abundante vegetación, microorganismos, periodos de lluvia bien definidos seguidos por periodos secos, movimientos del nivel freático, etc. , favorecieron la concentración de níquel en el depósito de Cerro Matoso.

Las aguas circulantes atacaron la peridotita y arrastraron el hierro, magnesio, níquel y sílice. De acuerdo con la solubilidad de los diferentes elementos y condiciones de pH y Eh se fueron depositando los diferentes niveles. El hierro es el primer elemento en depositarse formando costras limoníticas en la parte superior del depósito, los demás elementos siguen en solución y se concentran en niveles inferiores a excepción del magnesio que en gran parte abandona el cuerpo intrusivo.

En el segundo proceso denominado enriquecimiento secundario, el níquel liberado durante la descomposición del olivino, se recombina con parte del magnesio y la sílice formando silicatos hidratados de magnesio y níquel, los cuales entran a formar parte de la montmorillonita generada por la

descomposición parcial de la peridotita. A medida que la meteorización progresa, en la parte superior del perfil de alteración los silicatos se vuelven inestables y se descomponen liberando el níquel nuevamente, el cual migra hacia abajo y se reprecipita en la zona donde está formando la montmorillonita. Parte del níquel también precipita como garnierita formando vetas en las diaclasas de la roca parcialmente meteorizada. Este proceso de solución y reprecipitación del níquel fue cíclico, explicando así las concentraciones de níquel.

4.7 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La actualización del Modelo Geotécnico CMSA, menciona dos sistemas de fallas principales que han sido reportadas en Cerro Matoso (López y Rendón 1986, Durango y Gaviria 1987, Botero y Velásquez 1996). Uno con dirección paralela al sistema de Fallas Romeral o NS y otro con tendencia NW, ambos con buzamiento de moderadamente alto a vertical y variación en la dirección del mismo de E a W.

Estudios desarrollados Por la empresa Asesorías Técnicas Geológicas ATG, en su trabajo: Exploración Geoeléctrica Para La Caracterización Hidrogeológica de un Área De 5 Km. Alrededor de Cerro Matoso. ATG. Noviembre de 2007, expone un sistema de fallas longitudinales definido por la fallas: Uré, San Antonio, Matoso, Perimetral y Puerto Colombia; y otro sistema definido por la fallas transversales: El Tigre y Uré.

- **Falla Matoso:** Es un lineamiento regional, con dirección NNW (Norte Real), cartografiada al oriente del área de la mina, con trazo en la Quebrada El Tigre. El bloque occidental está levantado con respecto al oriental.
- **Falla San Antonio:** Falla regional, cartografiada a lo largo de la Quebrada San Antonio, en dirección NNE (Norte Real). El bloque occidental está levantado con respecto al oriental.
- **Falla Uré:** Cartografiada a lo largo del Río Uré, en dirección NNW (Norte Real). El bloque occidental está hundido con respecto al oriental. Esta falla se cierra en el trazo de la Falla San Antonio, a la altura del área de la mina.
- **Otras Fallas - Fallas Perimetrales a Cerro Matoso:** CMSA ha definido un sistema de fallas longitudinales de dirección NNW (Norte Real), que bordean el sector de la mina, al occidente y oriente. Hacia el sur de la mina se ha comprobado la existencia de una falla transversal, de dirección NE (Norte Real), denominada Falla El Tigre.

De estas fallas se conoce el rumbo pero no está claramente definido el buzamiento de las mismas.

4.7.1 Dominio estructural de los Pit 1 y Pit 2

Este dominio cubre las áreas: Pit 1 y Pit 2, limitando al Norte por la Quebrada Uré y la Planta. Se han definido dos sistemas de lineamientos estructurales en esta zona a partir de la cartografía estructural desarrollada por CMSA. Uno de componente NW con buzamiento al NE y otro de componente NS-NE con buzamiento al W.

Estratigráficamente lo conforman rocas del perfil de meteorización en el Sector del Pit 2, donde aflora suelo (cerca de 10m de laterita), seguido de saprolitos y peridotita.

Hacia el sector del Pit 1 afloran rocas de la Formación Cerrito, Arcillolitas y Areniscas limosas en contacto fallado o discordante con las rocas del perfil de meteorización.

4.8 GEOLOGIA DEL YACIMIENTO DE CERRO MATOSO

Cerro Matoso es un cuerpo ultramáfico alargado de 2,5 x 1,7 kilómetros que forma parte del Cinturón de San Jacinto, pertenece a una serie de grupos aislados de peridotita que se han definido como Complejo Ofiolítico del Cauca (Mejía y Durango, 1981). La Figura 2.3 resume la estratigrafía de Cerro Matoso y sus inmediaciones.

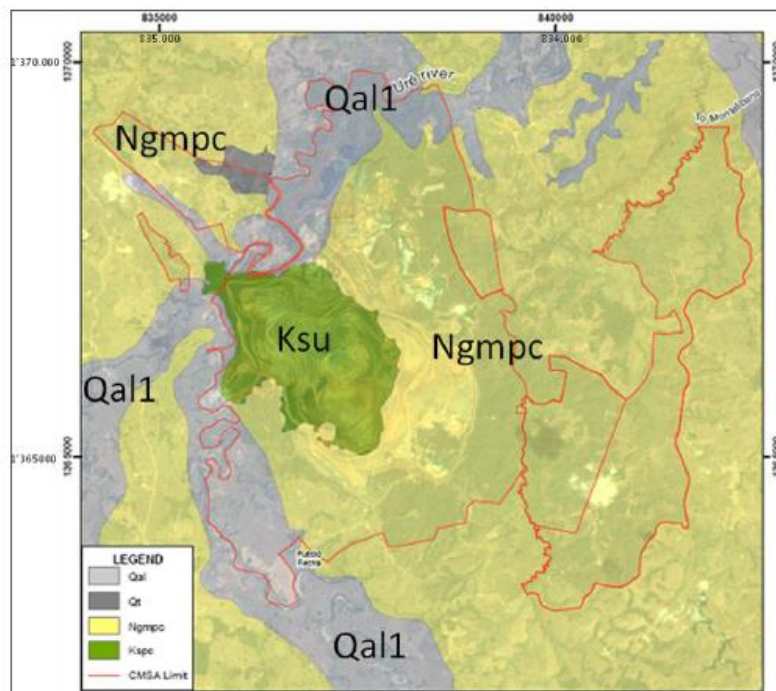


Figura 27. Mapa geológico de Cerro Matoso. Tomado BHP Billition 2013.

En la Zona de interés el yacimiento se orienta hacia el Noroeste y se encuentra cubierto por la Formación Cerrito. En el área de inundación del río Uré, normalmente se presentan depósitos aluviales con un espesor medio de 5 metros. Por debajo del río, debido a la erosión, la peridotita está expuesta.

El perfil geológico del yacimiento de Cerro Matoso, se encuentra dividido en tres zonas bien diferenciadas:

- Zona laterítica (Parte superior con un mayor contenido de Fe), presenta un espesor entre 1 y 10 metros;
- Zona de saprolitos (Zona media, con los mayores contenido de níquel), tiene un espesor entre 2 y 25 metros,
- Zona Peridotítica, (Incluye la peridotita saprolitizada, que es la transición entre la zona de saprolito y la peridotita) presenta espesores entre 2 hasta 20 metros, con un contenido más elevado en MgO. Como se mencionó anteriormente, el cuerpo mineralizado cubre la peridotita, con una orientación Noroeste.

El depósito de Cerro Matoso se encuentra dividido en dos amplios sectores denominados Pit1 y Pit2, los cuales presentan características litológicas, químicas y físicas diferentes (ver Figura 2.4) a su vez cada uno de estos pit para efecto de modelación e identificación en campo se encuentra subdividido, por ejemplo, el pit 1 se divide en : Pit 12, Pit 13 , Pit 14, Pit 6 y Pit 3.

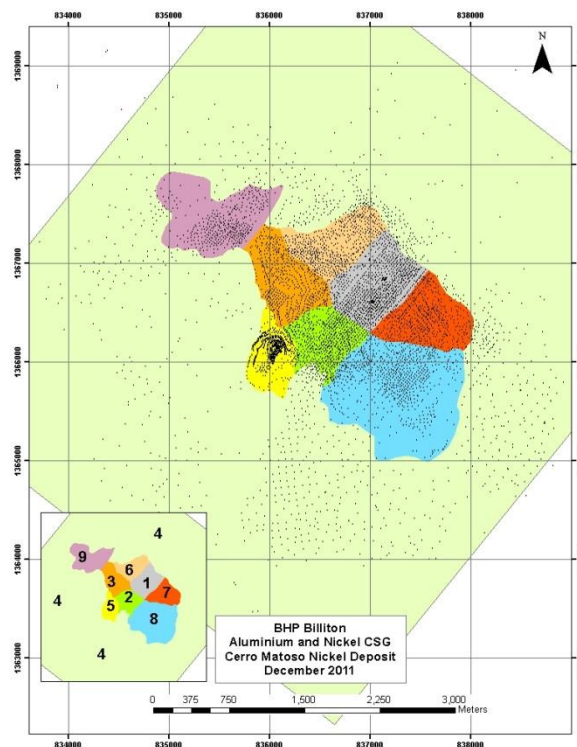


Figura 28. Clasificación por dominios del yacimiento de Cerro Matoso. BHP Billiton 2011.

En términos generales, el perfil de meteorización del yacimiento está compuesto por 12 unidades litológicas (Rock Type) que han sido bien caracterizadas y que se describen a continuación, teniendo en cuenta los dos perfiles lateríticos típicos, ubicados en los denominados Pit 1 y Pit 2.

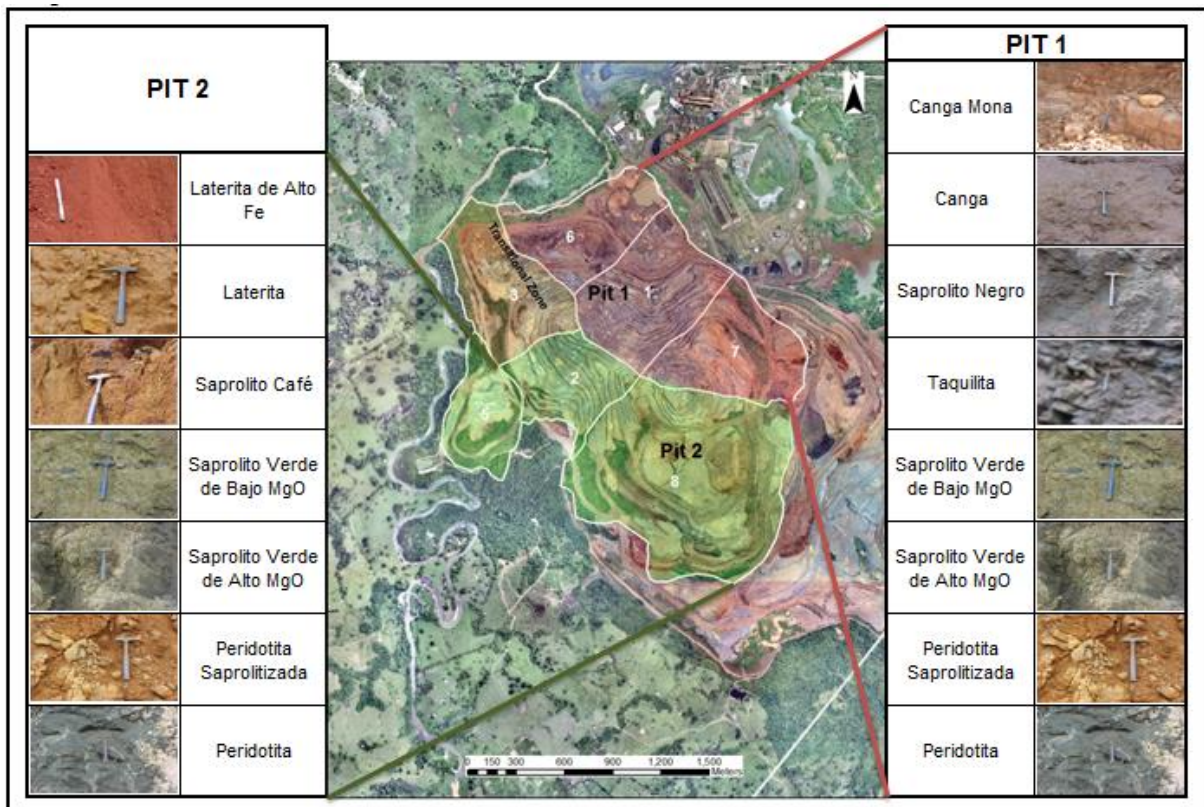


Figura 29. Perfil de meteorización típico de los Pit existentes en la mina de Cerro Matoso.

4.8.1 Perfil de meteorización del Pit 1

El perfil de meteorización típico del pit1, incluye las siguientes unidades litológicas y sus características.

Peridotita y peridotita saprolitizada: La peridotita expuesta en el Pit 1 es una peridotita de grano fino, con coloraciones verde-negra, como ocurre comúnmente en la peridotita saprolitizada. En algunas zonas, la peridotita contiene abundante magnesita y vetas de calcita. Sin embargo, estas venas y protolito son normalmente destruidos por la intemperie. La peridotita saprolitizada es, en general, verde pálido a color beige, y ambas unidades están

cortados por venas de cuarzo y serpentina niquelífera o "garnierita", lo que puede ocurrir como venas aisladas o como estovercas.

Saprolitos Verde: El contacto entre la peridotita y el saprolito verde puede ser gradacional o neto. La roca es de color verde, su grano fino y suave, contiene venas de cuarzo y vetas de garnierita (localmente se presenta estovercas). Este saprolito Verde corresponde a la mineralización principal con los grados más altos de Níquel. Se divide en saprolito verde de alto y bajo magnesio.

Pseudo- Taquilita: Es un término usado en CMSA, para describir una roca de color café oscuro a negro, de grano muy fino, frágil, compuesta principalmente por óxidos de Fe y fases amorfas. Esta roca se asocia comúnmente con las zonas de falla en el depósito y puede tener una textura vítrea, de ahí la elección del nombre, taquilita, para la unidad. Estas rocas varían en espesor de centímetros a metros y en algunas áreas contienen vetas de cuarzo deformado.

Saprolito Negro: Esta unidad se produce a nivel local y se asocia generalmente con la taquilita y zonas de fallas. Por lo general, de color verde oscuro a negro, aunque en algunos lugares se presentan manchas o parches rojos donde ha tenido lugar la oxidación local. Este tipo de roca contiene magnetita en nódulos y venas delgadas, y un alto contenido de hierro. El contacto superior entre este tipo de roca y Canga es difuso.

Canga: Corteza ferruginosa que se ubica originalmente en la parte superior del depósito, esta unidad suprayace el perfil de meteorización en el pit 1, pero ausente en el pit 2. De color rojo oscuro, muy densa extremadamente dura y en algunas ocasiones fuertemente magnética, en otros sectores de la Mina la Canga es nodular y no presenta propiedades magnéticas.

Canga Mona (No magnética): Se encuentra infra yaciendo la canga, usualmente de color pardo a crema. Consta de un material macizo, altamente ferruginoso, a veces bandeado a laminar, de apariencia lítica en el cual no hay rastros de las características texturales o composicionales de la roca original.

4.8.2 Perfil de meteorización del Pit 2

El perfil de meteorización típico del pit 2, incluye las siguientes unidades litológicas y sus características:

Peridotita: La peridotita expuesta en esta sección es muy similar a la del Pit 1. Sin embargo, este tipo de roca contiene abundantes diaclasas y fracturas que tienen dos orientaciones principales: noreste ($65^{\circ}/30^{\circ}$ a $70^{\circ}/65^{\circ}$) y noroeste. Estas diaclasas claramente controlan la erosión del protolito. Algunos planos de diaclasas han desarrollado pobre mineralización de cuarzo. Localmente las zonas de cizalla transversal contienen venas de garnierita.

Peridotita Saproilitizada: El contacto entre la peridotita y la peridotita saproilitizada está controlado por la distribución de las diaclasas, sin embargo, en algunas zonas se puede observar una transición entre las dos unidades. Las venas de cuarzo en este tipo de roca suelen contener localmente garnierita verde brillante. Por lo general, asociado con el cuarzo se encuentran delgadas venas negras de óxidos de manganeso.

Saproilito Café: El contacto entre la peridotita saproilitizada y el saproilito café es muy difuso y gradacional. El saproilito café es de color naranja-café, de grano fino (generalmente de arena fina a tamaño limo), y mucho más suave que los tipos de rocas descritos anteriormente. Los remanentes de protolito son raros y difíciles de identificar, a pesar de haberse observado ocurrencias locales de peridotita saproilitizada. Normalmente, esta unidad tiene una alta densidad de pequeñas vetillas de óxido de manganeso (alrededor de 1 mm de diámetro) y no contiene cantidades significativas de cuarzo. En este momento este material es muy escaso en la mina.

Laterita: El contacto entre el saproilito café y las lateritas es gradacional. La laterita es de grano muy fino (tamaño limo), y todas las evidencias de contenido mineral

original o la textura del protolito han desaparecido. Localmente, el contenido de venillas blancas es característico en este material debido a su alto contenido de sílice; se pueden observar venas de cuarzo finas (1-2 mm).

Laterita con Alto contenido de Hierro: Esta laterita es muy blanda, de grano fino, y no presenta ninguna estructura reconocible. A diferencia de la laterita, esta unidad contiene un significativo contenido de cuarzo, sin embargo, se han observado parches de coloraciones oscuras locales, ricos en manganeso, y lateritas de color marrón rojizo.

4.9 MINERALOGIA

Estudio de caracterización de especies mineralógicas en el yacimiento Cerro Matoso fue realizado² en el año de 1986 y actualizado en el año 2003.

La metodología analítica incluyó el examen del material total muestreado y las fracciones granulométricas obtenidas luego de la preparación de las muestras por separado. Este tipo de análisis mineralógico por fracción granulométrica, no solo permitió diferenciar familias y especies minerales, si no también establecer tendencias de la composición mineralógica y química con la variación de tamaños de partícula.

Los tipos de roca estudiados fueron:

- Peridotita (RT=60)
- Peridotita Saproilitizada (RT=50)

- Sapolito Verde de Alto MgO (RT=40)
- Sapolito Verde de Bajo MgO (RT=42)
- Material Silíceo (RT=80)
- Pseudo Taquilita (RT=43)
- Sapolito Negro (RT=44)
- Sapolito Café (RT=30)
- Laterita de Alto Fe (RT=24)
- Laterita (RT=20)
- Sedimento (RT=13)
- Canga (RT=10)

El estudio definió de manera rigurosa los componentes cristalinos presentes utilizando técnicas analíticas para las variedades de tipo de roca; así como la presencia de componentes “no-cristalinos”, estimándose cantidades y tendencias por cada tipo de roca.

Como resultado, se obtuvo la mineralogía de cada una de las fracciones granulométricas y, posteriormente por medio de ponderación se obtuvo la mineralogía estimada para la muestra total por tipo de roca (ver Tabla 1).

Mineral	% Tipo de Roca												
	RT=60	RT=50	RT=40	RT=42	RT=80	RT=43	RT=44	RT=30	RT=24	RT=20	RT=13	RT=10	Min=GR
Serpentina (Lizardita ± Crisotilo)	62.20	33.00	24.64	14.41	-	1.95	-	-	2.00	2.00	4.95	6.43	7.16
Olivino (Forsterita ferrosa)	19.30	9.65	2.02	0.98	-	0.60	-	-	-	-	-	-	-
Ortopiroxeno (Enstatita)	6.50	10.88	2.02	1.23	-	0.60	0.30	0.30	-	-	-	-	-
Clinopiroxeno (Augita)	2.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Espinel (aluminosa)	2.50	-	1.13	1.98	-	2.63	3.45	3.23	6.95	7.00	2.95	2.98	2.99
Magnetita	1.00	0.90	1.70	0.38	-	2.93	18.95	20.98	2.00	2.00	39.00	39.25	39.38
Magnesio cromita	0.60	0.73	0.98	1.98	-	2.43	3.48	3.74	4.00	4.00	2.90	3.45	3.73
Piroaurita	2.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcita	2.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tremolita	-	0.33	0.48	-	-	1.35	-	-	-	-	-	-	-
Smectita (Nontronita)	-	16.75	21.45	26.68	-	8.75	-	-	2.00	2.00	-	-	-
Goethita	-	8.94	4.05	13.38	-	8.23	11.20	12.85	67.20	67.20	29.00	30.25	30.88
Cuarzo	-	6.65	25.00	21.48	100.00	20.10	-	-	2.50	2.50	1.00	1.50	1.75
Siderita	-	1.92	5.03	2.48	-	19.20	9.20	5.60	2.00	2.00	1.90	1.95	1.98
Pirolusita	-	0.33	0.48	0.38	-	1.35	1.13	0.71	1.00	1.00	0.30	0.30	0.30
No cristalinos	-	10.38	12.00	14.55	-	29.00	22.90	25.20	10.30	10.30	18.00	13.90	11.85
Berthierina	-	-	-	-	-	-	29.40	30.40	-	-	-	-	-
Componente tipo talco	-	-	-	1.00	-	0.85	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 1. Composición mineralógica de los diferentes tipo de roca (RT) Tomado de Guzmán et al., 2013.

DENSIDADES DE LOS MATERIALES DEL YACIMIENTO.

Los valores han sido definidos con base en las diferentes campañas realizadas en la mina para la generación de los modelos de CMSA y se muestran en la Tabla 2.

Tipo de Roca	Código	Densidad
Arcillolita	14	1.63
Canga	10	2.25
Sedimento	13	1.83
Laterita	20	1.20
Mineral de Silice	80	1.50
Lat. Alto Fe	24	1.04
Sap. Negro	44	2.39
Taquilita	43	1.37
Retrabajado	43	1.57
Sap. Café	30	1.23
SV Bajo Mg	42	1.54
SV Alto Mg	40	1.75
P. Saproilitizada	50	2.09
Peridotita	60	2.61

Tabla 2. Densidades por tipo de roca. Tomado de Guzmán et al., 2013.

4.10 MOVILIDAD QUÍMICA DE LOS TIPOS DE ROCA DEL PERFIL DE METEORIZACIÓN

La movilidad química de cada uno de los elementos y óxidos en los diferentes tipos de rocas se muestra en la Tabla 2.

MQ	Litología	RT	%Ni	%Fe	%MgO	%SiO2	%Al2O3
Limonítico	Arcillolita	14	0.05-0.51	3.91-9.99	0.27-5.35	52.54-66.8	9.32-16.66
	Canga	10	0.55-0.85	42.17-51.05	0.26-1.2	2.95-9.86	7.89-14.24
	Sedimento	13	0.35-0.68	29.0-37.26	0.24-1.04	11.2-20.31	16.36-21.27
	Laterita	20	0.47-1.14	21.62-31.45	0.49-2.51	31.49-52.13	1.94-6.13
	Silice	80	0.13-1.89	7.31-15.02	0.59-10.98	60.91-72.24	0.49-1.84
	Laterita alto Fe	24	0.66-1.50	37.67-46.45	0.53-2.48	7.29-21.24	4.53-8.77
	Saprolito negro	44	1.09-1.54	42.25-51.29	0.23-1.95	4.09-13.56	5.8-9.88
	Taquilita	43	0.89-1.66	23.94-34.27	1.17-3.0	23.12-42.65	2.56-6.18
Saprolítico	Saprolito café	30	0.96-2.64	18.53-29.65	4.28-10.19	27.37-48-98	1.84-4.77
	Saprolito verde bajo MgO	42	1.18-3.40	11.12-20.98	8.44-16.92	37.51-52-70	0.85-3.34
	Saprolito verde alto MgO	40	0.76-3.29	7.67-11.16	19.36-24.51	42.21-51.95	0.68-1.61
Peridotítico	Peridotita saprolitizada	50	0.17-1.63	6.04-8.21	27.38-32.75	39.9-47.08	0.51-1.21
	Peridotita	60	0.16-0.35	5.43-6.22	34.8-38.23	37.73-42.5	0.41-0.95

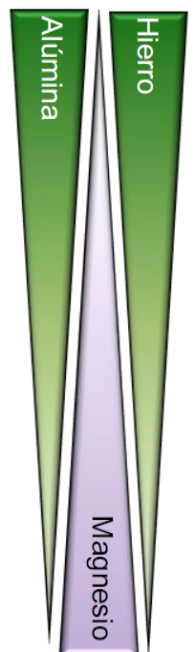


Tabla 3. Movilidad química de los diferentes tipos de roca en el yacimiento de Cerro Matoso

5. UPGRADING

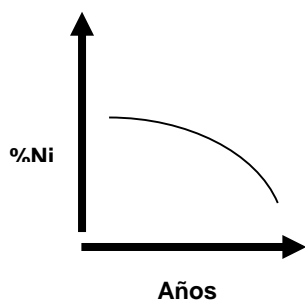
Upgrading es un proceso físico mediante el cual se logra la concentración de un material, con el fin de aumentar la ley de corte.

5.1 UPGRADING CMSA

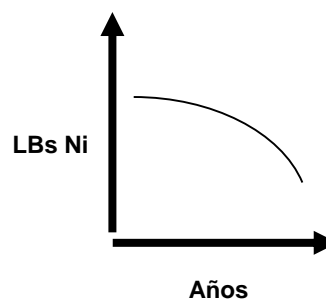
5.1.1 Antecedentes

Este proyecto surge en la compañía como una necesidad para la optimización del proceso, ya que análisis estadísticos estaban mostrando un decaimiento en la ley de corte del níquel lo cual implicaba:

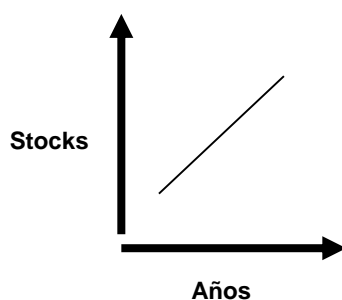
a) Reducción en la ley de Ni del depósito



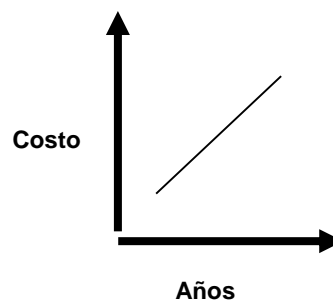
b) Menor producción



d) Incremento en stocks intermedios



c) Mayores costos de producción



En el año 2001 CMSA realizó estudios de concentración de minerales que llevaron a la construcción de la planta de concentración llamada **UPGRADING I**. Este proyecto ayudó a la simplificación del proceso de construcción de pila y a eliminar la última etapa de trituración que se llevaba hasta ese momento en el proceso.

5.1.2 Objetivo

El proyecto Upgrading representa una acción importante para mitigar la caída de producción de ferroníquel en Cerro Matoso S.A. causada por la disminución en el grado de Ni en el mineral enviado desde la mina propia del descenso natural en la ley del mineral en el yacimiento. Así mismo el upgrading permite incrementar las reservas de la mina al recuperar material que anteriormente era rechazado por el proceso.

Proceso físico que busca incrementar el grado de níquel del material enviado al proceso, mediante el retiro de la fracción gruesa pobre en níquel.

- En que consiste UPGRADING

El Upgrading es un proceso físico que busca incrementar el grado de níquel del material enviado al proceso, mediante el retiro de la fracción gruesa pobre en níquel.

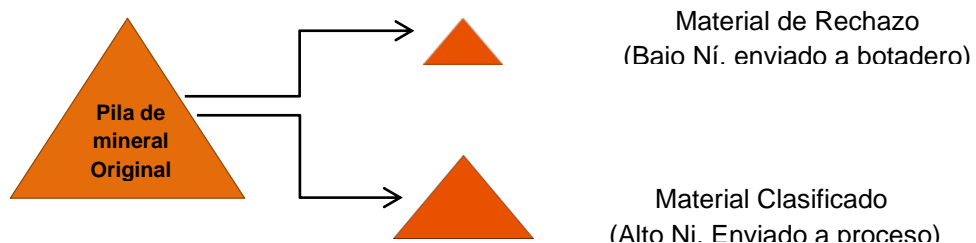


Figura 30. Esquema generalizado de UpGrading. Tomado de Guzmán et al., 2013

La concentración física de los minerales para este proceso es favorecida por:

1. **Meteorización en las rocas:** Ya que la peridotita al estar expuesta en superficie es afectada por diferentes factores como agua, presión y temperatura, lo cual va a generar un grado de alteración a la roca madre.

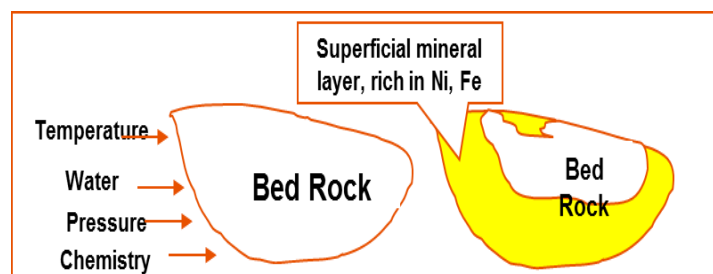


Figura 31. Sentido de la meteorización de una roca. Tomado de Guzmán,R et al., 2013



Figura 32. Alteración de peridotita de afuera hacia adentro, conservando un núcleo.

2. **La dilución intrínseca que viene desde la mina:** La cual es propia del proceso por el tamaño de equipos de cargue, heterogeneidad del yacimiento, control geológico, entre otros.

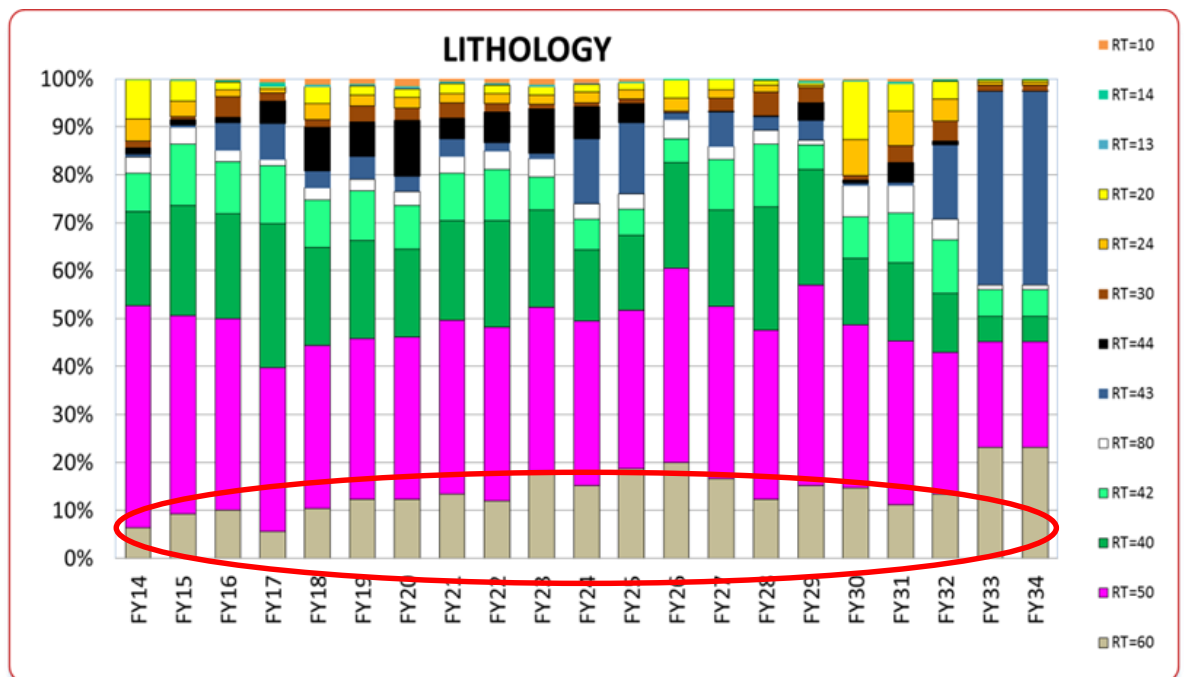


Figura 33. Litología en pilas por FY. Aproximadamente en promedio se está enviando al proceso un 12% de estéril (RT 60).

Para el perfil laterítico de CMSA los materiales con mayor grado de concentración respectivamente son: peridotita saprolitizada, saprolito verde de alto Mg y saprolito verde bajo en Mg; Con un grado menor se encuentra la peridotita y con una concentración nula encontramos la parte superior del yacimiento que está representada por un material limonítico (Figura 106).

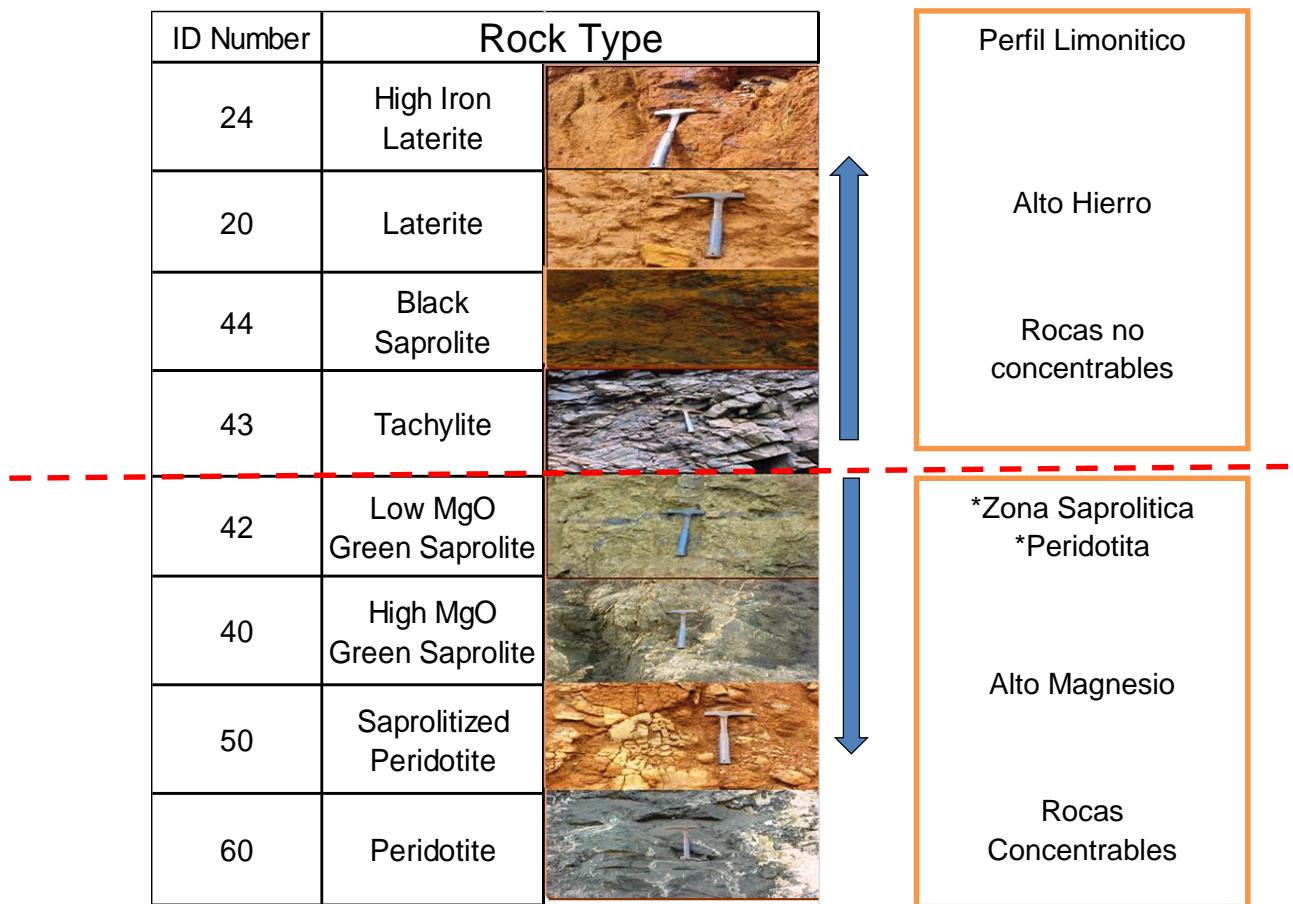


Figura 34. Perfil de meteorización CMSA. Tomado de Guzmán,R et al., 2013

5.1.3 Cambios en el proceso

Para implementar Upgrading en el proceso fue necesario retirar la trituradora terciaria la cual estaba diluyendo el material del proceso. Ver Figura 107.

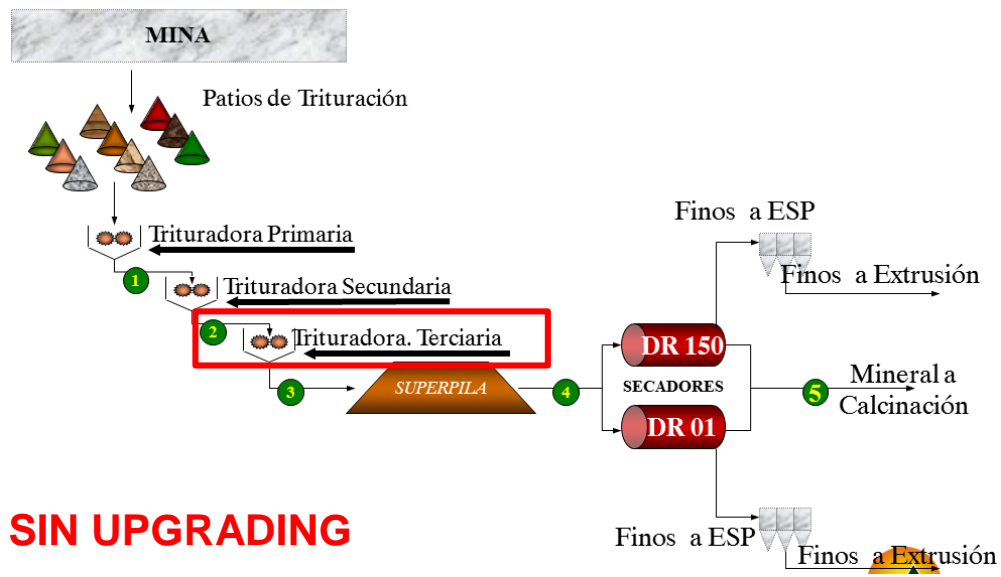


Figura 35. Proceso antes del 2001 en CMSA.

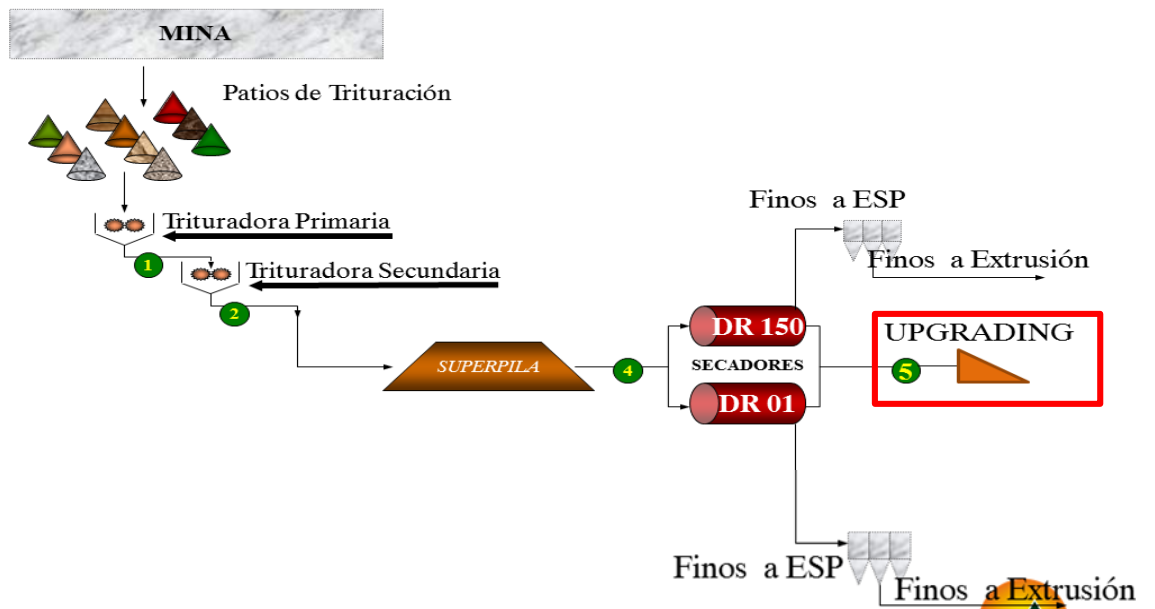
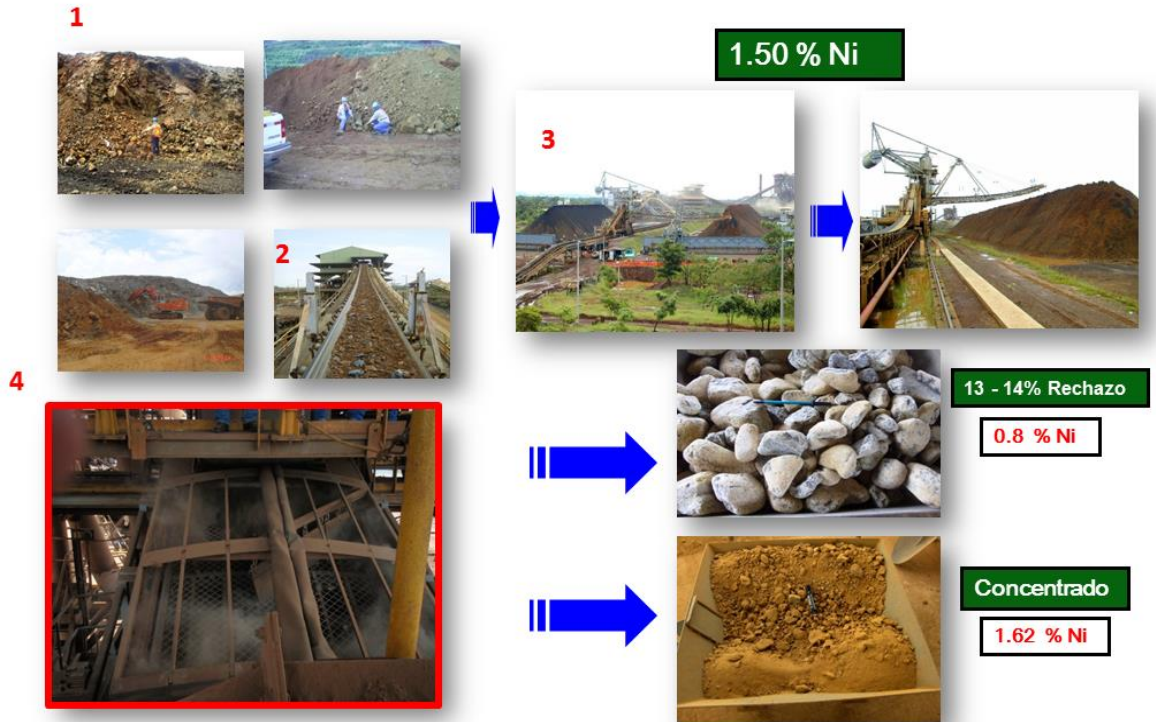


Figura 36. Proceso después del 2001 en CMSA.

5.1.4 Aplicación Upgrading actualmente



5.2 UPGRADING FASE II

De acuerdo a estudios estadísticos que se realizan en planeación a largo plazo, el plan de vida de la mina estima un decaimiento progresivo en el % de níquel a lo largo del tiempo (figura 110), es por ello que se empiezan a realizar estudios para VALIDAR el proyecto de UPGRADING II, el cual entraría a reemplazar y mejorar UPGRADING I.

5.2.1 Objetivo

Mitigar la caída del % de níquel en el proceso productivo de CMSA, mejorando el proceso de separación física de los materiales.

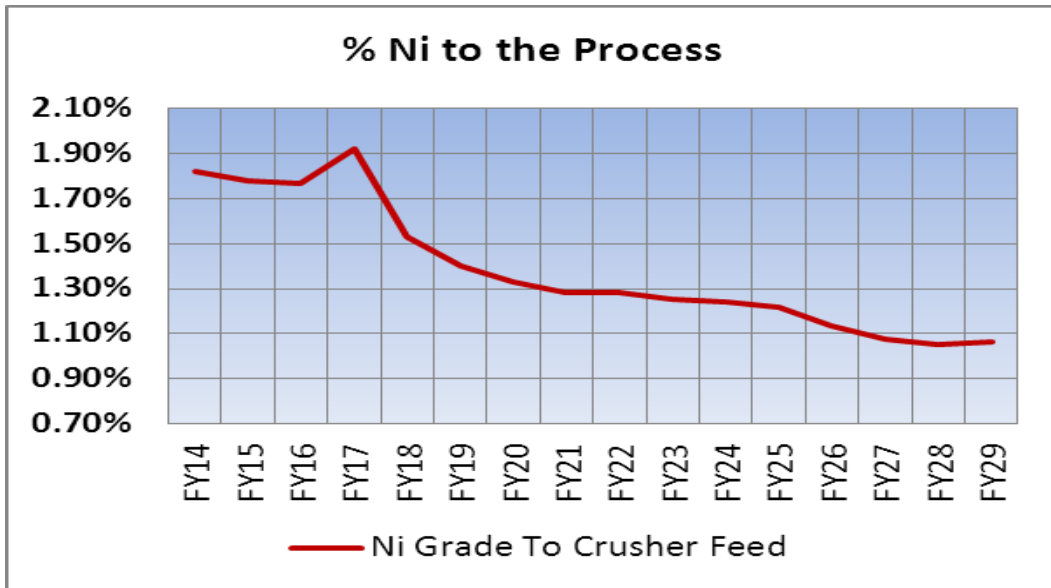


Figura 37. % Níquel por año financiero (FY)

5.2.2 Proceso propuesto

Consta de un proceso de UPGRADING que se realizara en 4 etapas antes del material ser apiado en la “Súper-Pila”; cada etapa va a tener un producto.

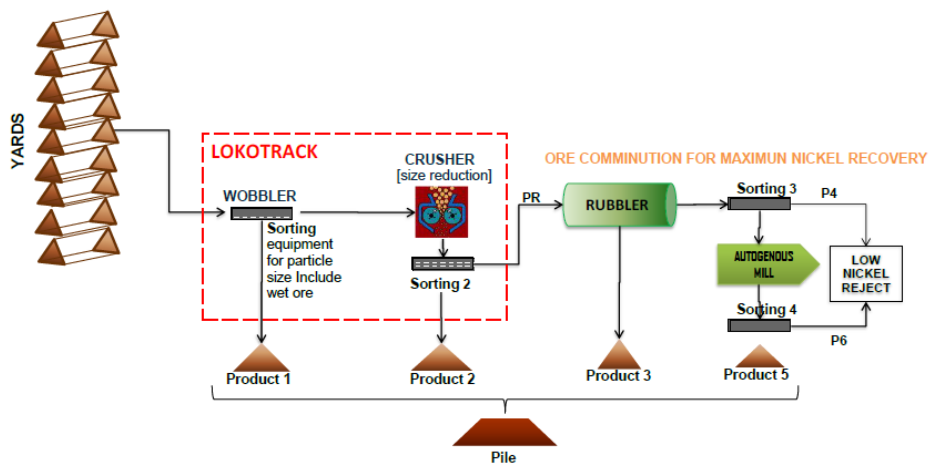


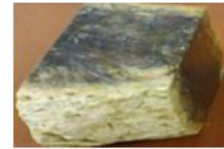
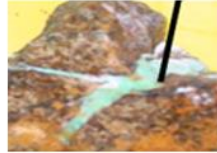
Figura 38. Proceso propuesto Upgrading II

5.2.3 Ensayos pilotos

1. Mezcla de rocas



2. Rocas individuales



3. Materiales en stocks



Figura 39. Diferentes materiales utilizados para los ensayos piloto

5.2.4 Equipos Utilizados en Ensayos

Mobile Lokotrack
Crusher



Rubbler



Autogenous Mill



Granulometry Determination



Figura 40. Equipos utilizados para ensayos UP III

6. MARCO METODOLOGICO

El proyecto estuvo enmarcado básicamente en dos grandes fases metodológicas, que permitieron el alcance de los objetivos propuestos a partir de una serie de actividades específicas. Cada una de estas fases se describe de manera detallada a continuación.

Fase 1

Durante esta primera fase se realizaron varias tareas específicas, enfocadas en una subfase de reconocimiento del depósito y otra de selección de áreas de estudio.

Subfase de reconocimiento:

- a) Revisión bibliográfica enfocada en los objetivos propuestos. De esta manera, la búsqueda se centró en la geología del depósito de Cerro Matoso.
- b) Reconocimiento en campo de la mina Cerro Matoso con el fin de adquirir conocimiento de las diferentes litologías que conforman el depósito.
- c) Seguimiento en campo con el geólogo de pit a los diferentes stocks y áreas de la mina incluidas en el plan de producción del FY15, para identificar los diferentes materiales que se acopian en estos lugares.

Subfase de Selección

- d) Selección de áreas de interés en la mina, incluidas en el plan de producción del FY15.

El área de interés cumple las siguientes características:

- Rocas que presenten un alto contenido de garnierita diseminada dentro de la peridotita. (Generalmente presentan contenido de Ni entre 0.1 – 1%)
 - Áreas que presenten un contenido significativo de material fino de saprolitos que se encuentren dentro de peridotita.
 - El volumen de roca debe ser igual o superior a las 10.000 toneladas.
- e) Caracterización litológica y geoquímica de las áreas seleccionadas

Fase 2

En esta fase se realizaron actividades de montaje (diseño de experimento) y pruebas piloto.

Subfase de montaje

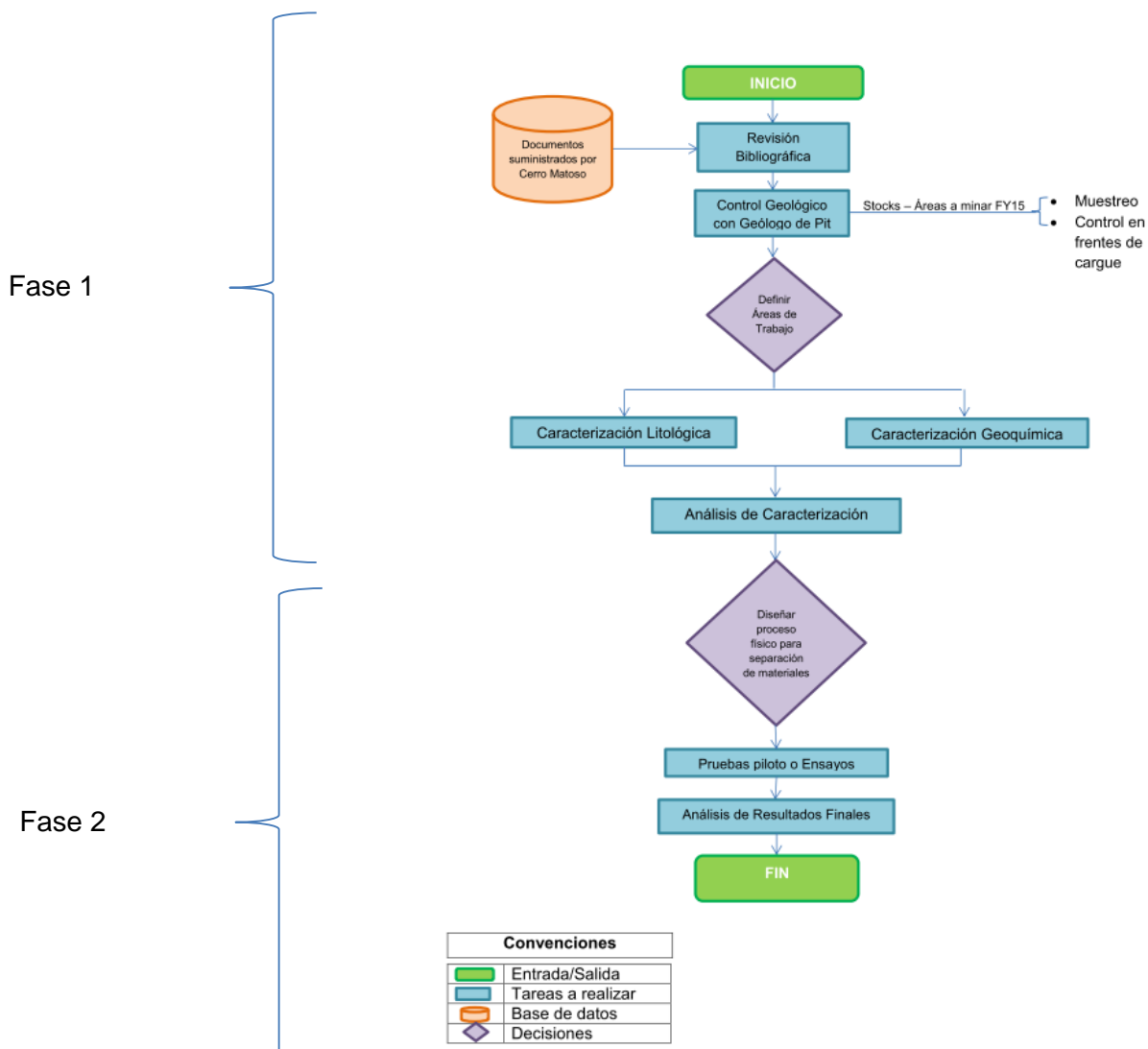
a) Se llevó a cabo un diseño de experimentado que permitiera la recuperación de níquel por un proceso de separación física o Upgrading (simulando en el proceso productivo de Cerro matoso pero en una menor escala), con el fin de extraer la mayor concentración de níquel de las rocas presentes en las áreas de interés.

Subfase de pruebas piloto

b) Realización de ensayos con los diferentes tipos de rocas seleccionados

c) Muestreo geológico y análisis químico con el fin de verificar el contenido de Ni, y concluir si es posible o no la recuperación

d) Se realizó una evaluación económica de los resultados del proyecto preliminar para



7. DESARROLLO DEL PROYECTO

7.1 DETERMINACION DE AREAS DE INTERES

Para la selección de áreas de trabajo se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- **AREAS DENTRO DEL PLAN DE MINERIA DEL FY15 EN CERRO MATOSO S.A**

En la compañía de Cerro Matoso se ejecuta un plan de minería por año financiero, el cual generalmente inicia el 1 de julio y culmina el 30 de junio del año calendario próximo.

Por tal razón para la ejecución del presente proyecto se tuvo en cuenta el año financiero 15 (FY15), el cual presenta las siguientes áreas para minar:

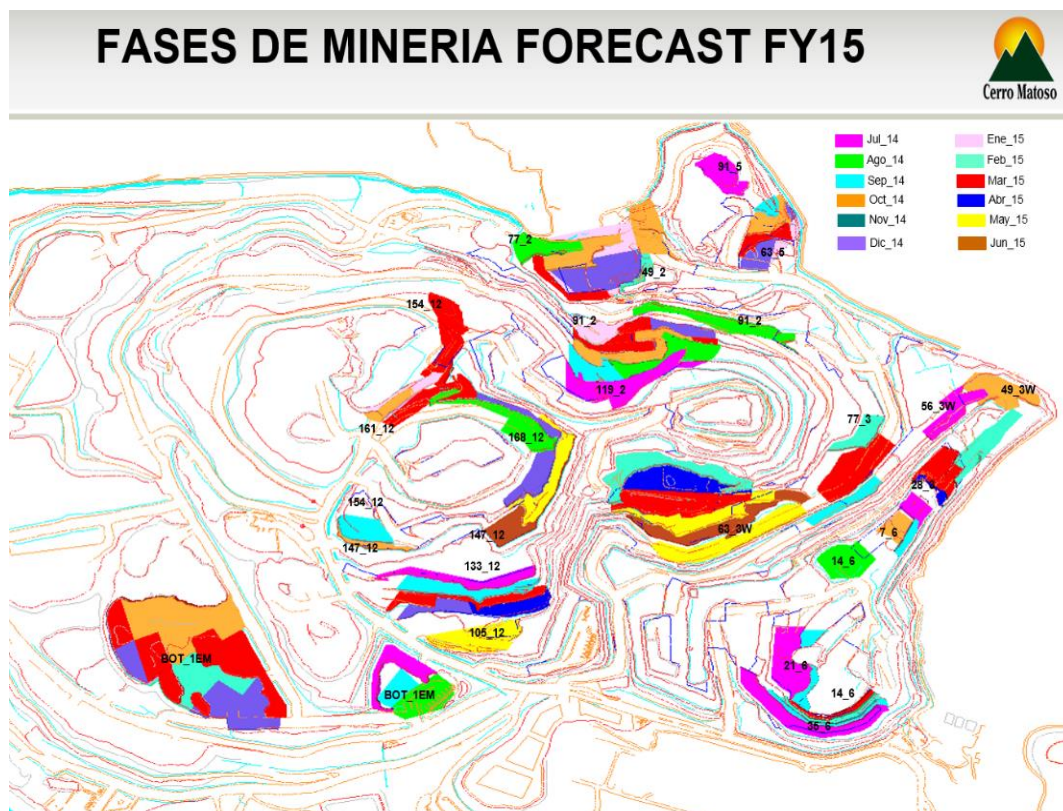


Figura 43. Plan de minería o Forecast del FY15 para Cerro Matoso S.A

Debido a que el desarrollo del proyecto se ejecuta en Enero – Febrero 2015 se restrieguen las zonas a minar a las siguientes fases:

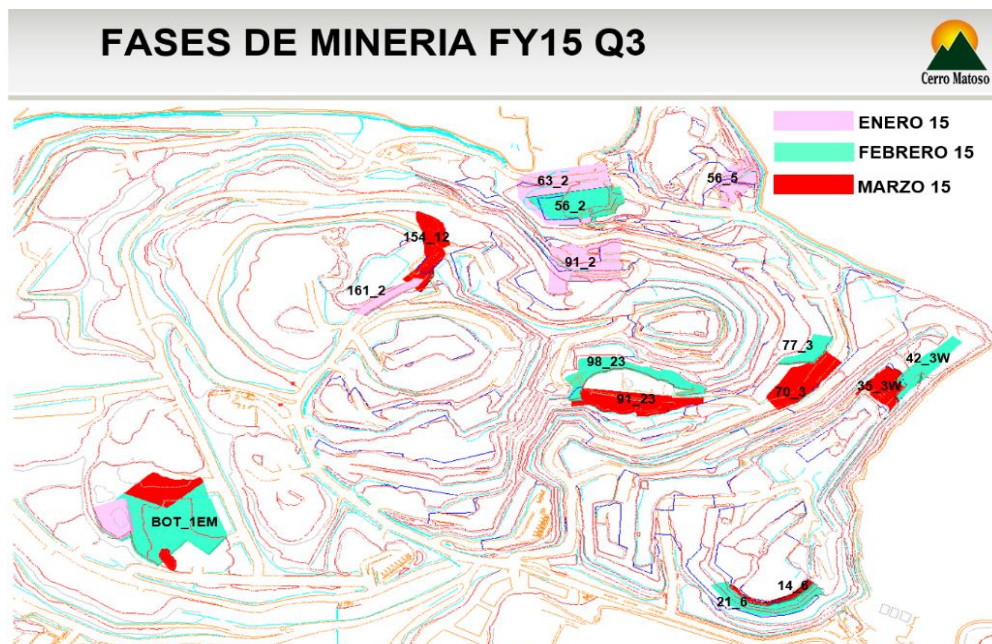


Figura 44. Fases de minería correspondientes a los meses de Enero, febrero y marzo de 2015 en Cerro Matoso S.A.

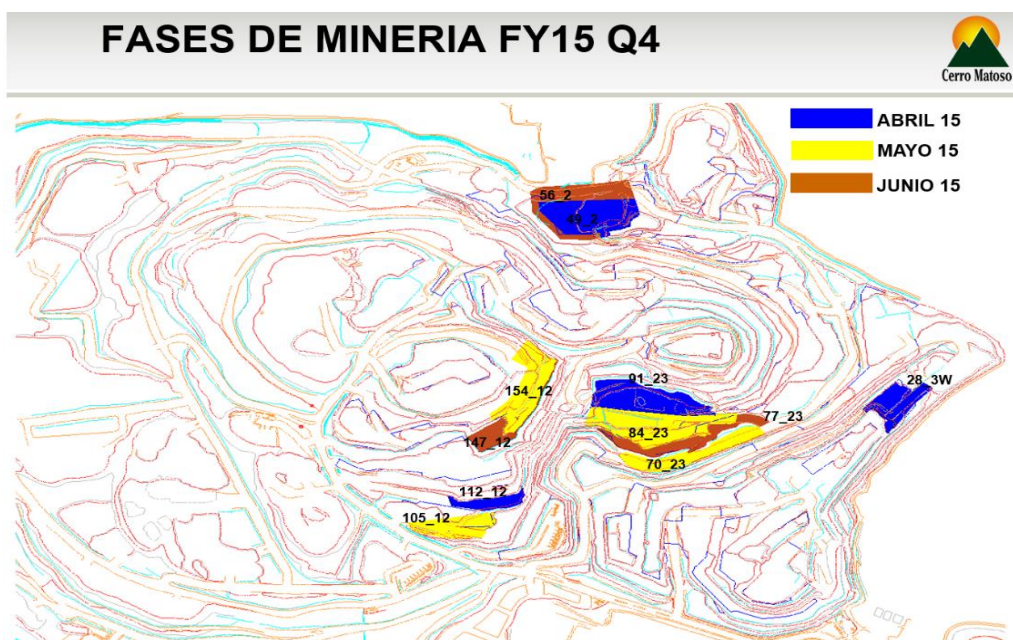






Figura 45. Fases de minería correspondientes a los meses de Abril, Mayo y Junio de 2015 en Cerro Matoso S.A.

7.2 AREAS EVALUADAS COMO ESTERIL

En la mina de cerro matoso S.A el grupo de geología mina ha dado una clasificación a los diferentes tipos de material que se pueden encontrar en campo:

Tipos de material: 13 tipos de material que definen el destino a los diferentes Stock. Ver tabla.

Marcación en campo: Se definen 4 tipos de material a marcar en campo según leyenda de colores como se muestra en la tabla:

	Amarillo	: Estéril
	Rojo	: Marginal (estéril alta ley)
	Azul	: Lean Ore
	Verde	: Mineral

		Nickel Grade					
		0- 0.6	0.6 - 1.0	1.0 - 1.3	1.3 -1.6	> 1.6	
Fe < 35	SiO ₂ /MgO Ratio	0 -1.4	1	3	6	9	12
		1.4 - 1.7		4			
		1.7-1.9		5	7	10	
		1.9 - 2.5			8	11	
		>2.5	2				

13 Any Ore above 35% Fe

Tabla 4. Clasificación de materiales en campo. Geología mina Cerro Matoso S.A

8. CARACTERIZACION LITOLOGICA – CAMPO

Para el desarrollo de trabajo en campo se seleccionaron 2 áreas de interés: banco 91.23 y 70.23.

En cada uno de los bancos se describieron los rasgos geológicos más importantes y se recolectaron una serie de muestras litológicas con el fin de comparar la información química resultante con la del Modelo de control de ley.

BANCO 91.23

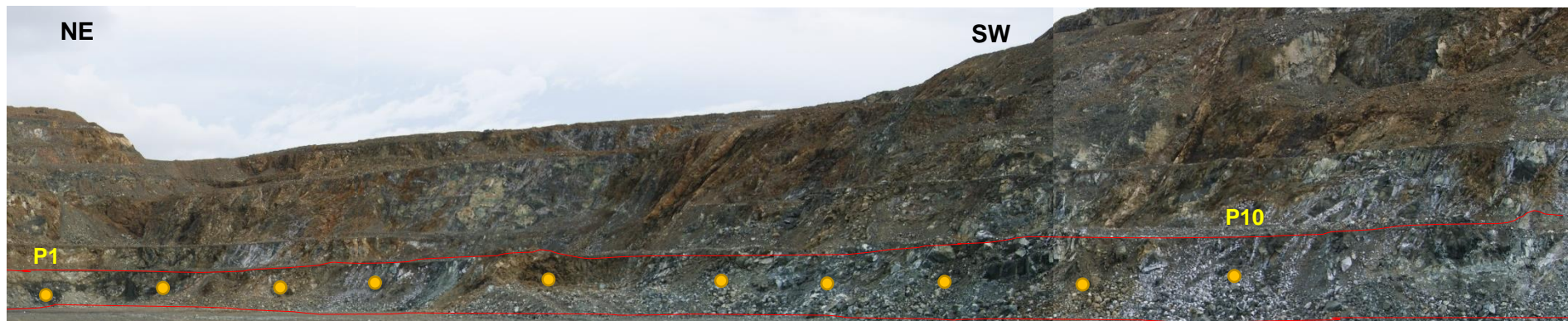


Figura 46. Panorámica del banco 91.23 de la mina Cerro Matoso S.A. Dimensiones del área de trabajo: aprox. 250m * 7m

PUNTOS DE RECOLECCION DE MUESTRAS

MAV_9123P1

- Coordenadas
Norte: 1313
Este: 1448
Altura: 94,96 msnm
- ID Muestra: 15470779

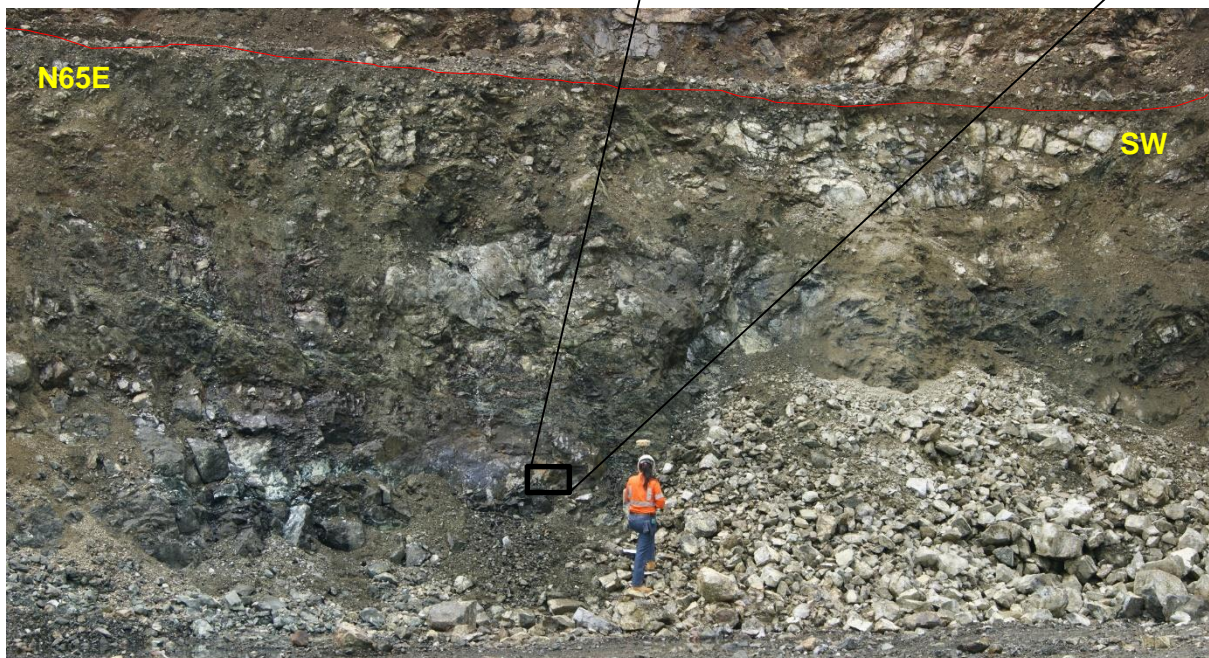


Figura 47. Banco 91.23, Punto de recolección P1

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

En el afloramiento sobre el cuerpo rocoso se encuentran abundantes venas de magnesita y calcita que no tienen espesores muy grandes, más bien oscilan entre 2cm hasta 10cm.

MAV_9123P2

- Coordenadas
Norte: 1317
Este: 1436
Altura: 95,07 msnm
- ID Muestra: 15470780



Figura 48. Banco 91.23, Punto de recolección P2

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

En afloramiento, se pueden observar 2 familias de diaclasas predominantes noreste y noroeste; La presencia de garnierita en este sector es casi nula.

MAV_9123P3

- Coordenadas
Norte: 1360
Este: 1432
Altura: 95 msnm
- ID Muestra: 15470781



Figura 49. Banco 91.23, Punto de recolección P3

- Descripción

Roca de color pardo amarillento, textura fanerítica, es de una densidad menor respecto al cuerpo anterior, esa roca se encuentra cortada por venas de cuarzo y de serpentina níquelífera o garnieita. Como minerales principales se encuentra la serpentina en 35%, smectita 25%, ortopiroxenos 10%, olivino 5%, goethita 10% y cuarzo 10% y otros minerales 5%

En afloramiento se observa un cuerpo rocoso bastante alterado cortado por venas de cuarzo que tienen espesores desde 10 a 30 cm y por venas de garnierita en alta proporción pero de menor espesor no sobrepasan los 10cm.

MAV_9123P4

- Coordenadas
Norte: 1377
Este: 1436
Altura: 93,90 msnm
- ID Muestra: 15470782

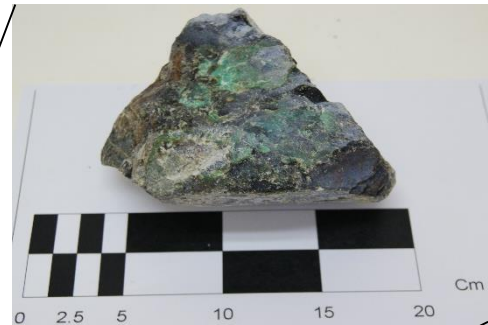


Figura 50. Banco 91.23, Punto de recolección P4



- Descripción

Roca de color gris oscuro, con tamaño de grano fino desarrollando una textura afanítica, es de alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5%, garnierita 2% y otros minerales en 3%.

En afloramiento se observa un cuerpo rocoso alterado superficialmente, y en algunas zonas se encuentra presencia de garnierita en alto porcentaje. Se observa altamente fracturado por la misma operación minera pero también es posible identificar 2 familias de diaclasas que predominan en sentido noreste noroeste.

MAV_9123P5

- Coordenadas
Norte: 1441
Este: 1457
Altura: 96,16 msnm
- ID Muestra: 15470783

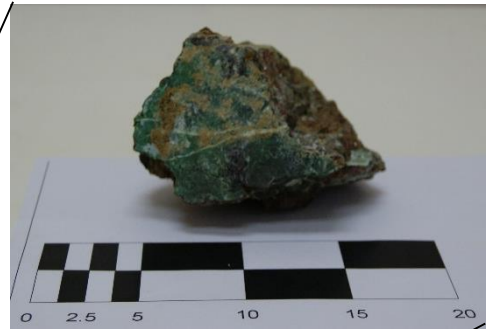


Figura 51. Banco 91.23, Punto de recolección P5



- Descripción

Roca de color pardo – rojizo, textura fanerítica, es de una densidad menor respecto al cuerpo anterior, esa roca se encuentra cortada por venas de cuarzo y de serpentina níquelífera o garnieita. Como minerales principales se encuentra la serpentina en 35%, smectita 25%, ortopiroxenos 10%, olivino 5%, goethita 10% y cuarzo 10% y otros minerales 5%

En afloramiento se observa un cuerpo rocoso alterado parcialmente, y altamente fracturado.

MAV_9123P6

- Coordenadas
Norte: 1483
Este: 1487
Altura: 95,6 msnm
- ID Muestra: 15470784

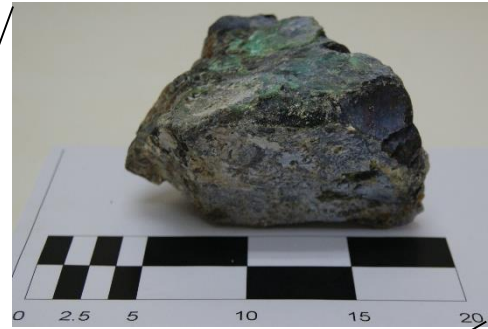
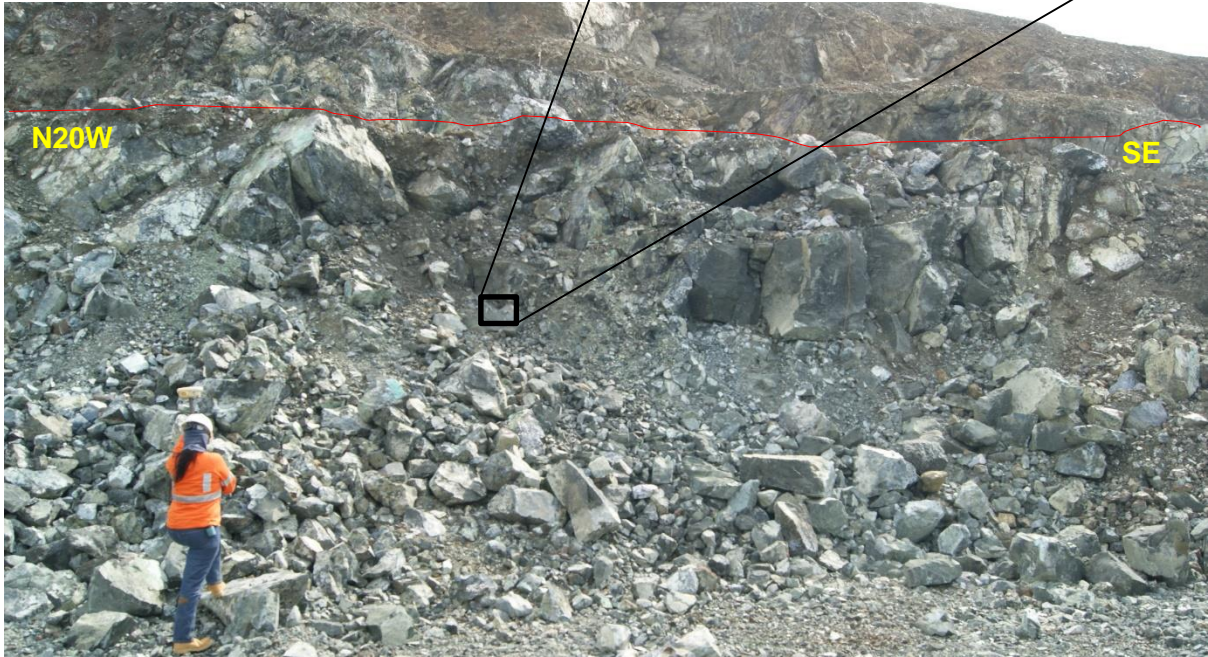


Figura 52. Banco 91.23, Punto de recolección P6



- Descripción

Roca de color verde oscuro, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 82%, ortopiroxenos 8%, serpentina en 5%, garnierita 1% y otros minerales 4%.

En el afloramiento se encuentran abundantes venas magnesita y calcita que no tienen espesores muy grandes, más bien oscilan entre 2cm y 10cm. La garnierita se encuentra en algunos sectores en porcentaje significativo. Debido al proceso de extracción minera se encuentra altamente fracturado.

MAV_9123P7

- Coordenadas
Norte: 1553
Este: 1500
Altura: 94 msnm
- ID Muestra: 15470785

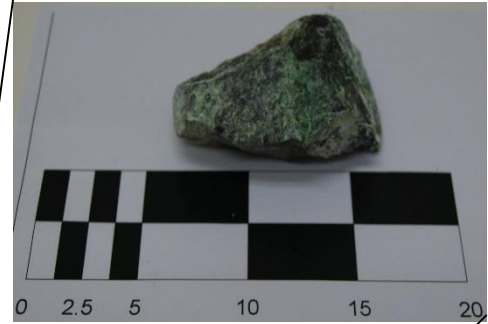


Figura 53. Banco 91.23, Punto de recolección P7

- Descripción

Roca de color verde oscuro a negro, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5%, garnierita 2% y otros minerales 3%.

En el afloramiento se encuentran abundantes venas magnesita que tienen espesores que oscilan entre 1 y 10cm. La garnierita se encuentra en algunos sectores en porcentaje significativo. Debido al proceso de extracción minera se encuentra altamente fracturado.

MAV_9123P8

- Coordenadas
Norte: 1566
Este: 1504
Altura: 93 msnm
- ID Muestra: 15470786

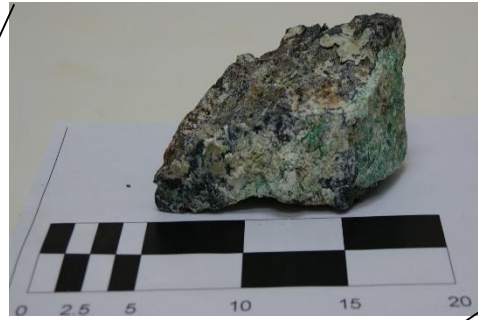


Figura 54. Banco 91.23, Punto de recolección P8

- Descripción

Roca de color verde oscuro a negro, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5%, garnierita 2% y otros minerales 3%.

En el afloramiento se encuentran venas de garnierita asociada con cuarzo que tienen espesores que oscilan entre 1 y 10cm. La garnierita diseminada se encuentra en algunos sectores en porcentaje significativo. Predomina una familia de diaclasas.

MAV_9123P9

- Coordenadas
Norte: 1599
Este: 1523
Altura: 95 msnm
- ID Muestra: 15470787

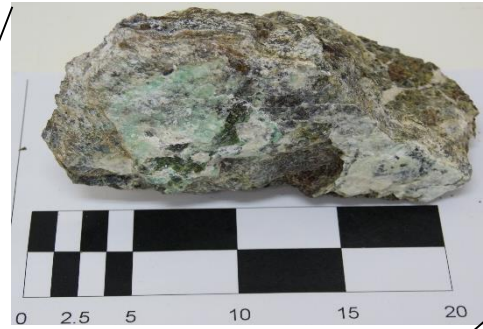


Figura 55. Banco 91.23, Punto de recolección P9



- Descripción

Roca de color pardo amarillento, textura fanerítica, es de una densidad menor respecto al cuerpo anterior, esa roca se encuentra cortada por venas de cuarzo y de serpentina níquelífera o garnieita. Como minerales principales se encuentra la serpentina en 35%, smectita 25%, ortopiroxenos 10%, olivino 5%, goethita 10% y cuarzo 10% y otros minerales 5%

En afloramiento se observa un núcleo rocoso bastante alterado cortado por venas de cuarzo que tienen espesores desde 10 a 50 cm y por venas de garnierita en alta proporción pero de menor espesor no sobrepasan los 10cm. Todo el sector se encuentra altamente fracturado y se visualizan principalmente 2 familias de diaclasas.

MAV_9123P10

- Coordenadas
Norte: 1600
Este: 1528
Altura: 93 msnm
- ID Muestra: 15470788

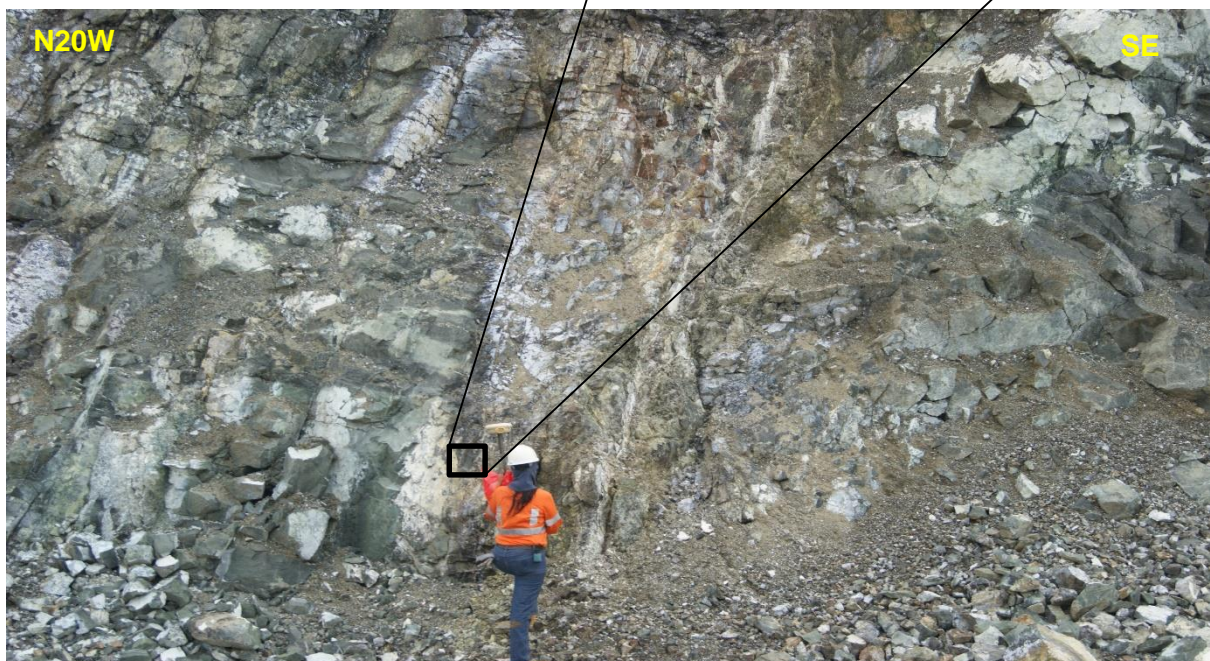
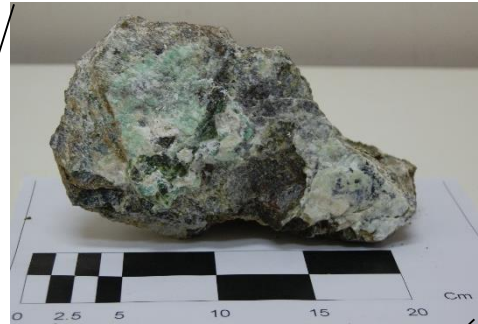


Figura 56. Banco 91.23, Punto de recolección P10

- Descripción

Roca de color pardo amarillento, textura fanerítica, es de una densidad menor respecto al cuerpo anterior, esa roca se encuentra cortada por venas de cuarzo y de serpentina níquelífera o garnierita. Como minerales principales se encuentra la serpentina en 35%, smectita 25%, ortopiroxenos 10%, olivino 5%, goethita 10% y cuarzo 10% y otros minerales 5%.

En afloramiento se observa un cuerpo rocoso bastante alterado cortado por venas de cuarzo que tienen espesores desde 10 a 20 cm y por venas de garnierita en alta proporción pero de menor espesor no sobrepasan los 10cm. Todo el sector se encuentra altamente fracturado y se visualizan principalmente 2 familias de diaclasas, hacia el centro se observa una zona de cizallamiento.

BANCO 70.23

Figura 57. Panorámica del banco 70.23 de la mina Cerro Matoso S.A. Dimensiones del área de trabajo: aprox. 250m * 7m

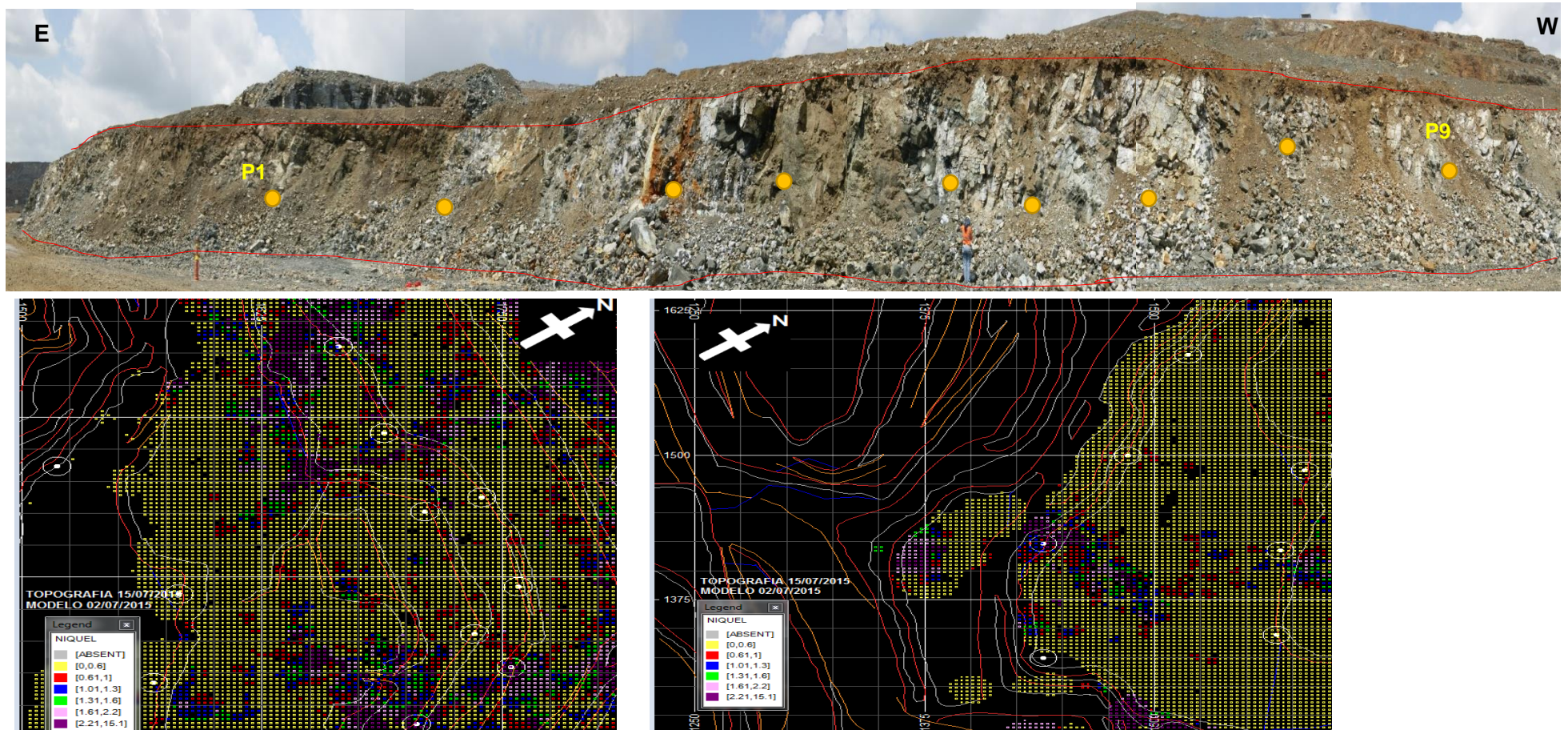


Figura 58. Evaluación en Datamine del primer segmento del banco 70.23 y 91.23.

MAV_7023P1

- Coordenadas
Norte: 1608,23
Este: 1711,24
Altura: 72 msnm
- ID Muestra:15470817



Figura 59. Banco 70.23, Punto de recolección P1

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

El afloramiento se encuentra bastante alterado y fracturado, predominan generalmente dos familias de diaclasas. Hacia el tope del banco se encuentra una capa de relleno de aproximadamente 1 metro de espesor.

MAV_7023P2

- Coordenadas
Norte: 1617
Este: 1699
Altura: 72 msnm
- ID Muestra:15470818

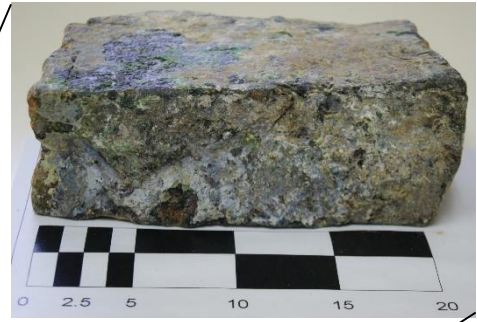


Figura 60. Banco 70.23, Punto de recolección P1

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

En el afloramiento se encuentra un núcleo de roca fresca con presencia de venas de garnierita con espesores hasta los 10 cm, hacia los costados se encuentra altamente alterado con un alto contenido de sílice.

MAV_7023P3

- Coordenadas
Norte: 1641
Este: 1688
Altura: 72 msnm
- ID Muestra:15470826



Figura 61. Banco 70.23, Punto de recolección P3

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

El afloramiento se ve dominado por dos familias de diaclasas con dirección noreste y noroeste. Se observan venas de cuarzo entre los 10 y 20 cm de espesor. Hacia el costado derecho se encuentra alterado en mayor proporción.

MAV_7023P4

- Coordenadas
Norte: 1636
Este: 1683
Altura: 72,9 msnm
- ID Muestra:15470819



Figura 62. Banco 70.23, Punto de recolección P4

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

El afloramiento se encuentra bastante alterado y fracturado, predominan generalmente dos familias de diaclasas. Hacia el tope del banco se encuentra una capa de relleno de aproximadamente 1 metro de espesor. Hacia el costado derecho se observa un contenido de garnierita diseminada significativo.

MAV_7023P5

- Coordenadas
Norte: 1648
Este: 1680
Altura: 73,1 msnm
- ID Muestra:15470820



Figura 63. Banco 70.23, Punto de recolección P5

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

El afloramiento se encuentra bastante alterado y fracturado, predominan generalmente dos familias de diaclasas. Hacia el tope del banco se encuentra una capa de relleno de aproximadamente 1 metro de espesor.

MAV_7023P6

- Coordenadas
Norte: 1670
Este: 1672
Altura: 74,2 msnm
- ID Muestra:15470821



Figura 64. Banco 70.23, Punto de recolección P6

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

El afloramiento se encuentra bastante alterado y fracturado, predominan generalmente dos familias de diaclasas. Hacia el tope del banco se encuentra una capa de relleno de aproximadamente 1 metro de espesor. Gran presencia de material rodado debido a el proceso de extracción minera.

MAV_7023P7

- Coordenadas
Norte: 1725
Este: 1645
Altura: 71,2 msnm
- ID Muestra:15470822

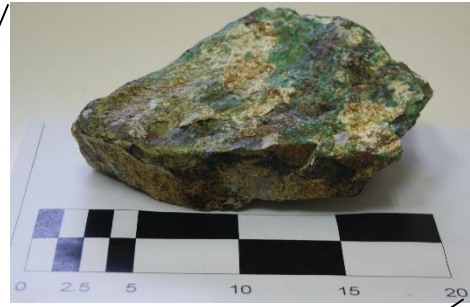


Figura 65. Banco 70.23, Punto de recolección P7

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

El afloramiento se ve dominado por dos familias de diaclasas con dirección noreste y noroeste. Se observan venas de cuarzo entre los 10 y 20 cm de espesor.

MAV_7023P8

- Coordenadas
Norte: 1744
Este: 1642
Altura: 72,5 msnm
- ID Muestra:15470823

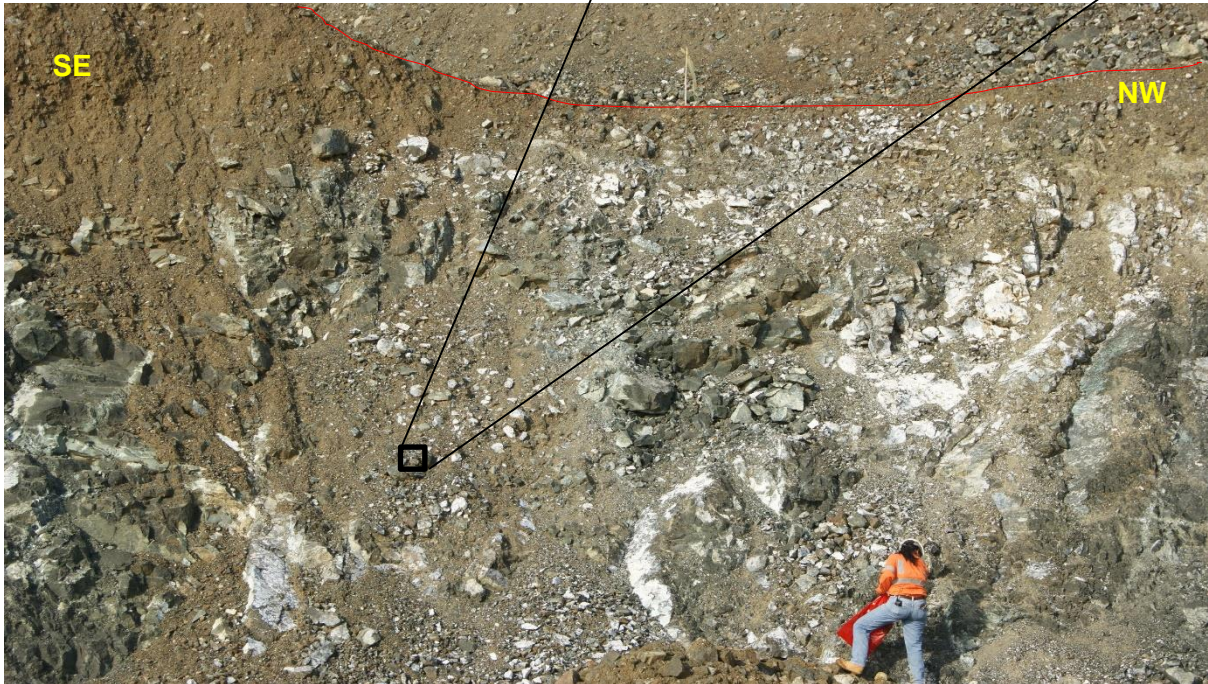


Figura 66. Banco 70.23, Punto de recolección P1

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

El afloramiento se encuentra bastante alterado y fracturado, predominan generalmente dos familias de diaclasas. Se observa gran contenido de sílice.

MAV_7023P9

- Coordenadas
Norte: 1764
Este: 1637
Altura: 72,4 msnm
- ID Muestra:15470825



Figura 67. Banco 70.23, Punto de recolección P1

- Descripción

Roca de color verde oscura a negra, tamaño de grano fino presentando una textura afanítica, alta densidad. Como minerales principales se encuentra olivino en 80%, ortopiroxenos 10%, serpentina en 5% y otros minerales en 5%.

El afloramiento se encuentra bastante alterado y fracturado, predominan generalmente dos familias de diaclasas. Se observa gran contenido de sílice y un porcentaje significativo de garnierita diseminada.

9. ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS

A todas las muestras seleccionadas en campo se llevaron al laboratorio con el fin de realizar el análisis químico y complementar con la información que se tiene en la base de datos del grupo de Geología mina en Datamine. Los resultados fueron los siguientes



UNIDAD DE NEGOCIOS MINA - CERRO MATOSO S.A Proyecto recuperación de Níquel MUESTREO BANCO 70.23

Por: Est. Melissa Vargas - Geóloga Hermelinda Peralta

PUNTO	COORDENADAS			ID MUESTRA	%Ni(s)	%Fe(s)	%MgO(s)	%SiO2(s)	%Al2O3(s)	%Co(s)	SiO2/MgO(s)	Fe/Ni(s)	Suma Oxidos(s)	Roca
	Norte	Este	Altura											
MAV_7023P1	1608	1711	72	15470817	0,60	5,70	35,37	43,36	0,70	0,01	1,23	9,49	89,40	60
					0,80	6,30	33,43	43,28	0,60	0,01	1,29	7,88	88,16	50
MAV_7023P2	1617	1699	72	15470818	0,61	6,10	36,38	42,19	0,80	0,01	1,16	9,98	90,04	60
					0,53	6,00	33,69	43,60	0,60	0,01	1,29	11,29	87,99	60
MAV_7023P3	1641	1688	72	15470726	1,16	5,70	27,81	51,42	1,10	0,01	1,85	4,92	91,10	50
					0,81	8,00	29,45	41,62	1,20	0,01	1,41	9,77	85,47	50
MAV_7023P4	1636	1683	73	15470819	0,50	8,30	30,30	39,81	1,20	0,01	1,31	16,65	84,60	50
					0,79	7,60	27,65	44,36	0,90	0,01	1,60	9,62	85,58	50
MAV_7023P5	1648	1680	73	15470820	0,90	6,60	30,11	43,31	0,90	0,01	1,44	7,36	85,63	50
					0,65	9,00	28,22	40,97	1,20	0,02	1,45	13,74	84,98	50
MAV_7023P6	1670	1672	74	15470821	0,27	6,50	30,02	46,23	1,00	0,01	1,54	23,51	87,39	50
					0,57	6,00	38,30	38,78	0,60	0,01	1,01	10,52	88,25	60
MAV_7023P7	1725	1725	71	15470822	0,34	5,60	34,85	42,48	0,50	0,00	1,22	16,47	87,11	60
					0,79	5,40	29,80	49,13	0,30	0,01	1,65	6,89	88,83	50
MAV_7023P8	1744	1642	73	15470823	0,58	5,10	26,16	54,07	0,60	0,00	2,07	8,73	89,86	50
					1,13	6,30	26,69	48,45	0,60	0,01	1,82	5,63	86,97	50
MAV_7023P9	1764	1637	72	15470825	0,55	5,70	32,48	44,73	0,70	0,01	1,38	10,37	87,62	50
					0,28	6,10	34,36	44,28	0,60	0,01	1,29	21,64	89,26	60

Tabla 5. Análisis químico de las muestras del banco 70.23



UNIDAD DE NEGOCIOS MINA - CERRO MATOSO S.A
Proyecto recuperación de Níquel
MUESTREO BANCO 91.23

Por: Est. Melissa Vargas - Geóloga Hermelinda Peralta

PUNTO	COORDENADAS			ID MUESTRA	%Ni(s)	%Fe(s)	%MgO(s)	%SiO2(s)	%Al2O3(s)	%Co(s)	SiO2/MgO(s)	Fe/Ni(s)	Suma Oxidos(s)	Roca
	Norte	Este	Altura											
MAV_9123P1	1313	1448	95	15470779	1,19	6,30	33,19	44,57	1,10	0,01	1,34	5,31	90,94	50
					1,29	7,60	30,92	41,13	0,90	0,01	1,33	5,92	86,29	50
MAV_9123P2	1317	1436	95	15470780	0,73	5,90	35,16	40,85	0,60	0,00	1,16	8,00	86,99	50
					0,22	5,80	37,19	41,72	1,20	0,00	1,12	26,60	90,00	60
MAV_9123P3	1360	1432	95	15470781	0,31	5,60	33,92	42,34	0,70	0,01	1,25	18,10	86,20	60
					1,13	6,50	31,32	43,29	0,70	0,01	1,38	5,76	86,61	50
MAV_9123P4	1377	1436	94	15470782	0,93	6,20	35,72	41,30	1,10	0,01	1,16	6,66	89,74	50
					0,45	6,50	37,04	40,27	0,40	0,01	1,09	14,37	88,26	60
MAV_9123P5	1441	1457	96	15470783	0,28	3,60	34,40	46,16	0,10	0,00	1,34	13,06	86,63	60
					0,87	6,20	33,13	43,27	0,30	0,01	1,31	7,14	88,33	50
MAV_9123P6	1483	1487	96	15470784	0,52	6,7	35,27	39,37	0,3	0,008	1,12	12,91	86,22	60
					0,81	9,20	28,67	44,06	1,50	0,02	1,54	11,35	89,79	50
MAV_9123P7	1552	1500	94	15470785	0,25	6,10	37,67	42,43	0,90	0,01	1,13	24,80	91,25	60
					0,99	8,00	27,67	44,55	0,90	0,01	1,61	8,15	86,83	50
MAV_9123P8	1566	1504	93	15470786	0,73	6,10	32,76	44,97	1,30	0,01	1,37	8,33	89,79	50
					0,79	6,70	31,62	42,58	0,90	0,01	1,35	8,57	86,48	50
MAV_9123P9	1599	1523	95	15470787	1,18	7,70	29,86	41,48	0,90	0,01	1,39	6,56	85,72	50
					0,68	8,20	31,41	40,34	1,00	0,01	1,28	12,01	86,11	50
MAV_9123P10	1600	1528	93	15470788	0,72	6,50	33,71	40,79	0,90	0,01	1,21	9,08	86,42	50
					0,66	8,70	27,05	40,67	1,30	0,01	1,50	13,13	82,98	50

Tabla 6. Análisis químico de las muestras del banco 91.23

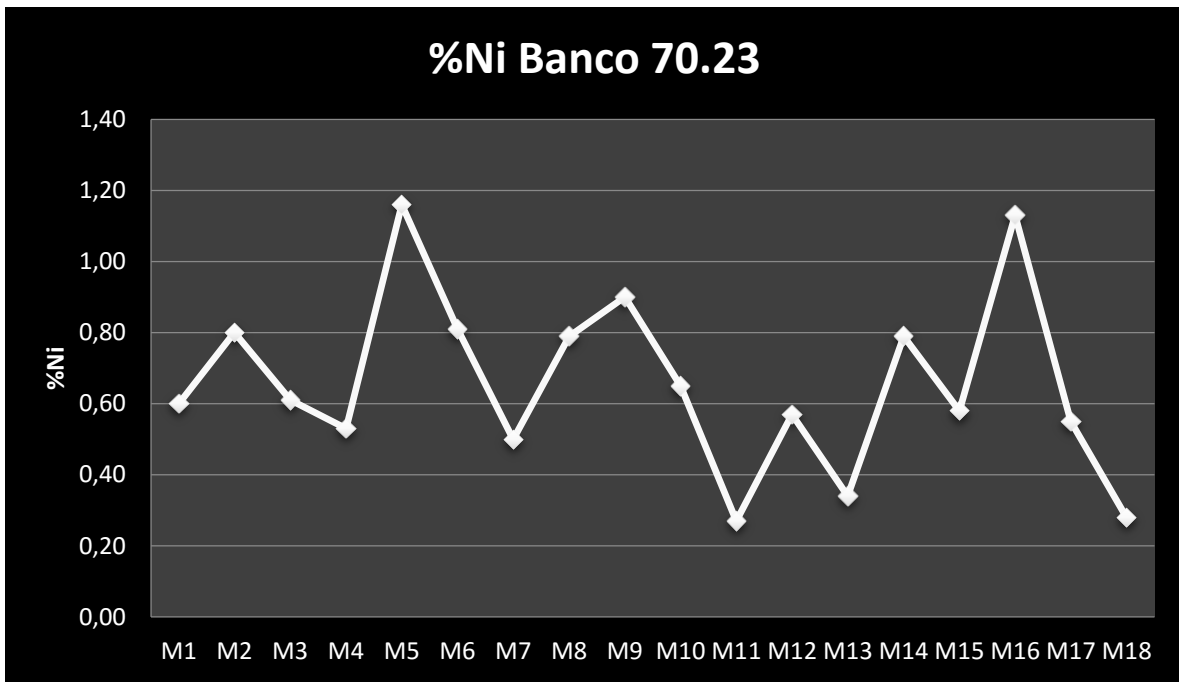


Figura 68. Datos químicos del banco 70.23. Se observa una zona inestable químicamente. Efecto garnierita

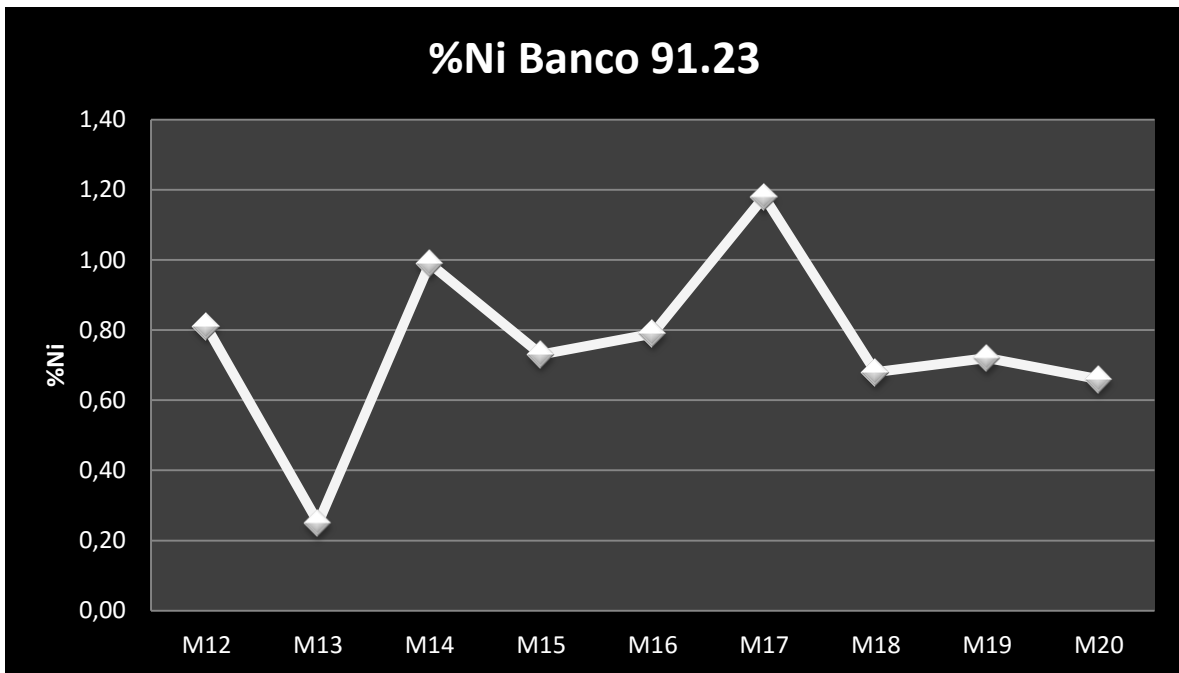


Figura 69. Datos químicos del banco 91.23. Se observa una zona inestable químicamente. Efecto garnierita

10. DISEÑO CONCEPTUAL DE EXPERIMENTO

El proceso productivo de Cerro Matoso S.A descrito anteriormente se basa principalmente en la construcción de la Súper-Pila, la cual tiene materiales provenientes únicamente de la mina y stocks. El diseño de experimento se creó con la ayuda de un grupo de profesionales conformado por: Ingeniero geólogo, ingeniero civil e ingeniero de minas, los cuales analizaron el desarrollo del proceso productivo actual de la mina y realizaron algunos ajustes pertinentes a nivel micro para llevar a cabo la separación del material fino presente en la roca estéril (el cual presenta un %Ni>1)

10.1 INSUMOS

Área de acopio: Lugar dentro de la mina, el cual se acondiciona para almacenar los diferentes tipos de roca extraídos de la mina y que cumplen con las condiciones para realizar los ensayos.



Figura 70. Sitio de acopio del material utilizado para realizar las pruebas piloto del proyecto. Área llamada Stock H en la mina, ubicado en el banco 91.2

Trituradora Lokotrack: Es el equipo encargado de triturar el material y a la vez clasificarlo por tamaño de partícula, como resultado final se obtiene 3 productos. La trituradora se compone de:

- Una malla con apertura de 50mm que realiza una clasificación preliminar SIN triturar el material pasante.
- Una trituradora de mandíbula de apertura variable que para las pruebas se fijó en 190mm (Igual al proceso productivo actual de CMSA)
- Una nueva malla que clasifica el material triturado también de 50mm
- Un conjunto de bandas transportadoras que desplazan el material dentro y fuera de la trituradora

- Un canal o canaleta que me permita evacuar el material de la trituradora



Figura 71. Trituradora lokotrack LT95S

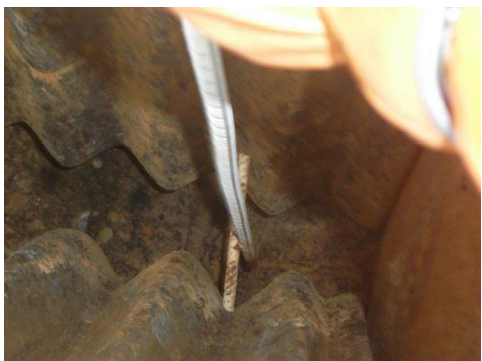


Figura 72. Herramienta de medición. Apertura de mandibular de la trituradora.



Figura 73. Adición de canal a la trituradora.



Figura 74. Malla instalada en la trituradora, con una apertura de 50mm

Retroexcavadora: Durante las pruebas se usó una retroexcavadora de 20 ton sobre orugas cuya capacidad en volumen es de 0.89m³ para cargar el material acopiado a la trituradora.



Figura 75. Retroexcavadora Hyundai 220LC-9S

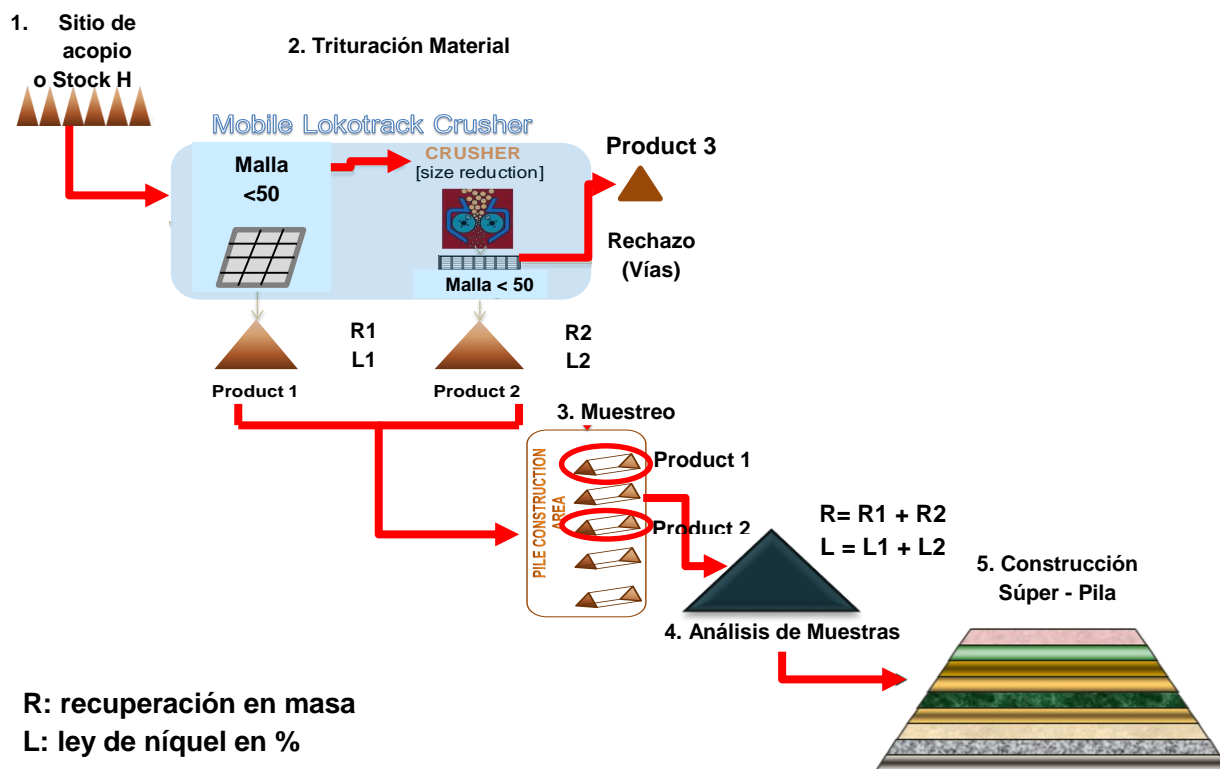


Figura 76. Diseño de experimento de inicio a fin.

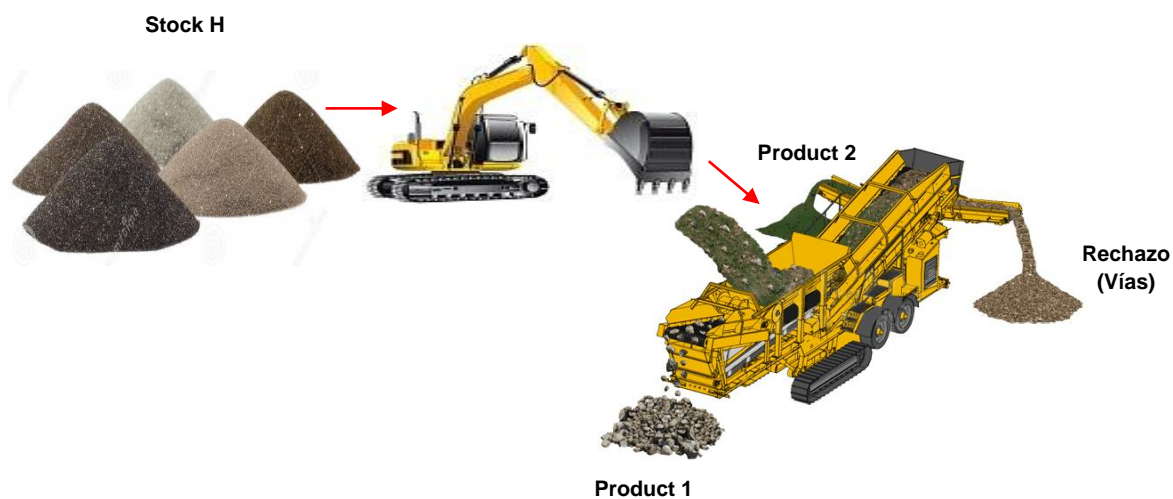


Figura 77. Primera fase del diseño de experimento.

10.2 PRUEBAS PILOTO

El desarrollo de las pruebas piloto se llevó a cabo en varias etapas:

10.2.1 ETAPA PRELIMINAR

10.2.1.1 Disposición de área de trabajo

Se realizó la acomodación del área dispuesta para realizar el montaje de los equipos y acopiar el material seleccionado para las pruebas.

En el banco 91 del pit 2 se dispuso el área de trabajo, tal como se muestra en la figura.



Figura 78. Acomodación del área de trabajo.

10.2.1.2 Montaje

En esta etapa se acondiciono la trituradora de acuerdo a los parámetros del diseño que se requerían para el desarrollo del proyecto.

1. Cambio de malla en la tolva de la trituradora

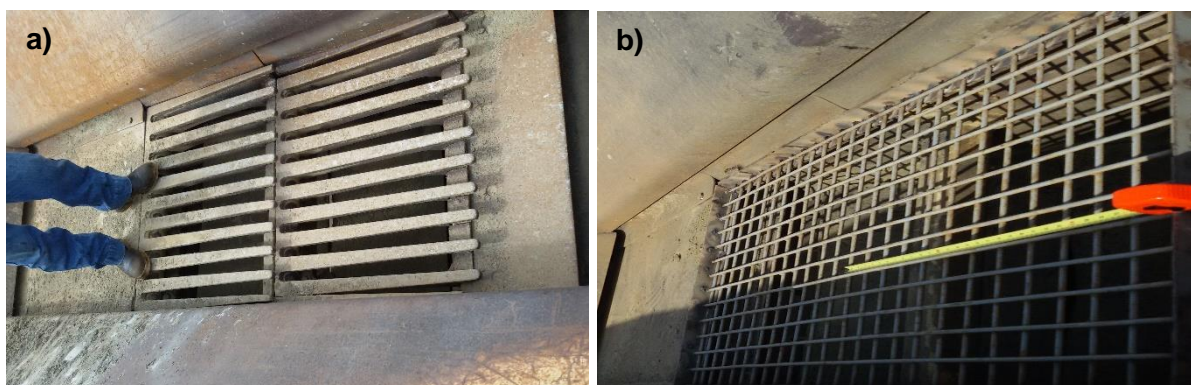


Figura 79. a) Estructura dentada con la que fue entregada la trituradora al proyecto. b) Malla instalada para el desarrollo del proyecto de 50 mm en la tolva de la Lokotrack.

2. Adicción de canaleta

a)



b)



Figura 80. a) Trituradora dispuesta con dos salidas o bandas. b) Trituradora dispuesta con 3 salidas de material (2 bandas y 1 canal).

10.2.1.3 Elaboración de procedimientos y formatos de control

En oficina se realizaron los procedimientos de las actividades llevadas a cabo en campo durante las pruebas piloto, requeridos por CMSA para poder ejecutar el proyecto teniendo en cuenta las normas de seguridad en la mina.

1. Procedimiento de trituración

El proceso de trituración de material extraído de la mina es la actividad más crítica e importante durante el desarrollo del proyecto por tanto se ejecutó la siguiente guía para llevar a cabo el proceso:

PROCEDIMIENTO DE OPERACION	
• PROCESO: TRITURACIÓN	
UNIDAD DE NEGOCIO: PLANEACION DE LA PRODUCCION	
FASE : PROYECTO RECUPERACIÓN DE NÍQUEL EN MATERIALES DE BAJA LEY	
SUBFASE (S) O SISTEMA (S): Pruebas piloto con materiales en el Stock H	
• REFERENCIA:	
RESULTADO ESPERADO: Resultados que demuestren recuperación de mineral	
RESPONSABLE(S): Rodrigo Guzmán Arteaga / Melissa Andrea Vargas Alvarez / Hermelinda Emelina Peralta García	
MATERIAL NECESARIO Y/O EQUIPO AUXILIAR Y HERRAMIENTA	
DESCRIPCION	CANT.
Retroexcavadora	1
Cargador	1
Trituradora Lokotrack	1
• MANEJO MATERIAL Y/O EQUIPO AUXILIAR Y HERRAMIENTA/PLANOS	
• ELEMENTOS DE SEGURIDAD	
LAS PERSONAS ENCARGADAS EN LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DEBEN UTILIZAR LOS SIGUIENTES ELEMENTOS DE PROTECCIÓN: CASCO, GAFAS DE SEGURIDAD, PROTECTORES AUDITIVOS, PROTECTOR RESPIRATORIO, GUANTES, CAPUCHA, TARJETA Y CANDADO.	
• ACCIONES CORRECTIVAS	
CUALQUIER FALLA ELECTRICA EN LA OPERACIÓN DEL EQUIPO (Trituradora Lokotrack), INFORME INMEDIATAMENTE A SUPERVISOR DEL PROYECTO.	
CUALQUIER Daño EN EL Diseño EXPERIMENTAL DE LA TRITURADORA INFORME A SUPERVISOR DEL PROYECTO	
TAREAS	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Verifique apertura correcta de la trituradora (7.5 pulg.) 2. Revise que las mallas adicionales en la trituradora se encuentren en buen estado 3. Compruebe que la trituradora se encuentre dispuesta en el lugar indicado de tal manera que se obtengan producto 1,2 y 3 (P1,P2,P3) por separado 4. Acopie material del stock H cerca al equipo que va alimentar la trituradora 5. Seleccione con la retro el material acopiado para las pruebas piloto 6. Alimente material seleccionado a la tolva de la trituradora 7. En la medida que el espacio donde se va acopiar los diferentes productos se encuentre lleno debe remanejar el material a lugar establecido con cargador o retro, y posteriormente serán llevados al patio de trituración del proceso productivo de CMSA 	

		PROCEDIMIENTO DE OPERACION				
		PROCESO : TRITURACIÓN				
		UNIDAD DE NEGOCIO: PLANEACION DE LA PRODUCCION				
FASE: PROYECTO RECUPERACION DE NIQUEL EN MATERIALES DE BAJA LEY						
SUBFASE (S) O SISTEMA (S): Pruebas piloto con materiales en el stock H						
REFERENCIA:						
RESULTADO ESPERADO: Resultados que demuestren recuperación de mineral						
RESPONSABLE(S): Rodrigo Guzmán Arteaga / Melissa Andrea Vargas Alvarez / Hermelinda Emelina Peralta García						
TAREAS	• COMO HACER	• POR QUE HACER	QUIEN EJECUTA	PELIGROS	PREVENCION.	
1) Verifique apertura correcta de la Trituradora (7.5 pulg.)	Inserte manualmente en la trituradora medidor de apertura correspondiente	Para cumplir con el diseño del experimento	Operador de la trituradora	<ul style="list-style-type: none"> No eficiencia en los resultados del proyecto Caída del personal 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de riesgos. Realizar revisión continua 	
2) Revise que las mallas adicionadas en la trituradora se encuentren en buen estado	Observe mallas dispuestas en la trituradora	Para cumplir con el diseño del experimento	Operador de la trituradora / MV / HP	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación de los productos (p1,p2,p3) No representatividad de los productos Caída del personal 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de riesgos. Realizar revisión continua 	
3) Compruebe que la trituradora se encuentre dispuesta en el lugar indicado de tal manera que se obtengan producto 1,2 y 3 (P1,P2,P3) por separado	Ubique la trituradora en sitio indicado por supervisor del proyecto	Para no contaminar los materiales y tener una caracterización representativa	Operador de la trituradora	<ul style="list-style-type: none"> Atropellamiento Caída de material Contaminación de muestras No representatividad del material 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de riesgos. Coordinación con supervisor proyecto. 	
4) Acopie material del stock H cerca al equipo que va alimentar la trituradora	Tome material del stock H con un cargador y deposítelo en el lugar de acopio cercano a la retro	Se requiere disponibilidad de material cercano a la retro para poder alimentar la trituradora	Operador de cargador -Mina	<ul style="list-style-type: none"> Atropellamiento Golpes a equipo Acopiar material no requerido 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de riesgos Balizar con color amarillo material que no se necesita acopiar. 	
5) Seleccione con la retro el material acopiado para las pruebas piloto	Tome el material indicado para la trituración	Se requiere alimentar a la trituradora el material que tiene características litológicas específicas del Stock H	Operadores de Retro – Concreto	<ul style="list-style-type: none"> Caídas Golpes a equipo 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de riesgos Revisar sitio de acopio continuamente 	

		PROCEDIMIENTO DE OPERACION				
		PROCESO : TRITURACIÓN				
		UNIDAD DE NEGOCIO: PLANEACION DE LA PRODUCCION				
FASE: PROYECTO RECUPERACION DE NIQUEL EN MATERIALES DE BAJA LEY						
SUBFASE (S) O SISTEMA (S): Pruebas piloto con materiales en el stock H						
REFERENCIA:						
RESULTADO ESPERADO: Resultados que demuestren recuperación de mineral						
RESPONSABLE(S): Rodrigo Guzmán Arteaga / Melissa Andrea Vargas Alvarez / Hermelinda Emelina Peralta García						
•						
TAREAS	• COMO HACER	• POR QUE HACER	QUIEN EJECUTA	PELIGROS	PREVENCION.	
6) Alimente material seleccionado a la tolva de la trituradora	Tome el material indicado y deposítelo en la tolva de la trituradora	Para obtener los respectivos productos (p1,p2,p3)	Operador de retro - Concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Caídas • Atrapamiento • Golpes • Sobre esfuerzo. • Material particulado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de riesgos • Uso de EPP. 	
7) Remanejar materiales productos (p1,p2,p3)	Tome material del producto específico (p1,p2,p3) y acópielo en lugar indicado por supervisor proyecto	Porque se requiere evacuar espacio a medida que se va triturando	Operador de cargador - ,Mina	<ul style="list-style-type: none"> • Atropellamientos • Golpes 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de riesgos • Coordine con supervisor proyecto el remanejo. 	

2. Procedimiento de muestreo

Actividad diaria crítica en campo por la operación de maquinaria pesada, por lo cual se desarrolló la siguiente guía de manejo en la mina.

PROCEDIMIENTO DE OPERACION					
PROCESO: MUESTREO					
UNIDAD DE NEGOCIO: PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN					
FASE : PROYECTO RECUPERACIÓN DE NIQUEL EN MATERIALES DE BAJA LEY					
SUBFASE (S) O SISTEMA (S): Pruebas piloto en materiales del Stock H					
11. REFERENCIA:					
RESULTADO ESPERADO: Realizar análisis químico a los diferentes materiales obtenidos del proceso de trituración					
RESPONSABLE(S): Rodrigo Guzmán Arteaga / Melissa Vargas Alvarez / Hermelinda Peralta García.					
MATERIAL NECESARIO Y/O EQUIPO AUXILIAR Y HERRAMIENTA					
	DESCRIPCION	CANT.		DESCRIPCION	CANT.
	Bolsas plásticas rojas	50			
	Palas	2			
	Stickers 9030	50			
	Bolsas plásticas de 1lb	50			
12. MANEJO MATERIAL Y/O EQUIPO AUXILIAR Y HERRAMIENTA					
Mantener orden y aseo en el área de trabajo. Coordinación de actividades con personal y equipos auxiliares.					
13. ELEMENTOS DE SEGURIDAD					
Las personas encargadas en la operación de los equipos y/o herramientas deben utilizar los siguientes elementos de protección: casco, gafas de seguridad, protección respiratoria, protectores auditivos, guantes, capucha, tarjeta y candado.					
14. ACCIONES CORRECTIVAS					
Cualquier anomalía en el diseño de experimento comunique a supervisor proyecto					
TAREAS					
<ol style="list-style-type: none"> 1) Recolecte Producto 1 y 2 por separado 2) Traslade Productos 1 y 2 al Patio de trituración 3) Procese Productos 1 y 2. 4) Realice seguimiento a las bandas en XMII p1 y p2. 5) Recolecte Producto 3 6) Traslade Producto 3 a sitio de acopio definido 7) Tome X muestras representativas por X wmt 8) Empaque las muestras como 9030 9) Lleve muestras al laboratorio 					

		PROCEDIMIENTO DE OPERACION				
		PROCESO: MUESTREO				
		UNIDAD DE NEGOCIO: PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN				
FASE: PROYECTO RECUPERACIÓN DE NIQUEL						
SUBFASE (S) O SISTEMA (S): Pruebas piloto de material en Stock H						
REFERENCIA:						
RESULTADO ESPERADO: Realizar análisis químico						
RESPONSABLE(S): Rodrigo Guzmán Arteaga / Melissa Vargas Alvarez / Hermelinda Peralta García						
15.						
TAREAS	16. COMO HACER	17. POR QUE HACER	QUIEN EJECUTA	PELIGROS	PREVENCION.	
1) Recolte Producto 1 y 2 por separado	Ubique estos productos en el sitio de acopio definido.	Para diferenciar los productos y tener un análisis representativo	Operador de equipo móvil	<ul style="list-style-type: none"> Atropellamiento Contaminación del material de la pila. 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de riesgos Coordinación de actividades con personal del área. 	
2) Traslade Productos 1 y 2 al Patio de trituración	Usando un equipo móvil (cargador) deposite el material (p1,p2) en un camión de cargue	Para poder llevarlos al patio de trituración	Operador de cargador y equipo cargue - Mina	<ul style="list-style-type: none"> Caídas Atropellamiento Golpes equipo 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de riesgos Uso de EPP Coordinación de actividades con supervisor de operación. 	
3) Procese Productos 1 y 2	1. Hacer contacto con A100 para saber disponibilidad del patio o ingresar el material directo	Para obtener muestreo automático de p1,p2.	A100	<ul style="list-style-type: none"> Caídas Atrapamiento Golpes equipos 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de riesgos Uso de EPP Coordinación de actividades con personal del área 100. 	
4) Realice seguimiento a las bandas en XMII p1 y p2.	1. Ingresar en línea a XMII	Obtener información química de las muestras de p1, p2.	MV / HP	<ul style="list-style-type: none"> Confusión en el nombre de las bandas 	<ul style="list-style-type: none"> Realizar seguimiento 	

		PROCEDIMIENTO DE OPERACION				
		PROCESO: MUESTREO				
		UNIDAD DE NEGOCIO: PLANEACIÓN DE LA PRODUCCIÓN				
FASE: PROYECTO RECUPERACIÓN DE NIQUEL						
SUBFASE (S) O SISTEMA (S): Pruebas piloto de material en Stock H						
REFERENCIA:						
RESULTADO ESPERADO: Realizar análisis químico						
RESPONSABLE(S): Rodrigo Guzmán Arteaga / Melissa Vargas Alvarez / Hermelinda Peralta García						
15.						
TAREAS	16. COMO HACER	17. POR QUE HACER	QUIEN EJECUTA	PELIGROS	PREVENCION.	
5) Recolte Producto 3	1. Ubique producto 3 en el sitio de acopio definido.	Para diferenciar el p3 de p1, p2.	Operador cargador - Mina	<ul style="list-style-type: none"> • Atropellamiento • Golpes • Contaminación o mezcla de Material de diferentes productos 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de riesgos • Uso de EPP • Coordinación del movimiento con supervisor proyecto 	
6) Traslade Producto 3 a sitio de acopio definido	Usando un equipo móvil (cargador) deposite el material en lugar de acopio definido por supervisor proyecto.	Para realizar muestreo manual	Operador de cargador - Mina	<ul style="list-style-type: none"> • Caídas • Atropellamiento • Golpes equipo 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de riesgos • Uso de EPP • Coordinación de actividades con supervisor de operación. 	
7) Tome X muestras representativas por X wmt	Del sitio donde se acopia el material tome muestras de p3	Para tener representatividad del p3 (rechazo)	MV / HP	<ul style="list-style-type: none"> • Muestreo con un error alto 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar seguimiento al muestreo • Uso de EPP 	
8) Empaque las muestras como 9030	1. Guarde muestra en bolsa de color rojo 2. Inserte un stiker en bolsa transparente 3. Deposítelo en la bolsa roja	Para cumplir estándar de CMSA	MV / HP	<ul style="list-style-type: none"> • Mala Identificación de las muestras 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de EPP • Verificación de la marcación de las muestras 	
9) Lleve muestras al laboratorio	Transportar en vehículo liviano muestras al laboratorio	Para realizar el análisis químico de las muestras	MV / HP	<ul style="list-style-type: none"> • Perdida de muestras 	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento en la entrega de las respectivas muestras al laboratorio 	

3. Formatos de control

Para realizar el control del tonelaje que se dispone en el stock H se dispone del siguiente formato:

Producción Origen/Destino - Material

Día	Origen	Descarga	Material	Toneladas	Num.Cargas	Ni	Fe	MgO	SiO2	Al2O3	Co	S	RESPONSABLE	TURNO

10.2.2 ETAPA EJECUCION

10.2.2.1 Muestreo del Stock H

Para dar inicio a las pruebas se realizó un muestreo en el stock H, con el fin de rectificar y reafirmar información de los análisis químicos obtenidos en la caracterización descrita anteriormente.

Por tanto se realizó una malla de muestreo de 6 x 4 sobre las 10.000 toneladas acopiadas y además se llevó acabo un muestreo aleatorio sobre el Stock.

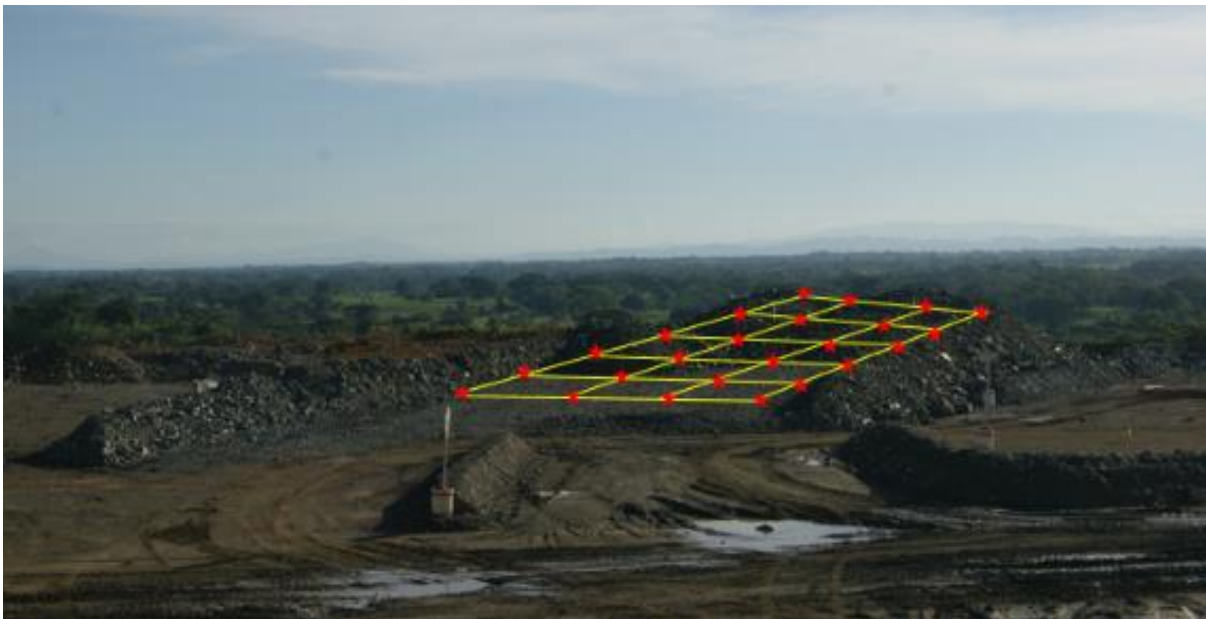


Figura 81. Malla de muestreo sobre el Stock H (6x4).

Análisis químico del muestreo



UNIDAD DE NEGOCIOS MINA - CERRO MATOSO S.A Proyecto recuperación de Níquel MUESTREO STOCK H

Por: Est. Melissa Vargas - Geóloga Hermelinda Peralta

ID Lims	ORIGEN	%Ni(s)	%Fe(s)	%MgO(s)	%SiO2(s)	%Al2O3(s)	%Co(s)	SiO2/MgO(s)	Fe/Ni(s)	Suma Oxidos(s)	Roca
15470631	Stock H	0,27	5,60	34,79	45,59	0,90	0,005	1,31	20,32	91,06	60
15470632	Stock H	1,16	5,70	27,81	51,42	1,10	0,006	1,85	4,92	91,1	50
15470633	Stock H	0,31	5,60	33,92	42,34	0,70	0,005	1,25	18,10	86,2	60
15470634	Stock H	0,58	5,10	26,16	54,07	0,60	0,002	2,07	8,73	89,86	50
15470635	Stock H	0,55	5,70	32,48	44,73	0,70	0,005	1,38	10,37	87,62	50
15470637	Stock H	0,60	5,70	35,37	43,36	0,70	0,005	1,23	9,49	89,4	60
15470638	Stock H	0,28	6,10	34,36	44,28	0,60	0,006	1,29	21,64	89,26	60
15470639	Stock H	0,80	6,30	33,43	43,28	0,60	0,006	1,29	7,88	88,16	50
15470640	Stock H	0,79	5,40	29,80	49,13	0,30	0,006	1,65	6,89	88,83	50
15470641	Stock H	0,34	5,60	34,85	42,48	0,50	0,003	1,22	16,47	87,11	60
15470642	Stock H	1,19	6,30	33,19	44,57	1,10	0,006	1,34	5,31	90,94	50
15470643	Stock H	0,53	6,00	33,69	43,60	0,60	0,006	1,29	11,29	87,99	60
15470644	Stock H	0,61	6,10	36,38	42,19	0,80	0,006	1,16	9,98	90,04	60
15470645	Stock H	1,65	6,50	31,16	44,70	1,10	0,009	1,43	3,96	89,63	50
15470646	Stock H	1,24	7,00	30,28	44,26	1,00	0,009	1,46	5,63	88,38	50
15470648	Stock H	1,20	6,00	30,80	46,77	0,90	0,007	1,52	4,97	89,83	50
15470650	Stock H	0,78	6,10	36,60	41,78	1,00	0,006	1,14	7,88	90,68	50
15470601	StockH	0,87	6,40	33,29	42,57	1,30	0,006	1,28	7,36	90,71	50
15470602	Stock H	0,93	6,20	35,72	41,30	1,10	0,007	1,16	6,67	89,02	50
15470603	Stock H	1,22	7,00	29,32	45,04	1,90	0,007	1,54	5,74	91,01	50
15470604	Stock H	1,09	6,30	31,73	43,64	1,40	0,006	1,38	5,78	88,65	50
15470605	Stock H	1,01	6,30	30,72	43,40	1,10	0,007	1,41	6,24	90,89	50
15470772	Stock H	0,96	7,60	32,95	41,04	0,40	0,011	1,25	7,92	89,37	60
15470773	Stock H	1,16	6,30	32,64	41,80	0,70	0,005	1,28	5,43	89,65	50
15470774	Stock H	0,73	5,90	35,16	40,85	0,60	0,004	1,16	8,08	91,6	60
15470798	Stock H	1,04	6,50	30,89	43,43	0,50	0,007	1,41	5,42	89,98	50

Tabla 7. Datos de análisis químico de las muestras tomadas en campo al Stock H.

10.2.2.2 Trituración y clasificación del material rocoso dispuesto en el Stock H

Con los materiales extraídos de la mina, previamente muestreados y ubicados en el stock H, se procede a la alimentación del material rocoso a la trituradora transportado por una retroexcavadora Hyundai 220LC-9S.



Figura 82. Trituradora Lokotrack dispuesta en el área de trabajo

De la trituradora se obtiene tres productos: El primer producto (**P1**) es el material rocoso pasante de la malla de 50mm que se encuentra sobre la tolva de la Lokotrack (material SIN triturar), el segundo producto (**P2**) es el material rocoso triturado que pasa por la segunda malla interna de la Lokotrack de 50mm y por último el tercer producto (**P3**) es el material triturado retenido en la malla interna del equipo.



Figura 83. Salida de materiales de la trituradora. Se observa salida de Producto 1 y 3.



Figura 84. Salida de materiales de la trituradora. Se observa salida de Producto 2

10.2.3 ETAPA MUESTREO

Durante el día a día de las pruebas, al final de la jornada se recolectaban aproximadamente 6 muestras, lo que corresponde a 2 muestras por producto de clasificación.

Al finalizar el primer Set de pruebas se obtuvieron los siguientes resultados en bandas que se muestrearon en cada producto de 1200 Toneladas cada una:

ID Lims	Material	%Ni(s)	%Fe(s)	%MgO(s)	%SiO2(s)	%Al2O3(s)	%Co(s)	SiO2/MgO(s)	Fe/Ni(s)	Suma Oxid	Roca
15473279	Producto 1	1,42	6	29,53	43	0,7	0,005	1,46	4,19	85,65	50
15473280	Producto 1	1,22	6,3	31,03	42,23	0,6	0,004	1,36	5,17	86,08	50
15473281	Producto 1	1,3	6,4	31,02	42,92	0,7	0,007	1,38	4,89	86,98	50
15473282	Producto 1	1,16	6,7	30,23	43,8	1,2	0,006	1,45	5,72	87,46	50
15473289	Producto 1	1,35	6,3	26,77	47,65	0,9	0,008	1,78	4,7	87,42	50
15473290	Producto 1	1,12	6,5	30,56	44,11	0,7	0,005	1,44	5,8	87,69	50
15473297	Producto 1	0,83	6,3	32,95	42,71	0,8	0,004	1,3	7,56	87,61	50
	Promedio	1,20	6,36	30,30	43,77	0,80	0,01	1,45	5,43		
	%Recuperación en Masa	35%									

ID Lims	Material	%Ni(s)	%Fe(s)	%MgO(s)	%SiO2(s)	%Al2O3(s)	%Co(s)	SiO2/MgO(s)	Fe/Ni(s)	Suma Oxid	Roca
15473291	Producto 2	1,2	6,2	29,74	44,35	0,7	0,006	1,49	5,19	87,21	50
15473292	Producto 2	1,08	6,3	30,4	44	0,6	0,004	1,45	5,82	87,11	50
15473298	Producto 2	0,99	6,5	31,54	43,24	0,8	0,005	1,37	6,56	87,52	50
	Promedio	1,09	6,33	30,56	43,86	0,70	0,01	1,44	5,86		
	%Recuperación en Masa	25%									

ID Lims	Material	%Ni(s)	%Fe(s)	%MgO(s)	%SiO2(s)	%Al2O3(s)	%Co(s)	SiO2/MgO(s)	Fe/Ni(s)	Suma Oxid	Roca
15473293	Producto 3	0,41	6,7	35,81	40,86	0,4	0,003	1,14	16,12	88,34	60
15473294	Producto 3	0,32	7,2	30,79	46,22	0,5	0,005	1,5	22,1	89,46	50
15473299	Producto 3	0,33	6,6	35,89	40,46	0,4	0,004	1,13	20,02	87,81	60
	Promedio	0,35	6,83	34,16	42,51	0,43	0,00	1,26	19,41		
	%Recuperación en masa	40%									

9. DISCUSION Y CONCLUSIONES

1. Según los resultados obtenidos de la descripción litológica, el cuerpo rocoso del área de trabajo hace parte del grupo de rocas ultramáficas, presentando generalmente un 82% de Olivino, 10% de Ortopiroxenos, 5% de serpentina y 3% de minerales accesorio, como característica para resaltar de este sector es la alta presencia de garnierita, tanto diseminada como en pequeñas vetillas.
Generalmente esta área para Cerro Matoso S.A dentro de su clasificación en campo, sería evaluada por el geólogo de Pit como una zona de “estéril”.
Por otro lado, en los análisis químicos esta misma área de trabajo arrojaba valores de %Ni superiores al 1.0%, lo cual en la clasificación de campo de CMSA clasificaría como una zona de “mineral”.
Por tal razón estaríamos concluyendo que para el desarrollo efectivo de este proyecto es necesario contar con áreas donde encontremos Peridotita asociada a garnierita.
2. En las pruebas piloto de trituración del material rocoso del Stock H, se obtuvo: P1 recupero níquel con química de 1.2% y recupero en masa el 35%, P2 1,1%Ni con 25% y P3 0.3%Ni con 40%.
Los resultados demuestran que es factible recuperar la mayor cantidad de níquel en el material sin triturar, lo que requiere ahorro de energía para el proceso productivo de Cerro Matoso.
3. Llevar el níquel en el rechazo hasta sus niveles mínimos (hasta 0.3% Ni) implica menor coeficiente de pérdida por minería para Cerro Matoso, ya que a los botaderos iría material totalmente estéril.
4. Cambiar el diseño del proceso productivo actual de Cerro Matoso por el diseño experimental propuesto tendría varios ajustes, tanto así que sacaría de la línea el proceso de upgrading post- construcción de la Súper pila y se realizaría antes de.

10. RECOMENDACIONES

1. Ejecutar simulaciones financieras utilizando los resultados de recuperación de níquel con el fin de saber la rentabilidad exacta del proyecto para la compañía.
2. Realizar un set de ensayos para el primer trimestre del FY16, fortaleciendo el grupo de trabajo con un ingeniero metalúrgico.

BIBLIOGRAFIA

- BHP BILLITON. 2008. QA/QC for sampling and analysis toolkit. Australia
- BHP BILLITON. Cerro Matoso S.A 2013. Sistema para la generación de datos del modelo QA/QC en Mina.
- CABALLERO E., 2012. *Predicción Multivariable De Recursos Recuperables*. Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas. Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas, Universidad De Chile, P. 44 – 47.
- CERRO MATOSO S.A 2001. BUELVAS, C. Geología de Cerro Matoso. Montelíbano, Colombia.
- CERRO MATOSO S.A 2005. Inducción proceso: Producción de ferroníquel. Montelíbano, Colombia.
- CERRO MATOSO S.A 2013. Reporte de sostenibilidad Cerro Matoso FY2012. Montelíbano
- DURANGO, J. 1988. Apuntes sobre geología de Cerro Matoso. Cerro Matoso S.A., 27 p. Montelíbano, Colombia.
- GLEESON S, DURANGO J, VELÁSQUEZ C y KOLL G. The Mineralogy and Geochemistry of the Cerro Matoso S.A. Ni Laterite Deposit, Montelíbano, Colombia. *Economic Geology*, Vol. 99, no. 6, 2004. 1197-1213 p.
- GLEESON, S. et al, 2004. *The Mineralogy and Geochemistry of the Cerro Matoso S.A. Ni Laterite Deposit, Montelíbano, Colombia*. *Economic Geology*, Vol. 99, no. 6, p. 1197-1213.
- GUZMÁN, R., SAENZ, J., MELÉNDEZ, V., TAPIA, A., GUTIERREZ, R., NAVAS, J. Final report upgrading II. Cerro Matoso S.A., 2013. 18 – 25 p.
- LOPEZ RENDON, J.E., 1986, Geology, mineralogy and geochemistry of the Cerro Matoso nickeliferous laterite, Cordoba, Colombia: Unpublished M.Sc. thesis, Fort Collins, Colorado State University, 378 p.
- MEJÍA, V., DURANGO, J. Geología de las lateritas niquelíferas de Cerro Matoso S.A. *Boletín de Geología*, Vol. 15, 1981. 117-123 p.

- VILORA DE LA HOZ, J. 2009. El ferroníquel de Cerro Matoso: Aspectos económicos de Montelíbano y el Alto San Jorge. (B.d.-s Cartagena, Ed) *Documentos de trabajo sobre economía regional*. 117 p.