



REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DEPARTAMENTO DE HISTORIA Y MARXISMO-LENINISMO

**Caracterización de Pasivos Ambientales Mineros del Yacimiento Moa  
Oriental, para su uso sostenible**

**Tesis Presentada en Opción al Título Académico de Master en Desarrollo Sustentable  
en la Actividad Minero - Metalúrgica**

**Ing. Arisbel Álvarez Ortiz**

**Moa, 2020**



REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DEPARTAMENTO DE HISTORIA Y MARXISMO-LLENINISMO

**Caracterización de Pasivos Ambientales Minero del Yacimiento Moa  
Oriental, para su uso sostenible**

**Autor:** Ing. Arisbel Álvarez Ortiz

**Tutores:** Prof. Titular. Ing. José Alberto Pons Herrera. Dr.C.  
Prof. Titular. Ing. Carlos Alberto Leyva Rodríguez. Dr.C.  
Prof. Auxiliar. Lic. Arlenys Carbonell Pupo. M. Sc.

**Moa, 2020**

## **Pensamiento**

“[...] mientras más diversa sea la economía de un país, más diversos sean sus mercados, más sólida y más libre es la economía de ese país”

Fidel Castro Ruz

La Habana, 17 de septiembre de 1959

## **Dedicatoria**

- A mis padres, hijos, hermanos, esposa, abuelos y demás familiares.
- A todas las personas que desinteresadamente colaboraron con la realización de este trabajo.

## **Agradecimientos**

- A la Revolución Cubana.
- Al claustro de profesores de la maestría en Desarrollo Sustentable en la Actividad Minero metalúrgica.
- A mis tutores Dr. C. José Alberto Pons Herrera y Dr. C. Carlos Leyva Rodríguez.

## **Resumen**

La minería del níquel en Cuba, constituye una de las actividades que más impactan sobre los ecosistemas naturales, estrechamente ligadas al uso de los recursos minerales. El yacimiento Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba de Moa, genera anualmente gran cantidad de Pasivos Ambientales Minero sólidos, entre los que sobresalen los gabros y las piscinas de sedimentación que, como resultado del desconocimiento de sus principales características físicas, químicas, mineralógicas limitan la toma de decisiones sobre sus posibles usos de manera sostenible, sin que impacten al medio ambiente de la región. Ambos residuales permanecen y se acumulan de manera sistemática en zonas donde tienen lugar diversas operaciones mineras, sin un uso definido hasta la actualidad. Elementos que motivaron la caracterización integral de estos residuales, aplicándose técnicas analíticas certificadas, que permitieron comprobar la presencia en ellos de elementos metálicos valiosos, como níquel, cobalto, hierro, cromo y otros, que pueden ser empleados por las plantas metalúrgicas existentes en la región de Moa.

**Palabras Claves:** Gabros, Piscinas de sedimentación, Desarrollo Sostenible

## **Abstract**

**Key Words:** Gabbro's, Sedimentation Pools, Sustainable Development

## Índice de Contenido

Resumen .....	vi
Abstract.....	vii
Índice de Contenido.....	viii
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figuras .....	xii
Índice de Gráficos.....	xiii
Índice de Anexos .....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	11
MARCO TEÓRICO .....	11
1.1. Desarrollo sostenible de la minería en Cuba .....	11
1.2 Conceptualizaciones de los pasivos ambientales mineros.....	17
1.3 Caracterización de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM).....	25
1.4 Gestión de los Pasivos Ambientales Mineros .....	27
1.5 Principales PAMs existentes en la Empresa Moanickel S.A.....	27
1.6 Conclusiones del Capítulo I.....	31
CAPITULO II.....	32
MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	32
2.1 Características del Yacimiento de Moa Oriental.....	32
2.2 Características de los PAM del Yacimiento Moa Oriental .....	35
2.2.1 Características de las Piscinas de Sedimentación .....	35
2.2.2 Características de los Gabros .....	38
2.3 Materias primas utilizadas .....	42



2.4	Selección y preparación de las muestras de estudio .....	42
2.5	Ensayos analíticos realizados .....	43
2.5.1	Análisis Químico .....	43
2.5.2	Análisis Mineralógico.....	43
2.5.3	Análisis Granulométrico .....	44
2.6	Conclusiones del capítulo II .....	46
CAPITULO III .....		47
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		47
3.1	Piscinas de Sedimentación .....	47
3.1.1	Características del proceso natural de decantación de las piscinas de sedimentación.....	47
3.1.2	Características físico-química de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental.....	49
3.1.3	Características granulométricas .....	49
3.1.4	Características químicas de las piscinas de sedimentación.....	51
3.1.5	Características mineralógicas de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental.....	59
3.2	Gabros presentes en el yacimiento Moa Oriental.....	60
3.2.1	Características físico-química de los gabros presentes en el yacimiento Moa Oriental	60
3.2.2	Características granulométricas .....	61
3.2.3	Características químicas de los gabros .....	63
3.2.4	Características mineralógicas de los gabros del yacimiento Moa Oriental .....	66
3.3	Posibilidades del uso sostenible de los PAM estudiados .....	67
3.4	Conclusiones del capítulo III.....	68
CONCLUSIONES GENERALES .....		69

RECOMENDACIONES .....	70
BIBLIOGRAFÍA .....	71
ANEXOS .....	75

## Índice de Tablas

<b>Tabla No. 1:</b> Composición química promedio (%), de las harzburgitas serpentizadas del basamento de los yacimientos de la Empresa Pedro Sotto Alba de Moa. ....	34
<b>Tabla No. 2:</b> Composición mineralógica del gabro normal, (%). ....	39
<b>Tabla No. 3:</b> Composición físico-química promedio (%), de las piscinas de sedimentación estudiadas. ....	49
<b>Tabla No. 4:</b> Composición granulométrica por vía seca, de la piscina de sedimentación No.1 del yacimiento Moa oriental. ....	50
<b>Tabla No. 5:</b> Composición granulométrica por vía seca, de la piscina de sedimentación No.2 del yacimiento Moa oriental. ....	51
<b>Tabla No. 6:</b> Composición química por fracciones granulométricas (%) de las piscinas de sedimentación # 1 del yacimiento Moa Oriental. ....	52
<b>Tabla No. 7:</b> Composición química por fracciones granulométricas (%) de la piscina de sedimentación # 2. ....	56
<b>Tabla No. 8:</b> Composición química promedio del gabro estudiado ....	61
<b>Tabla No. 9:</b> Principales propiedades físico – mecánica del gabro estudiado.....	61
<b>Tabla No. 10:</b> Composición granulométrica por vía seca, de los gabros del yacimiento Moa Oriental ....	62
<b>Tabla 11:</b> Composición química por fracciones granulométricas (%) del gabro del yacimiento Moa oriental. ....	63

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Imágenes de los gabros del área 12 Camarioca Norte de la Empresa PSA y de la preparación de la muestra. ....	42
<b>Figura 2:</b> Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica empleado en los análisis químicos. ....	43
<b>Figura 3:</b> Equipo de Difracción de Rayos X, empleado para los análisis mineralógicos.	44
<b>Figura 4:</b> Tamizadora eléctrica empleada en los análisis granulométricos. ....	45
<b>Figura 5:</b> Proceso natural de decantación de finos en las piscinas de sedimentación.	48
<b>Figura 6:</b> Espesor promedio de la capa de finos acumulado en las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental. ....	48

## Índice de Gráficos

<b>Gráfico 1:</b> Composición granulométrica de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental.....	50
<b>Gráfico 2:</b> Composición química por fracciones granulométricas (%) de la piscina de sedimentación # 1 del yacimiento Moa Oriental.....	53
<b>Gráfico 3:</b> Contenidos de Ni y Co en la piscina # 1, (%). .....	53
<b>Gráfico 4:</b> Contenido de Al, SiO <sub>2</sub> y MgO en la piscina # 1, (%). .....	54
<b>Gráfico 5:</b> Contenido de Cr y Mn en la piscina # 1, (%). .....	55
<b>Gráfico 6:</b> Composición química por fracciones de tamaño de la piscina # 2, (%). .....	57
<b>Gráfico 7:</b> Contenidos de Ni y Co en la piscina # 2, (%). .....	57
<b>Gráfico 8:</b> Contenido de Al, SiO <sub>2</sub> y Mg en la piscina # 2 (%). .....	58
<b>Gráfico 9:</b> Contenido de Cr y Mn en la piscina # 2, (%). .....	59
<b>Gráfico 10:</b> Difractograma de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa oriental. ....	60
<b>Gráfico 11:</b> Composición granulométrica de los gabros del yacimiento Moa oriental. ....	62
<b>Gráfico 12:</b> Composición química por fracciones granulométricas del gabro estudiado.....	64
<b>Gráfico 13:</b> Contenido de Al, SiO <sub>2</sub> y MgO (%) en el gabro estudiado. ....	65
<b>Gráfico 14:</b> Contenido de Ni y Co (%) en el gabro de Moa Oriental.....	65
<b>Gráfico 15:</b> Contenido de Cr y Mn en el gabro de Moa Oriental.....	66
<b>Gráfico 16:</b> Difractograma característico del gabro del yacimiento Moa oriental.....	66

## Índice de Anexos

ANEXO I: Secuencia fotográfica de la selección de las muestras de gabros del yacimiento Moa Oriental.....	75
ANEXO II: Sesión fotográfica de la toma de muestras de las piscinas de sedimentación de Moa Oriental.....	76
ANEXO III: Secuencia fotográfica de la toma y preparación de las muestras de las piscinas de sedimentación. ....	77

## INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades más antiguas desarrolladas por el hombre, se puede afirmar sin ningún temor que las conquistas del hombre sobre la naturaleza están estrechamente ligadas con el uso de los minerales. Todo cuanto nos rodea tiene de alguna u otra forma algún componente vinculado con la minería o con procesos vinculados con esta, especialmente esta relación se consolidó después de la revolución industrial.

Los adelantos científicos tecnológicos vinculados con la revolución industrial día tras día dotaron a los procesos productivos de instrumentos de trabajos más perfeccionados que facilitaban una explotación más efectiva de los recursos naturales, en el caso de los minerales estos instrumentos facilitaban mover mayores cantidades de tierra para el proceso minero. De tal forma que la minería se comenzó a visualizar como una actividad altamente impactante de la naturaleza, algo que evidentemente constituye un mito si se le compara con otras actividades, por ejemplo, con la agricultura.

La ciencia y la tecnología alcanzan niveles de desarrollo impensables a partir de la década de los años 60 del siglo pasado. En la minería estos adelantos serían muy significativos, ahora con las nuevas técnicas mineras se pueden minar en días terrenos que hace unos pocos años demorarían meses en minarse. De ahí que muy pronto la humanidad comenzaría a pensar en una forma más racional de explotar los yacimientos minerales.

En este camino hacia una relación más adecuada del hombre con la naturaleza aparecería en el horizonte mundial el desarrollo sustentable, como un concepto que pretende normar las relaciones hombre – naturaleza – sociedad. Este concepto es de larga data, tiene antecedentes muy valiosos que no se analizarán en esta investigación, por ello se hace imprescindible dejar por sentado que el autor entiende por desarrollo sustentable.

En el Informe “Nuestro Futuro Común” se define el desarrollo sustentable, también conocido como duradero, de la siguiente forma: “El desarrollo duradero es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Encierra en sí dos conceptos fundamentales: “el concepto de necesidades, en particular las necesidades esenciales de los pobres, a las que se debería otorgar prioridad preponderante;

la idea de limitaciones impuestas por la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras”, (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [CMMAD], 1987, pág. 59).

El Informe “Nuestro Futuro Común”, un documento de lectura compleja hace que más adelante se encuentre la última parte del concepto conocido en la mayoría de los textos posteriores, donde aparece indistintamente la traducción al español como duradero, sostenible y sustentable. En los marcos de esta investigación se utiliza el término sostenible.

En la página 63 se puede leer: “En suma, el desarrollo duradero es un proceso de cambio en el cual la explotación de los recursos, la orientación de la evolución tecnológica y la modificación de las instituciones están acordes y acrecientan el potencial actual y futuro para satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas”, (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [CMMAD], 1987, pág. 63).

Los antecedentes más inmediatos del Informe Brundtland están en la formación, en 1983, de La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD). Esta Comisión se formó durante la XXXVIII Sesión de la ONU, por resolución de la Asamblea General.

La oficialización universal del concepto tiene lugar con la publicación del “Informe Nuestro futuro común” (o Informe Brundtland) el que, después de ser examinado por el Consejo Directivo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), fue considerado y aprobado por la Asamblea General de la ONU, en su XLII Sesión, en 1987.

Es importante dejar bien definido que el problema del desarrollo sustentable como modelo de desarrollo tiene una estrecha relación con la lógica de la utilización de los recursos no – renovables, los que no tendrán las futuras generaciones cuando se agoten los yacimientos actuales. De ahí que en todos los proyectos mineros surgidos a partir de la Cumbre de Río de Janeiro (1992) esta problemática tenga una presencia permanente.

La explotación de los yacimientos minerales es realizada con el objetivo de poner a disposición de la humanidad, las materias primas indispensables para el desarrollo



socioeconómico de cualquier país. La explotación minera, en cualquier minera cuando se explota el mineral principal quedan importantes niveles de residuos que constituyen serios problemas para su reubicación y tratamiento.

Un problema notable para no lograr que una actividad minera sea sustentable es precisamente no disponer de sistemas de tratamiento de residuales, especialmente porque muchos de ellos tienen valor comercial y pueden ser explotados sin la erogación de muchos recursos financieros una vez cerradas las minas.

En países como Chile, Perú y Bolivia a estos residuos generados por la actividad minero metalúrgica se le conoce como Pasivos Ambientales Mineros (PAM) mientras que, en otros países como Canadá, los Estados Unidos son denominados sitios huérfanos “orphaned sites” o como deudas ambientales “environmental liabilities”.

Si analizamos la historia de la minería en Cuba, la actividad extractiva de estos yacimientos, ha sido constante, principalmente, los referidos al níquel y materiales para la construcción.

En nuestro país, existen reservas de minerales con buenas propiedades refractarias y abrasivas, “algunos han sido probados en las industrias, sin embargo, existen algunos que aún están por caracterizar y evaluar su comportamiento en dicha industria”, (Ramírez Matos, 2001).

Relacionado con este tipo de actividad, las Empresas productoras de níquel en la región de *Moa*, han generado durante más de 60 años, importantes volúmenes de residuos sólidos, resultado tanto de la propia actividad minera como de los procesos extractivos que se desarrollan. Estos residuos son ubicados al aire libre o en las llamadas presas de colas para utilizarlas cuando las tecnologías y las condiciones financieras del país permitan su explotación.

*Estos residuos son generados anualmente sin que existan propuestas específicas para su utilización a favor de la economía del país, mientras que ocasionan daños diversos en el entorno social y ambiental. Surgen de esta forma, necesidad de alternativas que permitan alargar la vida de los yacimientos lateríticos y la introducción de nuevas tecnologías para la utilización de los mismos con un enfoque sostenible.*

*Esta realidad le otorga una singular pertinencia a la presente investigación, especialmente en el sentido que soluciona un problema de carácter ambiental al municipio y de carácter ecológico, en lo ambiental por eliminar una carga contaminante para los sumideros naturales donde se ubican estos residuos. Y en lo ecológico por ofrecer alternativas de utilización de estos residuales en otras actividades económicas.*

*Las cuatro áreas que contienen el rechazo estudiado, se encuentran ubicadas geográficamente dentro de la concesión del yacimiento Moa Occidental. Fueron seleccionadas para la deposición del rechazo, teniendo en cuenta su cercanía a la planta de preparación de pulpa (menor de 2km) y que la minería previa agotó las menas útiles para el procesamiento en la planta Pedro Soto Alba.*

El impacto ambiental creado con la deposición del rechazo en los fondos minados es mínimo, teniendo en cuenta que el rechazo está contenido en las menas alimentadas a la planta de preparación de pulpa y se deposita sin introducir sustancias extrañas o ajenas a las contenidas en las menas extraídas. Estos depósitos de rechazo son reforestados una vez almacenan la capacidad de rechazo que pueden contener.

Los rechazos históricos de la planta de preparación de pulpa han sido de alrededor de 22%, pero la situación ha empeorado, por lo que la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) de forma consistente ha señalado en sus inspecciones anuales que los minerales de limonita rechazados por la Planta Pulpa de Moa Nickel S.A. han representado una pérdida significativa de un recurso económico no renovable, (Lavaut, W. 2003).

En la actualidad se promedia el 30% de rechazo del total de menas alimentadas a la planta de preparación de pulpa, más de un millón de toneladas por año.

El agotamiento en el yacimiento Moa Occidental de la limonita de balance, trajo aparejado la apertura de los yacimientos Moa Oriental y Camarioca Norte, diferentes en cuanto al perfil de la corteza de intemperismo y la potencia de las menas que lo conforman.

*Los yacimientos Moa Oriental y Camarioca Norte están conformados por cortezas de intemperismo que en ocasiones no presentan un desarrollo estratigráfico completo, donde no se delimitan bien en el corte geológico los tipos de menas, presentan bajas potencias de las menas, limonitas ferruginosas fuera de balance y limonita de balance.*

*Los bajos espesores en la mena limonita de balance unidos a la propia irregularidad en el piso del horizonte que ocupa, propician en la extracción de las menas para alimentar la planta de preparación de pulpa, la incorporación de un % de limonita fuera de balance (LF) mena enriquecida en Co, Fe y saprolita de balance (SAAFe) mena que contiene alto contenido de rechazo serpentinitico, Ni, Mg y Si.*

*En el año 2013 Moa Nickel S.A. solicitó a la ONRM, incorporar como mena en la alimentación a planta de preparación de pulpa la saprolita de balance de alto hierro SAAFe, según la clasificación de menas en los yacimientos concesionados.*

Rodríguez (1985) demuestra el uso del material serpentinitico en la construcción de presas locales. Casall (1986), realiza estudios sobre el uso de las serpentinitas en la construcción de obras hidráulicas. Lavaut (2004) realiza un informe sobre “Caracterización del mineral de rechazo por el proceso de planta de preparación de pulpa”. Rojas Purón-Carballo Peña (1988) realizan un estudio al material rechazado por la Planta de pulpa en Moa Nickel S.A. con el fin de determinar la “Valoración mineralógica económica del material de rechazo de la planta de preparación de pulpa del yacimiento Moa”.

López Peña (2006) en su tesis de grado realizó algunos morteros del rechazo serpentinitico del material de la Planta de pulpa de Moa Nickel SA obteniendo resultados alentadores. Anidos (2007) realiza la valoración geólogo-técnica de las perspectivas de empleo de los desechos serpentiniticos de la ECG como materiales constructivos alternativos, demuestra que el material serpentinitico puede emplearse para la fabricación en morteros utilizados para muros portantes, vestido en interior y exterior, así como en la construcción de pasillos y pavimentos.

Montero Gil (2007), desarrolló estudios físico-químicos al rechazo de la planta de preparación de pulpa de Moa Nickel SA, determinando su idoneidad para utilizarlos en hormigones de hasta 20 MPa. Céspedes Rivera (2007), realizó estudios físico-químicos al rechazo de la Empresa Ernesto Che Guevara, determinando su idoneidad en hormigones de hasta 40 MPa. Cardero (2007) proyecta la construcción de una planta procesadora de grava y arena para el municipio de Moa.

León y otros (2007) demuestran los beneficios físicos-mecánicos que recibe el rechazo serpentinitico de la ECG durante el procesamiento industrial. El uso de hormigones

serpentiníticos es acostumbrado para atenuar los neutrones termales, cuya temperatura oscila en el rango de 400-500 grados, según la publicación El Universal de Caracas, (2007).

Wilson (2008), logró caracterizar las serpentinitas del municipio Holguín como áridos para la construcción. Jiménez (2008), determina las características químico-física-mecánica del material de rechazo de la ECG, se demuestra a través de los ensayos realizados su posible uso como árido en la industria de los materiales de la construcción. Pérez Stest (2009), investigó varias muestras representativas del rechazo serpentinitico de la empresa ECG.

Céspedes Rivera (2010) logró caracterizar los desechos sólidos de la planta de preparación de pulpa de la Empresa Moa Nickel S.A. como árido para la construcción, demostrando que el 70 % de estos rechazos están compuesto por serpentinita, 20% de minerales de hierro, 8 % cuarzo, calcedonia, sílice amorfa y un 2 % de cromita y minerales de manganeso.

Vijaya Kattel (2010) realiza una valoración técnica de los desechos serpentiniticos de la Empresa Moa-Nickel SA., como material de construcción alternativo, demostrando que el empleo de estos desechos es factible en la fabricación de bloques huecos y morteros para la construcción. Gendis Días (2019), evalúa la recuperación de la fracción limonítica en el rechazo de la planta de preparación de pulpa, de la Empresa Moa Nickel SA.

Una de las alternativas que permitirá alargar la vida de los yacimientos lateríticos es la reprocesamiento de la fracción  $\leq 100\text{mm}$  rechazada en planta de preparación de pulpa de Moa Nickel S.A. Para ello proponemos una clasificación atendiendo a la cantidad de material fino -20 Mesh (0.84 mm) contenido en el rechazo, una clasificación química correlacionada con los tipos de menas que componen la corteza laterítica, caracterización con vista a su uso como árido para la construcción y los posibles usos atendiendo a cada clasificación.

Las investigaciones precedentes no han logrado que los decisores potencien el uso de este rechazo. Los volúmenes crecientes del mismo, el manejo generado para su acumulación en áreas del yacimiento Moa Occidental y su clasificación como pasivo ambiental, demandan un uso, encaminado al logro del desarrollo sustentable en la minería.

## **Situación Problémica**

En Cuba existen importantes recursos naturales probados industrialmente, “sin embargo, existen otros que aún están por caracterizar y evaluar su comportamiento y uso en la industria”. (Ramírez Matos, 2001, pág. 11).

Los trabajos de Ramírez Matos (2001), permitieron caracterizar a los gabros presentes en el complejo ofiolítico Moa-Baracoa, principalmente, los existentes en la zona de Amores, donde se destaca, entre otros aspectos los siguientes:

En el complejo ofiolítico Moa-Baracoa que ocupa un área aproximadamente de 1500 km<sup>2</sup> está caracterizado por la existencia de rocas ultramáficas. Dentro de este complejo se localizan importantes reservas de materias primas minerales, que son considerados como escombros en los procesos de explotación y procesamiento de los minerales de cromo, y que por sus propiedades podrían ser utilizados industrialmente en sustitución de materiales refractarios y abrasivos empleados actualmente, lo que traería consigo un ahorro significativo de recursos materiales y financieros, (pág. 1).

*Estos residuales de la industria minera del cromo en Moa, se caracterizan por la presencia de “minerales del grupo de la serpentina, principalmente antigorita, debido al proceso de serpentinización que ha afectado a estas rocas, y su transformación en fase forsterita luego de su calentamiento, aspectos de importancia para las investigaciones que en la actualidad se realizan con estas litologías para su empleo como material refractario, (Pons Herrera, Leyva Rodríguez, & Rodríguez Martínez, 2000, pág. 1), sin embargo, estos trabajos no abarcaron el estudio de los residuales, que acompañan a los minerales lateríticos de esta región del país, que forma parte de las cortezas ferroniquelíferas, y no son empleadas para la producción de Níquel en Moa, constituyendo residuos mineros, llamados también, pasivos ambientales.*

*Entre los principales pasivos ambientales mineros sólidos (PAMs), que abundan en las cortezas lateríticas de la región de Moa, sobresalen los gabros, material que aparece entre las intercalaciones presentes en las litologías formando parte de los rechazos que no se utilizan actualmente en la Minería del Níquel, permaneciendo en los yacimientos o removidos, rechazados y almacenados en conjunto con otros residuales o pasivos.*

*En la Empresa Pedro Sotro Alba existe una de las más amplias reservas de níquel y cobalto en Cuba, y dentro de ellas específicamente en la zona de Moa Oriental, se encuentran diversas manifestaciones de gabros, que por sus características físico químicas y mineralógicas, no constituyen parte de los minerales de alimentación a esta planta metalúrgica, constituyendo uno de los pasivos ambientales mineros, que no son empleados en la actualidad, al desconocerse sus contenidos y demás características, que faciliten la toma de decisiones sobre sus posibles usos industriales.*

*Además de estos pasivos mineros, también existen otros recursos, que han sido tratados por la actividad del hombre, para evitar su erosión y pérdida hacia los ríos o hacia la propia naturaleza, que son los residuales finos, almacenados en las llamadas piscinas de sedimentación, como una medida de la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) y de las propias empresas del Níquel, para evitar la pérdida sistemática de estos recursos naturales, sin embargo, a pesar de su almacenamiento generalmente no son utilizados ni incorporados a los minerales de alimentación que diariamente entran a las plantas productoras de este metal valioso.*

Teniendo en cuenta la existencia, abundancia e incremento sistemático de estos pasivos ambientales minero metalúrgicos sólidos, en la región de Moa-Baracoa, específicamente en los yacimientos Moa Oriental de la Empresa productora de Níquel, Moanickel S.A, Pedro Sotro Alba, de Moa se plantea el problema científico siguiente.

### **Formulación del problema científico**

**Problema científico:** Desconocimiento de las características físicas, químicas, mineralógicas y térmicas de los Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos, gabros y piscinas de sedimentación, del yacimiento Moa Oriental, limitan el uso sostenible de estos recursos minerales.

**Objeto de la investigación:** Piscinas de sedimentación y gabros del yacimiento Moa Oriental.

**Campo de acción:** Las características físicas, químicas, mineralógicas y térmicas de los Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos, piscinas de sedimentación y gabros del yacimiento Moa Oriental, de la Empresa Moanickel S.A, Pedro Sotro Alba de Moa.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Caracterizar desde el punto de vista físico, químico y mineralógico las piscinas de sedimentación y los gabros del yacimiento Moa Oriental, de la Empresa Moanickel S.A, Pedro Sotto Alba de Moa, para la toma de decisiones sobre sus posibles usos sostenibles.

### **Objetivos Específicos**

1. Fundamentar las categorías generales de la investigación desde un enfoque sostenible
2. Caracterizar físicas, químicas y mineralógicamente los PAMMs, “piscinas de sedimentación” y los “gabros”, del yacimiento Moa Oriental.
3. Comparar las características físicas, químicas, y mineralógicas de los PAMMs del yacimiento Moa Oriental estudiados, con otros existentes en la región de Moa-Baracoa, para facilitar la toma de decisiones sobre sus posibles usos de una manera sostenible.
4. Proponer variantes de utilización de los PAMMs del yacimiento Moa Oriental estudiados, con un enfoque sostenible.

**Hipótesis:** La determinar las características físicas, químicas, mineralógicas y térmicas de los PAMMs del yacimiento Moa Oriental estudiados, facilitará la toma de decisiones sobre sus posibles usos con un enfoque sostenible.

El sistema teórico conceptual de la investigación está determinado por los conceptos de pasivo ambiental minero, piscinas de sedimentación, gabros y desarrollo sostenible. A partir de la profundización de la bibliografía sobre estas temáticas, permitieron conformar y comprender con mayor profundidad el cuerpo teórico conceptual de la tesis.

Métodos empleados en la investigación:

Toda investigación implica de la utilización de métodos que viabilicen el cumplimiento del proceso investigativo, además, es la forma de abordar la realidad, de estudiar los

fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, con el propósito de descubrir la esencia de los mismos y sus relaciones.

En el desarrollo de la investigación se aplican los siguientes métodos:

Análisis y síntesis: permitió el análisis de la documentación referente al objeto de investigación y sintetizar e incorporar los aportes del conocimiento científico.

Inductivo-Deductivo: facilitó la valoración de la relación entre los pasivos ambientales mineros y rechazo serpentínico a aplicarse con enfoque sostenible que permite establecer conclusiones.

Análisis histórico y el lógico: que posibilitó el estudio de los conocimientos precedentes y existentes sobre los pasivos ambientales mineros y rechazo serpentínico desde un enfoque sostenible, estableciendo los fundamentos teóricos del proceso objeto de estudio.

Método dialéctico: empleado como método general, que se concreta con los demás métodos utilizados, para la solución de contradicción generada en la investigación y ver el proceso sistémico de los resultados de la misma.

Esta investigación aporta a partir del análisis físico-químico de los pasivos ambientales mineros: “piscinas de sedimentación” y “gabros”, del yacimiento Moa Occidental, así como las posibles alternativas de su utilización desde un enfoque sostenible.

La tesis se encuentra estructurada, en resumen, introducción y tres capítulos; Capítulo I: Marco teórico conceptual, aborda los fundamentos teóricos sobre los pasivos ambientales mineros estudiados con un enfoque sostenible.

Capítulo II: Materiales, métodos de investigación. Describe las características del yacimiento de Moa Oriental perteneciente a la empresa Moa Nickel S.A. Las características de los pasivos “piscinas de sedimentación” y gabros. La selección y toma de las muestras. Los ensayos analíticos realizados para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación.

Capítulo III: Análisis y Discusión de los resultados, presenta las características y posibilidades de utilización de los pasivos ambientales del yacimiento Moa Occidental estudiados. Además, forma parte de la estructura de la tesis las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.



## CAPITULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Desarrollo sostenible de la minería en Cuba

La minería del níquel en Cuba es a cielo abierto, lo que permite la posibilidad de ser sostenible en la misma medida que sus impactos son más significativos, cuando se compara con otras formas de explotación mineras. Por tanto, la forma en que se desarrolla la actividad minera, con el complejo trabajo de maquinarias y técnicas que se utilizan impacta rigurosamente el espacio físico de estas operaciones.

Constituye esta, una realidad para cualquier país o región donde se realice este tipo de minería, de ahí la necesidad de encontrar formas de gestión que hagan más eficientes estos procesos, reduzcan los impactos y empleen tecnologías más eficientes que faciliten la explotación de los residuales que genere la industria.

Por tanto, el tratamiento eficiente de las tecnologías es fundamental para el logro de esta actividad, que por razones convincentes las cuales a decir del profesor José Mateo Rodríguez (Montero, 2006), se presenta de la siguiente forma:

Cuando la tecnología es ecológicamente ineficiente, conduce al surgimiento de procesos degradantes de todo tipo: los energéticamente deficientes, los generadores de residuos, los destructores de los sistemas ambientales;

Cuando se instalan dispositivos técnicos que no corresponden a la estructura y funcionamiento de los sistemas ambientales; así ocurre con sistemas técnicos gigantes – el llamado “gigantismo”, con las estructuras tecnológicas que tampoco se ajustan a las estructuras del eco o geosistemas, todo lo cual conduce a procesos de degradación ambiental y productiva;

Cuando el manejo de los sistemas técnicos es incorrecto o desarticulado, dando lugar a procesos de degradación; por ejemplo, las normas de introducción de energía y de

substancias que no pueden ser absorbidas por los sistemas naturales, o aquellos sistemas de explotación que no permiten la regeneración de los recursos”, (Mateo & Suárez, 2000).

Para la minería estos constituyen criterios importantes cuando se trata de actividad minera, generación de residuales y su explotación constante. En este sentido la sostenibilidad se enlaza directamente con los tres momentos citados anteriormente y que serán tomadas en cuenta durante el desarrollo de esta investigación.

*La minería que se desarrolla actualmente en la empresa Moa Nickel S. A, a pesar de su avanzado proceso tecnológico y su nivel de eficiencia, genera significativos niveles de residuales que no pueden ser procesados industrialmente convirtiéndose en pasivos ambientales mineros con altos niveles de contaminación ambiental. De ahí la pertinencia social de esta investigación que pretende analizar la sostenibilidad de la actividad minera en esta importante industria del Níquel en Cuba.*

El desarrollo sostenible es un tema de permanente recurrencia en la literatura científica mundial, donde autores de reconocidos en el escenario científico mundial, entre los cuales se incluyen varios latinoamericanos, que lo han analizado en sus investigaciones de forma certera y precisa, principalmente, los vinculados con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, (CEPAL, 2018).

Uno de estos autores, R. P. Guimarães, considerado como referencia para el análisis de la sostenibilidad de los proyectos mineros, quien plantea que, (Guimaraes, 1994):

La sustentabilidad ecológica del desarrollo refiérese a la base física del proceso de crecimiento y objetiva la mantención de stock de recursos naturales incorporados a las actividades productivas [...] Para el caso de los recursos naturales renovables, la tasa de utilización debiera ser equivalente a la tasa de recomposición del recurso. Para los recursos naturales no renovables, la tasa de utilización debe equivaler a la tasa de sustitución del recurso en el proceso productivo por el período de tiempo previsto para su agotamiento (medido por las reservas naturales y la tasa de utilización). Tomándose en cuenta que su propio carácter de “no-renovable” impide un uso indefinidamente sustentable, hay que limitar su ritmo de utilización al ritmo de desarrollo o de descubrimiento de nuevos sustitutos. Esto requiere, entre otros aspectos, que las inversiones realizadas para la explotación de recursos naturales no renovables deben ser proporcionales a las inversiones asignadas para la búsqueda de sustitutos”, (pág. 22).

*La propuesta de esta investigación contribuye directamente al logro de la sustentabilidad ecológica, se aborda la utilización con fines comerciales de un pasivo ambiental que contribuye significativamente a hacer sostenible la explotación minera; además de su significado desde el punto de vista ambiental.*

*Para la minera estas ideas indican de manera especial, procesos encaminados a la gestión de los recursos naturales, principalmente, las rocas y minerales industriales. En primer lugar; los recursos renovables que se utilizan en las actividades productivas, como el agua, tienen que utilizarse teniendo en cuenta la capacidad de recomposición de estos que posee la naturaleza y en segundo lugar, la explotación de los minerales tiene que tener en cuenta la capacidad de los sistemas socioproductivos de sustituir en las actividades productivas, los puestos laborales que se perderán cuando se agoten estos recursos.*

*Solamente estos criterios se podrá lograr a través de la búsqueda de mecanismos de compensación, tanto en los sistemas sociales como en los naturales a través de proyectos que recompongan de alguna forma lo que la actividad productiva actual desaparecerá, (Montero, 2006). De ahí la necesidad de elaborar estrategias que evalúen como se produce la actividad minera y como se recompensarán a las generaciones futuras para que puedan satisfacer sus necesidades, teniendo en cuenta que lo anterior considera que estos sustitutos, a los que se refiere Guimarães, no son propiamente físicos.*

Por su parte, la dimensión ambiental citada por Guimarães, (1994), plantea que:

La sustentabilidad ambiental dice relación con la mantención de la capacidad de sustento de los ecosistemas, es decir, la capacidad de la naturaleza para absorber y recomponerse de las agresiones antrópicas. [...] dos criterios aparecen como obvios. En primer lugar, las tasas de emisión de desechos como resultado de la actividad económica deben equivaler a las tasas de regeneración, las cuales son determinadas por la capacidad de recuperación del ecosistema [...] Un segundo criterio de sustentabilidad ambiental, sería la reconversión industrial con énfasis en la reducción de la entropía, es decir, privilegiando la conservación de la energía y las fuentes renovables”, (pág. 51).

Lo que constituye un criterio fundamental de esta investigación, que trabaja con dos pasivos ambientales mineros, que dejará de ser una fuente de contaminación, es decir; no tendrá que ser asimilado por los sumideros naturales, ni existirá la necesidad de construir sumideros artificiales para colocarlos.

Un elemento básico para el logro de la sustentabilidad, es la sustentabilidad social, la cual, “tiene como objeto el mejoramiento de la calidad de vida de la población. Para el caso específico de los países del Sur, con graves problemas de exclusión social, los criterios básicos debieran ser los de justicia distributiva, para el caso de la distribución de bienes y de servicios y de la universalización de la cobertura, para las políticas globales de educación, salud, vivienda y seguridad social”, (Guimaraes, 1994, pág. 52).

En Cuba, actualmente uno de sus grandes retos es la utilización eficiente y sostenible de sus recursos naturales y su reincorporación a los procesos productivos de las plantas existentes, lo que se pone de manifiesto con la realización de esta investigación que pretende el estudio de los pasivos ambientales, piscinas de sedimentación y gabros, abundantes en el yacimiento Moa Oriental, sin un uso definido actualmente, a pesar de que afectan al ecosistema de la región de Moa.

La última dimensión que propone Guimarães, R (1994) es la denominada sustentabilidad política que reconoce que:

[...] se encuentra estrechamente vinculada al proceso de construcción de la ciudadanía, y busca garantizar la incorporación plena de las personas al proceso de desarrollo. Ésta se resume a nivel micro, a la democratización de la sociedad, y a nivel macro, a la democratización del estado. El primer objetivo supone el fortalecimiento de las organizaciones sociales y comunitarias, la redistribución de los recursos y de la información hacia los sectores subordinados, el incremento de la capacidad de análisis de sus organizaciones, y la capacitación para la toma de decisiones; mientras el segundo se logra a través de la apertura del aparato estatal al control ciudadano, la reactualización de los partidos políticos y de los procesos electorales, y por la incorporación del concepto de responsabilidad en la actividad pública, (pág. 53).

Esta visión de la sostenibilidad completa la perspectiva de esta investigación, se asume como paradigma en el análisis del objeto de estudio, en la realización del trabajo de campo y en las propuestas que se realizan. Además, para elaborar esta propuesta se analizaron los trabajos que sobre el tema se han realizado en la Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.

En el año 1998 se realizan investigaciones sobre los impactos socioculturales de la industria del níquel, las cuales continúan con otras sobre el desarrollo sustentable en la minería y los indicadores de sustentabilidad y concluyen con la defensa de una Maestría en el año 2001, un doctorado en el 2005 y otro en el 2006. En el año 2012 se concluye un doctorado, por parte de una profesora del Departamento de Marxismo - leninismo en la Universidad de la

Habana, sobre el tema de la utilización de la complejidad en la definición de estrategias de educación ambiental en comunidades mineras.

En el año 2013, se defiende un doctorado sobre los indicadores económicos de sustentabilidad en la empresa de Níquel “Comandante Ernesto Ché Guevara” designada como uno de los mejores trabajos científicos desarrollados sobre las ciencias económicas en Cuba, durante este año.

Se concretan resultados en el área de los riesgos de desastres que conducen a las defensas de tesis de Maestría y un doctorado, entre los años 2002 y 2008. Muy relacionado con esta línea de investigación se concretan tesis de doctorados, sobre el impacto de los ruidos y el polvo sobre el medio ambiente en la Empresa Comandante “Ernesto Ché Guevara” en el 2005 y sobre la utilización de técnicas difusas para la evaluación del impacto ambiental de proyectos mineros y el seguimiento en el tiempo de su desarrollo en el 2009.

*Entre estos autores, de especial significado para esta investigación lo constituye los resultados de las investigaciones realizadas por el Dr. C. Juan Manuel Montero Peña de la Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez. Para Montero (2006) el concepto desarrollo sostenible es muy útil para la elaboración de estrategias dirigidas hacia la sostenibilidad, sin embargo, considera imprescindible la necesidad de una reconceptualización que se adecue más a las condiciones en que tiene lugar esta actividad. Este autor propone un nuevo concepto para la minería el cual se imbrica de forma dialéctica con los objetivos de esta investigación.*

En la investigación de Montero (2006), se plantea que:

El desarrollo compensado es una etapa en el movimiento de las comunidades mineras hacia la sustentabilidad donde se busca compensar de forma racional los impactos que la minería ocasiona sobre el medio ambiente, sin menguar la posibilidad del hombre actual de satisfacer sus necesidades. Es una etapa donde se pretende privilegiar la capacidad de satisfacer las necesidades materiales y espirituales de la sociedad, creando las condiciones necesarias para que las futuras generaciones satisfagan las suyas a partir de toda la experiencia, que en materia de formación de recursos humanos y de tecnología creen las actuales generaciones y los procesos productivos alternativos que puedan surgir a partir de las nuevas tecnologías que se produzcan, (pág. 85).

Esta propuesta de Montero Peña periodiza el desarrollo sostenible por niveles, y su propuesta de considerar que el “el desarrollo sustentable es un proceso que transita por

diferentes etapas o grados de desarrollo”, (Montero, 2006, p.56), asumida como válida para el desarrollo de esta investigación.

Este autor propone como etapas o grados de desarrollo de la sustentabilidad los siguientes: crecimiento, compensaciones y desarrollo. En la etapa “[...] del crecimiento [...] los países están obligados a crecer cuantitativa y cualitativamente en actividades verdaderamente generadoras de riquezas, a pesar de que puedan ocasionar impactos negativos sobre el medio ambiente [...]” (Montero, 2006, p.56).

La etapa de las compensaciones “se produce a partir de que el crecimiento económico facilita la utilización de los recursos naturales y humanos existentes, dirigida a compensar a la naturaleza por los daños que ocasionan con sus acciones sobre el medio ambiente. Este nivel consiste en la capacidad de introducir transformaciones de índole positiva en los procesos naturales y sociales que tienen lugar en el medio ambiente en que el hombre vive y que como consecuencia de sus acciones ocasiona cambios que pueden ser irreversibles”, (Montero, 2006, p.59).

Esta forma de analizar el desarrollo sostenible se corresponde con la visión que tiene el autor sobre la minería, desde esta perspectiva esta actividad sí puede ser sostenible a través de las compensaciones capaces de generar con las riquezas que produce. La propuesta que se realiza en esta Tesis de Maestría se corresponde con la idea defendida por el Dr. C. Juan Manuel Montero Peña.

La tercera etapa es la del desarrollo, “a la cual no es posible llegar, desde nuestro punto de vista, si no se ha transitado por las anteriores y en la que tienen lugar tanto, elementos de la primera como de la segunda etapas, pero sobre la base de la existencia de elementos que garantizan el logro de la sustentabilidad en todas sus dimensiones” (Montero, 2006, p.62).

Tomando en cuenta los criterios expuestos anteriormente, se analizan a continuación los principales conceptos, características y experiencias en el tratamiento y uso de los pasivos ambientales mineros, principalmente, dos de los más importantes generados por la actividad minera en la empresa Moa Nickel S.A de Moa.

## 1.2 Conceptualizaciones de los pasivos ambientales mineros

El estudio realizado sobre la conceptualización de los pasivos ambientales mineros permitió conocer los diferentes tipos a partir de su clasificación.

*Los pasivos ambientales mineros (PAM) son desechos generados por las industrias, como consecuencia del desarrollo de las actividades mineras pero que poseen valor económico y social y representan un riesgo e impacto para el medio ambiente y la calidad de vida de las personas.*

*El término de pasivo ambiental se define como “aquella situación ambiental que, generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo al ambiente y la calidad de vida de las personas”, ( Sociedad Nacional de Energía, Minería y Petróleo, 2004, pág. 11). El mismo se ha venido utilizando en la Minería y la Metalurgia, para identificar, principalmente, a los residuales de ambas industrias, que no cuentan con un uso definido y que se depositan y almacenan en diferentes sitios de las instalaciones industriales.*

Los pasivos ambientales, “provocan diversos daños al ecosistema natural, como resultado de la propia actividad del hombre, sobresaliendo las actividades mineras y metalúrgicas”, (Arranz González & Alberruche del Campo, 2007, pág. 41).

Los Pasivos Ambientales se originan a partir de diferentes causas, que según la Asociación de servicio de Geología y Minerías Iberoamericanas, (Asociación de servicio de Geología y Minerías Iberoamericanas, 2010), estos se caracterizan por:

En el pasado no existían una serie de recursos minerales con los cuáles sí se cuenta hoy en día. Los avances tecnológicos, el conocimiento científico y el marco normativo correspondiente permitieron a las empresas y las personas realizar sus actividades sin pensar que tal vez podrían causar daño al ambiente. El proceso de industrialización a lo largo del siglo pasado y la urbanización descontrolada produjo también problemas ambientales más difusos, no circunscriptos a un sitio específico. Esta situación del pasado se acentúa por el abandono de instalaciones o zonas ambientales degradadas sin un manejo que evite su presencia negativa. De esta manera se va degradando el ambiente generando la pérdida progresiva de la capacidad de algunos recursos naturales para prestar bienes y servicios a la humanidad, así como la del medio físico para mantenerse en condiciones adecuadas, (pág. 17).

Por tanto, el abuso de las tecnologías y los agentes químicos en el medio ambiente conllevan al deterioro del mismo trayendo en ocasiones la pérdida de recursos minerales valiosos para el ser

humano. El mal cierre de empresas donde se realizan tratamientos químicos es hoy una preocupación para las organizaciones protectoras del medio ambiente pues son las vías que se prestan para el envenenamiento del ecosistema a causa del desinterés propio de sus directivos.

Los yacimientos lateríticos de la región de Moa son diversos, debido a que presentan diferentes materiales y por lo tanto diferentes características. Algunos de esos recursos que hoy no se utilizan y que se generan dentro de los yacimientos lateríticos de la región, son las piscinas de sedimentación y los gabros, que constituyen pasivos ambientales de los procesos de minería del Níquel.

Las empresas generadoras de estos residuos deben realizar a cabo un estudio específico de sus características físicas, químicas, térmicas y mineralógicas para establecer sus usos de acuerdo a sus características ya mencionadas y así poder aprovecharlos en su totalidad eliminando la polución al medio ambiente.

*El reaprovechamiento de Pasivos Ambientales Mineros es un mecanismo favorable para la recuperación ambiental; “aún se desconoce cuál es su verdadero potencial en Perú, por ejemplo, se desconoce cuál es su verdadero potencial y evidentemente, su ámbito de aplicación es limitado, ya que la extracción minera sólo podrá llevarse a cabo en algunos de ellos: aquellos que contengan minerales cuya recuperación sea económicamente viable”, (Gutiérrez Sianiegas, 2004, pág. 23).*

Aunque es sabido por todos lo que implica la generación de pasivos ambientales y su no tratamiento, es un tema poco abordado, aunque en los últimos años ha logrado una rápida difusión. *Países de América Latina como Bolivia, México, Perú y Chile han realizado investigaciones y esfuerzos para lograr avances en la definición y manejo de los pasivos ambientales, abordando varias definiciones sobre la conceptualización.*

En Chile, según el proyecto de Ley de la Remediación de Pasivos Ambientales Mineros se entiende por “Pasivo Ambiental Minero aquella faena minera abandonada o paralizada, incluyendo sus residuos, que constituye un riesgo significativo para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente”, Moreno, (C., & Chaparro, 2008)

Perú, según la Ley N° 28.271, los PAM son “todas aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras actualmente abandonadas o



inactivas que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad”, (Infante, 2011).

También en varios informes define que los (PAMM) “pozos e instalaciones mal abandonados, suelos contaminados por efluentes, derrames, fugas, residuos sólidos, emisiones, restos o depósito de residuos ubicados en cualquier territorio nacional incluyendo el zócalo continental, napa freática, quebradas, ríos, lagunas y lagos, producidos como consecuencia de operaciones (...), (Perú., 2011).

El informe preliminar “Inventarios de Pasivos Ambientales Mineros” (Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Minería, Perú, 2006) define como Pasivo Ambiental Minero “todas las instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad”.

El Subsector de Hidrocarburos de Perú en materia de (PAMM) aprobó la Ley 29134 que regula los pasivos ambientales de este sector donde establece que son la: Situación ambiental generada por las actividades económico-extractivas del hombre, ya sea por desconocimiento, negligencia, o por accidentes) que representa un riesgo al ambiente, especialmente en la calidad del agua, suelo, aire, ecosistemas y sobre todo en la salud y calidad de vida de las personas, (Perú P. C., 2007)

Y en el año 2010 se define por un grupo de expertos que los PAM: son todos aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el medio ambiente, (ASGMI, 2010).

Bolivia de acuerdo con la Ley Nro. 1333-Ley de Medio Ambiente y el Plan ALBA (Auditoría de Línea Base Ambiental) un Pasivo ambiental es “el conjunto de impactos negativos perjudiciales para la salud y/o el medio ambiente, ocasionado por determinadas obras y actividades existentes en un determinado período de tiempo y los problemas ambientales en general no solucionados por determinadas obras o actividades en ejecución”, (Bolivia, 1992).

En la Consultoría Ambiental de CEPSA (Compañía Española de Petróleo S.A.) de España el Capítulo 5 dice: “El pasivo ambiental puede definirse como aquella situación ambiental generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo al ambiente y la calidad de vida de las personas, animales y plantas”.

La Environmental Protection Agency (EPA) en Estados Unidos define el pasivo ambiental como “una obligación de incurrir en un costo futuro, como consecuencia de una actividad, o conducta, realizada en el presente o el pasado que pueda afectar el medio ambiente de manera adversa”, (Agency-EPA, 1996).

En México los pasivos ambientales se definen como: “aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que implican una obligación de remediación. En esta definición se incluye la contaminación generada por una emergencia, (Arango A. M., 2011, pág. 16).

En el informe del Ministerio de Energía y Minas de Perú citado anteriormente se considera que las actividades minero metalúrgicas se realizan a nivel mundial, y generan grandes cantidades de Pasivos Ambientales, pero cada país tiene su ley, decretos reglamentarios establecidos para someter el proceso de evaluación de impacto ambiental de acuerdo al tipo de residuos o escombros, que son perjudiciales para la población y el ecosistema que les rodea.

El término “pasivo ambiental” tiene orígenes empresariales: en el balance de ejercicio de una empresa el pasivo es el conjunto de deudas y gravámenes que disminuyen su activo. Desgraciadamente, mientras las deudas financieras están minuciosamente descritas en el balance, muchas deudas ambientales y sociales no se registran en la contabilidad de las empresas. Si estas empresas fuesen obligadas a considerar como costes el conjunto de daños que transfieren a la colectividad, probablemente los daños ambientales producidos se reducirían, (...), (Russi, 2012).

Esta autora afirma que los pasivos ambientales son “la suma de daños no compensados producidos por una empresa al medio ambiente a lo largo de su historia, en su actividad normal o en caso de accidente. Son sus deudas hacia la comunidad donde opera”.

Cedron Lassús, (2013) menciona que las operaciones mineras tanto superficiales como subterráneas, producen gran cantidad de material de desecho rocoso conocido como escombros o desmontes a partir de las rocas estériles sin valor económico que hay que extraer para permitir el

minado de la mena o mineral con valor económico. Si bien la minería subterránea suele producir cantidades menores pero apreciables, en ambos casos es común depositar este desmonte en áreas superficiales, en rumas que constituyen las llamadas escombreras.

Como se menciona anteriormente, las actividades mineras subterráneas y a cielo abierto, que están en operación o inactivas, generan grandes cantidades de desechos rocosos y escombros, que tienen menor contenido de mineral y valor económico. Es importante tener en cuenta que los escombros producidos en las minas se depositen en las escombreras para luego ser tratados y utilizados en diferentes usos.

En algunas ocasiones puede existir cierto consenso en considerar el riesgo como un factor definitorio, “tan solo se consideran Pasivos Ambientales Mineros (PAM) a aquellos elementos asociados a actividades mineras abandonadas que representen un riesgo potencial permanente sobre la salud de las personas, la biodiversidad y el medio ambiente”, (Alberruche Arranz & Rodríguez, 2014).

Estos investigadores señalan, que los Pasivos Ambientales Mineros Metalúrgicos (PAMM), son actividades mineras que no están en proceso de funcionamiento y dejan desechos mineros o escombreras que tienen menor contenido de minerales, sin hacer ningún tipo de tratamiento, esto pueden presentar un riesgo para los seres vivos que se encuentran alrededor de dichas actividades.

En el mundo se desarrollan actividades minero metalúrgicas que generan Pasivos Ambientales para lo cual cada país tiene su ley de evaluación del impacto ambiental que estos y otros desechos provocan. Como Pasivo Ambiental “se conocen a aquellas instalaciones efluentes, emisiones, depósitos de residuos producidos por las operaciones mineras, abandonadas o activas que actualmente constituyen un riesgo para la salud de la población y del ecosistema”, (Ministerio de Energía y Minas de Perú, 2015).

Sotomayor (2015), señala que los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) vienen a ser los daños no compensados producidos por una determinada empresa al medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida (exploración, construcción, operación y cierre); es decir, se trata de una deuda a la comunidad, donde la operación minera se ha realizado o se encuentra activa en el presente y con proyecciones futuras; los PAM son daños que generan lesiones en los factores ambientales, incluidos los seres humanos, cuyo pago de reparación o compensación del daño ocasionado por la

empresa no ha sido asumido y en muchas ocasiones la responsabilidad recae en la sociedad en su conjunto.

De modo, frente a la existencia de pasivos ambientales es necesario recurrir no solo a una remediación o mitigación de los impactos ocasionados, sino también a la exigencia del resarcimiento o indemnización de los daños provocados, cuya valoración debe ser incluido en los costos del proyecto minero.

Como se analiza antes los pasivos ambientales son perjudiciales desde el inicio hasta el cierre de las operaciones mineras, ya que estos daños ocasionan serios problemas de contaminación para el medio ambiente y los seres vivos. Las empresas mineras no han asumido la responsabilidad de remediar el área dañada y la indemnización de los daños provocados, para las reparaciones ambientales cuyos costos deben ser incluidos en el proyecto minero para la recuperación ambiental.

Por lo general los pasivos ambientales se encuentran ubicados donde existen o han existido actividades mineras sin un tratamiento requerido, convirtiéndose en pasivos ambientales mineros, detectado como el principal foco de contaminación y deterioro medioambiental que afecta irremediablemente el presente y el futuro del mundo.

Como gran referencia de la temática también se tiene la Unión Europea que cuenta con la directiva sobre responsabilidad ambiental, que establece un marco basado en el principio de que "el que contamina paga" para la prevención y remediación de los daños ambientales, definiéndose como daño ambiental a especies protegidas, hábitats naturales y daños al agua y al suelo. Aunque en esta investigación solo se tendrán en cuenta las definiciones de pasivos ambientales la de los países latinoamericanos.

La terminología de pasivos ambientales mineros posee varias connotaciones, en dependencia del país que los aborde.

Un pasivo ambiental minero se define según la Subdirección de Evaluación y Seguimiento de la Autoridad nacional de Licencias Ambientales (ANLA), como: "Obligación legal, presente, de una empresa o persona natural de hacer un gasto futuro, debido a la ejecución de una actividad, uso, vertimiento o desecho de una sustancia en particular que afecta, daña o agota de manera peligrosa los recursos naturales y/o el ambiente". (Martínez, 2015, pág. 11).

En Colombia no hay una legislación establecida aún para evaluar los PAM pero se han propuesto varias definiciones como:

- Se denomina PAM a la obligación de incurrir en un gasto por una persona como consecuencia de una responsabilidad cuantificable económicamente, causada por actividades mineras inactivas o abandonadas que generan un riesgo para la salud y el patrimonio.
- Se entiende por PAM “la obligación económica causada por un daño ambiental generado por actividades mineras inactivas o abandonadas que pone en riesgo la calidad de vida, el ecosistema, bienes públicos o privados”, (Arango, 2012).
- Pasivo ambiental minero es una obligación, una deuda derivada de la necesidad de la restauración, mitigación o compensación por un daño ambiental o impacto no gestionado. Este pasivo entonces, es considerado como tal cuando afecta de manera perceptible y cuantificable elementos ambientales naturales (físicos y bióticos) y humanos, es decir la salud, la calidad de vida e incluso bienes públicos (infraestructura) como parques y sitios arqueológicos, (Almirantes, 2013).
- Pasivo Ambiental Minero es “un área donde existe la necesidad de restauración, mitigación o compensación por un daño ambiental o impacto no gestionado, producido por actividades mineras inactivas o abandonadas que pone en riesgo la salud, calidad de vida o bienes públicos o privados”, (González, 2008).
- En el año 2015 en los Talleres para la gestión de los PAM se concibe como: impactos ambientales negativos, ubicados y delimitados geográficamente, que no fueron oportuna o adecuadamente mitigados, compensados, corregidos o recuperados; causados por actividades antrópicas y que pueden generar un riesgo a la salud humana o al ambiente. (Ambiente-Innova., 2015).

*En Cuba no existe una definición exacta sobre los pasivos ambientales mineros metalúrgicos, las leyes existentes no lo definen, por lo que “el análisis de los PAM es casi nulo entre las autoridades, especialistas y dirigentes empresariales, no se cuenta con una*

*definición precisa, aunque si cuenta con varios criterios producto de investigaciones realizadas a lo largo de más de 50 años, (Ponce, 2011).*

Sin embargo Ponce N, (2011) afirma que, los Pasivos Ambientales Mineros es la obligación u obligaciones financieras que tienen las personas naturales y jurídicas para la reparación de los daños que han causado al medio ambiente o por el incumplimiento de la legislación ambiental, se tiene entonces que los PAM son dichas obligaciones financieras para la reparación de los daños causados al entorno por la actividad minera e impactos ambientales provocados por ella, así como el incumplimiento de la legislación minera y ambiental al respecto existente en Cuba, (p.2).

A los PAM se le debe prestar gran atención pues ellos no se limitan a lo que sucede dentro de los límites de la propiedad o concesión minera activa en cuestión, sino que los sobrepasa y mientras más pronto se identifiquen es mejor ya que muchos pasivos son procesos activos. Así, por ejemplo, la emisión de polvo o partículas, propia de la minería, o la contaminación de aguas superficiales y/o subterráneas, podría estar dañando la salud de comunidades vecinas y/o zonas aledañas, (Ponce N. , 2011, pág. 2).

Es importante señalar que la conceptualización de PAM considerada en los diferentes países analizados no establece una definición técnica común, sino por el contrario, este es uno de los principales problemas que presenta esta temática. *Por lo que de manera general se entiende como PAM “aquellos residuos sólidos o líquidos generalmente peligrosos para el ambiente y/o la salud humana que quedan como remanentes de una actividad minera determinada”, (Infante, 2011, pág. 3).*

Considerándose de manera complementada los PAM como una fuente de peligro latente tanto para las personas, los ecosistemas, como para el ambiente en general, por ende, remediar, mitigar y compensar los efectos que estos han producido en los territorios en donde se emplazan, así como restaurar ecosistemas cuando sea posible, es la labor que debiese primar en las actuales autoridades de Gobierno, (Yurisch, 2016).

De acuerdo con la Ley 28271 y el D.S. 059-2005-EM, los pasivos ambientales mineros se consideran a aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, depósitos de residuos producidos

por operaciones mineras, que hayan sido abandonadas o permanezcan inactivas y constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, seguridad, el ecosistema y la propiedad; desde su generación y permanencia en el tiempo, no ha sido incluido en ningún estudio ambiental como es el caso del programa de adecuación y manejo ambiental, que en la actualidad es obligatorio considerar en el estudio de impacto ambiental, declaración de impacto ambiental y cierre de minas, entre otros.

Las actividades minera metalúrgicas, a través del tiempo, dieron origen a la formación de los pasivos mineros, cuyos componentes se indican a continuación: labores subterráneas de la mina, labores de tajo abierto, depósitos de desmontes (botaderos), depósitos de relaves, pilas de lixiviación, generación de aguas ácidas, descarga de sedimentos, residuos metalúrgicos, instalaciones de planta concentradora, Instalaciones de talleres de mantenimiento, subestaciones eléctricas, estaciones de combustible, instalaciones de campamentos y oficinas, rellenos sanitarios, alteración del paisaje y deforestación.

### **1.3 Caracterización de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM)**

El estado promulgó el 02 de julio del año 2004 la Ley N° 28271, donde en el artículo N° 2 regula los pasivos ambientales de la actividad minera como: “todas las instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen la propiedad”, (Cedrón Lassús, 2013, pág. 33), entre los cuales se tienen

**Depósito de desmonte:** Es el área ocupada por los materiales extraídos del interior de la mina o del área de explotación a cielo abierto, que no contiene valores extraíbles u/o que su extracción no es económica, por lo que se han dispuesto en un lugar donde no se realizan actividades de explotación.

**Chimenea:** Es una perforación que se ejecuta en la roca y que tiene la misión de comunicar a más de una galería en el interior de las minas subterráneas; las que salen a superficie generalmente sirven para la ventilación de la mina.

**Cortes:** Es el área cercana a la bocamina (ingreso), que por su estructura y composición es similar a un rajo.

**Bocamina:** Es un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y es el espacio físico por donde se hace el ingreso a una mina subterránea. Se puede decir que es el límite entre el espacio exterior y el espacio interior donde se realizan las actividades mineras de explotación de minerales. Sus características están en función al tamaño (ancho x alto) que le dan facilidades para los accesos de los trabajadores, los equipos de transporte para la extracción del mineral y/o los camiones.

**Depósito de relave o relaveras:** Es el área ocupada por los materiales (de grano fino) sin valor, que se obtiene como producto de los procesos de concentración de minerales por el método de flotación. Estos relaves se han dispuesto en forma de pulpa, eliminando el agua después de la sedimentación de los sólidos. Sus características son de material fino de fácil erosión por la acción del viento y de las escorrentías. Su disposición exige generalmente la construcción de una presa de sostenimiento, que por lo general se construye con el mismo material grueso que está contenido en la pulpa. Las ubicaciones son diversas, generalmente de acuerdo a las características del terreno que se usa, pudiéndose ubicar en laderas, quebradas o pampas.

**Media barreta:** Son labores de exploración que cuentan con dimensiones menores a las bocaminas y de poca profundidad.

**Edificaciones e instalaciones:** Son los espacios como: planta concentradora, laboratorios, campamentos, oficinas, talleres, almacenes, suministro de energía y agua, que no son utilizados en la actualidad.

**Tajo:** Es el espacio vacío dejado por la explotación de minerales a cielo abierto; este ha quedado generalmente delimitado por caminos de acceso y plataformas de circulación de los camiones. Son espacios mucho mayores que los rajos.

**Rajo:** Es el área de explotación por lo general de los afloramientos de minerales de veta y que tienen dimensiones pequeñas.

**Socavón:** Es el espacio vacío que queda después de la explotación de la mina, cuya ubicación es inmediatamente después de la Bocamina. Estos pueden ser muy superficiales como profundos dependiendo del volumen del mineral que se ha extraído.



#### **1.4 Gestión de los Pasivos Ambientales Mineros**

A continuación, se describen los fundamentos teóricos de los Pasivos Ambientales Mineros sólidos, “piscinas de sedimentación” y “gabros”, existente en el yacimiento Moa Oriental de la Empresa Moanickel S.A, Pedro Sotto Alba de Moa, que permitan conocer sus principales características y faciliten la toma de decisiones sobre sus posibles usos industriales de una forma sostenible, contribuyendo de esta forma al desarrollo local y del país.

El uso de los desechos serpentínicos asociados a los yacimientos ferroniquelíferos cubanos, es de gran utilidad para la sociedad, debido a que no solo resolvería el problema de contaminación que representa su acumulación, sino que también, se podrían utilizar a escala industrial en la “construcción de obras de diversas índoles tales como tejados, compuertas para presas hidráulicas, pavimentos, balastro para ferrocarriles, en bloques de hormigón para termoeléctricas y termonucleares debido a las propiedades de los minerales de serpentina, así como en la agricultura para fertilizar suelos ácidos debido a su contenido de magnesio”, (Montero Gil, 2019, pág. 6).

#### **1.5 Principales PAMs existentes en la Empresa Moanickel S.A**

La Empresa Moanickel S.A extrae anualmente, como parte de las operaciones mineras necesarias, para la alimentación a la planta metalúrgica, más de cinco (5) millones de toneladas de mineral. En este proceso se generan gran cantidad de pasivos ambientales o residuales mineros, que no son estudiados ni empleados de manera sostenible, quedando en la mayoría de los casos, en las propias áreas mineras o formando parte de acumulaciones en las márgenes de los caminos mineros o en otras áreas designadas arbitrariamente para conservarlos.

Entre los pasivos menos empleados y más generados por el laboreo minero de la empresa, se destacan los escombros lateríticos, las piscinas de sedimentación y los gabros; las principales características de los dos últimos, constituyen el objeto de esta investigación y se describen a continuación.

## **Escombros Lateríticos**

La Empresa Moa Nickel S.A procesa anualmente alrededor de 4,0 MM toneladas de mineral de diferentes frentes de explotación, conformando mezclas de los yacimientos Moa Oriental y Moa Occidental, con una producción final promedio de alrededor de 28 000 toneladas al año, utilizando para el procesamiento de sus minerales la tecnología de lixiviación ácida a presión, (González Roché, 2017).

Los principales depósitos minerales del yacimiento Moa occidental no son utilizados por esta empresa, por lo que constituyen pasivos ambientales metalúrgicos, generados por las operaciones minera y metalúrgica, identificados principalmente, como: concreciones ferruginosas o escombros lateríticos, (García Lobaina, 2018).

La Empresa extrae en el año, como parte de las operaciones mineras necesarias, para la alimentación a la planta metalúrgica, más de cinco (5) millones de toneladas de mineral. En este proceso se generan gran cantidad de pasivos ambientales o residuales mineros, que no son estudiados ni empleados de manera sostenible, quedando en la mayoría de los casos, en las propias áreas mineras o formando parte de acumulaciones en las márgenes de los caminos mineros o en otras áreas designadas arbitrariamente para conservarlos.

Entre los pasivos menos empleados y más generados por el laboreo minero de la empresa, se destacan los escombros lateríticos, en específico el rechazo serpentinitico; este último constituye el objeto de esta investigación.

## **Piscinas de sedimentación**

Una piscina de sedimentación es “una excavación artificial destinada a la acumulación de sólidos y líquidos con alto contenido de sedimentos, cuya función principal es permitir la decantación de los sólidos en suspensión en un determinado período de tiempo.” (Ministerio de Minas y energía, 2017).

Para el diseño de las lagunas de sedimentación se debe tener en cuenta la cantidad de agua que será retenida para que se lleve a cabo correctamente el proceso de sedimentación., donde “el factor principal que influye para el cálculo del volumen de la laguna, es la

sedimentación de las partículas que son arrastradas por las aguas de escorrentía durante un aguacero fuerte”, (Moncaleano, Rivera, & Giraldo, 2013, pág. 5).

En la práctica es más favorable utilizar varias piscinas por las siguientes razones:

- El paso de una piscina a otra mejora el tiempo de retención.
- Su construcción es más fácil.
- Su limpieza es más sencilla y se puede hacer por métodos convencionales.
- Presenta menores problemas de inestabilidad. (Moncaleano, Rivera, & Giraldo, 2013).

Las piscinas de sedimentación previenen, corrige y mitiga el impacto ambiental que se produce sobre un cuerpo de agua, por las descargas de aguas residuales provenientes de los procesos de operación. Además de controla las aguas residuales con carga de sólidos, permite el control de aguas residuales ácidas o alcalinas y el control de aguas de escorrentía, (Pineda Lobaina, 2019).

### **Gabros**

*El gabro es una roca ígnea intrusiva de origen magmático, su composición química es máfica o básica es decir que tiene entre 42% al 52% de sílice (SiO<sub>2</sub>), presenta textura fanérita, su color es oscuro o melanocrática debido a que se encuentra enriquecido en minerales máficos. Conformado por minerales principales o dominantes de: piroxeno (augita) y plagioclasa cálcica (anortita, bitownita), los minerales accesorios son: anfíbol y olvino, los usos principales se encuentran en la industria de la construcción, la roca ígnea análoga es el basalto, (Jimenes Díaz, 2019).*

*El gabro resiste bastante bien a la intemperie, el desgaste y el desgarro, lo que lo convierte en una roca muy deseable, ya que requiere la menor cantidad de mantenimiento en comparación con otros tipos de rocas utilizadas para los mismos productos. También puede contener cantidades muy pequeñas de algunos metales raros como el mineral ilmenita, níquel, cromo o platino.*

*Este pasivo ambiental es muy valorado en las industrias de la construcción especialmente “para esculturas de revestimiento (granito negro) debido a su alta dureza y resistencia, su color oscuro llamativo y excelente facilidad de pulido”. (Ramírez Matos, 2001, pág. 1).*

## **1.6 Conclusiones del Capítulo I**

1. La empresa Moa Nickel S.A genera gran cantidad de pasivos ambientales mineros, que no cuentan actualmente, con un estudio profundo que permita su utilización de manera sostenible.
2. Las piscinas de sedimentación que se forman en las áreas de minería de la empresa Moa Nickel S.A, constituyen pasivos que, por sus características físico-químicas, pueden ser reincorporadas al proceso productivo de la empresa, representando un aporte al desarrollo sostenible de la sociedad.
3. Los gabros existentes en los perfiles litológicos de los yacimientos lateríticos concesionados a la empresa, son considerados como intercalaciones y no están definido sus posibles usos industriales, a partir de los desconocimientos de sus características físicas, químicas, mineralógicas y térmicas.
4. Los pasivos ambientales mineros estudiados “Piscinas de sedimentación” y “gabros”, pueden ser empleados de una manera sostenible y convertirse en activos metalúrgicos.

## **CAPITULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **2.1 Características del Yacimiento de Moa Oriental**

Este yacimiento por su naturaleza “es un depósito de carácter residual, producto a la meteorización de las rocas del basamento”, (Montero Gil, 2007), en este proceso de transformación han desempeñado un papel fundamental los agentes atmosféricos, hídricos y biogénicos, los que dieron lugar al surgimiento de nuevas rocas (perfil de corteza de intemperismo) con textura, estructura y composición mineral y química propia; el basamento de las áreas ocupadas por el yacimiento anteriormente mencionado, está compuesto mayormente por harzburgitas serpentinizadas, las cuales representan prácticamente más del 95 %.

La superficie de las rocas, objeto de esta investigación, está ampliamente desarrollada por la corteza de intemperismo laterítico, por lo que a continuación se resumen las principales características de este pasivo ambiental, que contribuyen a explicar sus características físico-químicas, que posteriormente contribuirán a la propuesta de sus posibles usos industriales.

#### **Características Tectónicas**

Según López Peña (2006), los yacimientos lateríticos de Moa - Oriental y Camarioca – Norte, se encuentran bajo la influencia directa de una gran falla de primer orden, que sigue la dirección del Río Moa, y a partir de ella, se desarrolla otra estructura de segundo orden que sigue la dirección del arroyo los Lirios; ambas estructuras constituyen los límites del yacimiento por el Oeste y el Este respectivamente. A partir de estas dos grandes estructuras se desarrollan una red de fracturas en toda el área en forma de plumaje, las cuales tienen dirección predominante Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste.

Las características antes mencionadas según Gámez (2011), fueron determinadas sobre la base de la interpretación de las fotos aéreas, destacando los aspectos siguientes:

A partir de las estructuras de primero y segundo orden, se desarrolla en toda el área, una red de estructuras en forma de plumaje, las cuales tienen dirección predominante Noreste-Noroeste, donde los elementos tectónicos tienen carácter pre-mineral, concluyéndose que, tomando como base el grado de conservación de los cuerpos minerales, estos se hubieran desmembrado y destruido por los agentes erosivos, (pág. 34).

Estas características confirman el estado de alteración que poseen los desechos serpentínicos del yacimiento Moa Oriental, y dentro de ellos especialmente, el pasivo ambiental “rechazos de la planta de preparación de mineral”, estudiados en esta investigación, con el objetivo de lograr con ellos un desarrollo sostenible para el municipio y el país.

### **Características Geomorfológicas**

El yacimiento Moa Oriental, “se encuentra ubicado dentro del bloque morfotectónico El Toldo”, (Montero Gil 2007), siendo este el de máxima extensión en la región y correspondiéndole también los máximos valores de levantamiento relativo. Dicho bloque litológicamente está conformado en superficie por las rocas máficas y ultramáficas de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas, específicamente el área ocupada por el yacimiento Moa Oriental, presenta una serie de características geomorfológicas que han permitido el desarrollo y conservación de una potente corteza de meteorización, representada por un manto esencialmente laterítico ligeramente continuo, que cubre una superficie de aproximadamente 8,2 km<sup>2</sup>, área que enmarca la zona donde fueron tomadas las muestras de este pasivo, para el desarrollo de la investigación.

### **Características rocosas del substrato**

Las litologías a partir de las cuales se formaron las potentes cortezas de intemperismo que hoy aparecen, “están constituidas, fundamentalmente, por harzburgitas serpentizadas y subordinadamente gabros y dunitas”, (Gámez Alberto 2011), las primeras aparecen prácticamente en toda el área de estudio y microscópicamente se caracteriza por ser rocas densas y masivas de granos finos a medios, encontrándose por lo general agrietadas en

diferentes grados. El color de la roca fresca es de gris verdoso a gris oscuro, en ocasiones hasta negro, la masa volumétrica de esta oscila entre 2,40 y 2,60 g/cm<sup>3</sup>, en su composición mineral se encuentran los del grupo de la serpentinita (Crisotilo, Lizardita, Antigorita, etc.), cuyo contenido anteriormente alcanza el 60 %.

Los minerales serpentiniticos de los yacimientos Moa Oriental y Occidental, están compuestos, principalmente, por harzburgitas serpentinizadas, en gran parte del basamento de estos yacimientos, como se muestra en la tabla 2.

Los minerales primarios a veces representan entre el 5 y 30 %, en raros casos pueden alcanzar hasta 50 %. En pequeñas cantidades aparecen en su composición cromo espinelas y magnetita en forma de granos independientes y pequeños agregados, como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla No. 1:** Composición química promedio (%), de las harzburgitas serpentinizadas del basamento de los yacimientos de la Empresa Pedro Sotto Alba de Moa.

Sector	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	Otros
Norte	36,93	0,81	9,05	1,92	0,45	33,56	0,15	0,20	0,32	16,61
Centro	41,07	0,40	6,95	1,20	0,31	36,15	0,09	0,26	0,28	13,29
Sur	39,22	0,68	7,20	1,41	0,39	35,48	0,10	0,31	0,38	14,83

**Fuente:** (Gámez, 2011)

Los gabroides presentes en el basamento del yacimiento Moa Oriental, se caracterizan por presentar “una estructura masiva, de rocas densas y compactas, de color fresco jaspeado y gris verdoso, con tonalidades claras y oscuras en relación directa con su composición mineralógica”, (Gámez, 2011, pág. 33).

Las tonalidades de color de los rechazos serpentiniticos del yacimiento de Moa Oriental también son rocas densas y compactas, sus tonalidades varían de claras a más fuertes de acuerdo al grado de humedad y la composición mineralógica que posean.

Según Gámez (2011), en su informe plantea que en estos yacimientos predominan las cortezas de intemperismo bien desarrolladas (in situ) con horizontes bastante estables y con una variabilidad relativamente alta de los horizontes serpentiniticos y en zonas de pendientes más fuertes y de más rápido intercambio de las aguas, donde se observa una



reducción en el perfil litológico de intemperismo, apareciendo perfiles de estructuras reducidas.

Todos estos elementos bibliográficos, permiten confirmar que los rechazos serpentínicos del yacimiento Moa Oriental, son rocas que pertenecen a la corteza de intemperismo, con un elevado grado de alteración geológica, que provoca que sus mayores contenidos sean de silicio y magnesio, con menores valores de níquel y cobalto, lo que las convierte en un pasivo ambiental, no admitido por el proceso metalúrgico de la Empresa Pedro Sotto Alba. De ahí la necesidad de estudiar sus principales características, con vistas a tomar decisiones sobre sus posibles usos industriales

## **2.2 Características de los PAM del Yacimiento Moa Oriental**

Los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), se caracterizan fundamentalmente por constituir residuos de las actividades de procesamiento de rocas y minerales en la industria cubana del níquel. A continuación se exponen las principales características de residuales, piscinas de sedimentación y los gabros, presentes en los diferentes depósitos del yacimiento Moa Oriental, pertenecientes a la empresa Moa Nickel S.A.

### **2.2.1 Características de las Piscinas de Sedimentación**

Una piscina de sedimentación es “una excavación artificial destinada a la acumulación de sólidos y líquidos con alto contenido de sedimentos, cuya función principal es permitir la decantación de los sólidos en suspensión en un determinado período de tiempo.” (Ministerio de Minas y energía, 2015).

Previene, corrige y mitiga el impacto ambiental que se produce sobre un cuerpo de agua. Por las descargas de aguas residuales provenientes de los procesos de operación. Controla las aguas residuales con carga de sólidos. Control de aguas residuales ácidas o alcalinas. Control de aguas de escorrentía. (Pineda Lobaina, 2019).

### **Diseño de lagunas de sedimentación**

Para el diseño de las lagunas de sedimentación se debe tener en cuenta la cantidad de agua que será retenida para que se lleve a cabo correctamente el proceso de sedimentación.,

donde “el factor principal que influye para el cálculo del volumen de la laguna, es la sedimentación de las partículas que son arrastradas por las aguas de escorrentía durante un aguacero fuerte”, (Moncaleano, Rivera, & Giraldo, 2013, pág. 5).

### **Caudales de diseño y rangos de operación**

La laguna de sedimentación está diseñada para que operen en un amplísimo rango de caudales, debido a “que ellos concentran las lluvias que se precipiten directamente sobre los botaderos y las zonas de drenajes que generan aportes de sedimentos, de tal manera, que pueden retener todo el sedimento aportado”, (Moncaleano, Rivera, & Giraldo, 2013)

En la práctica es más favorable utilizar varias piscinas por las siguientes razones:

- El paso de una piscina a otra mejora el tiempo de retención.
- Su construcción es más fácil.
- Su limpieza es más sencilla y se puede hacer por métodos convencionales. Presenta menores problemas de inestabilidad. (Moncaleano, Rivera, & Giraldo, 2013).

### **Tipos de estructuras**

Existen dos tipos de estructuras de sedimentación “las excavadas en el propio terreno con o sin revestimiento y las construidas como pequeñas presas de tierra”, (Moncaleano, Rivera, & Giraldo, 2013, pág. 13).

### **Operaciones para la construcción de las piscinas de sedimentación**

Según (Moncaleano, Rivera, & Giraldo, 2013) los pasos para la construcción de una piscina de sedimentación son los siguientes:

1. Desarrollo de movimientos de tierras que incluye las actividades siguientes:
  - Se deben realizar las perforaciones necesarias para caracterizar el tipo de suelo del lugar escogido para la ubicación de las lagunas
  - El despalme consiste en el retiro del material que se considera inapropiado, ya sea para el fondo de la laguna o para la fundación de los diques, tuberías u obras de arte.
2. Excavación y escarificación, con las tareas siguientes:

- Las excavaciones se ejecutan con el objeto de obtener los niveles deseados para el fondo, así como para formar las secciones del proyecto. Algunas entidades admiten una tolerancia máxima de 10 cm, entre los cortes proyectados y los ejecutados.
- La escarificación consiste en la rotura de unos 15 cm del terreno sobre el cual se van a formar los terraplenes. Se entiende que estos 15 cm son después de efectuado el despalme. La escarificación se realiza con el fin de lograr una liga íntima entre el terreno natural y el material de los terraplenes.

### 3. Impermeabilización del fondo, que comprende:

Los estudios de conductividad hidráulica y permeabilidad del material encontrado en el fondo, serán los que indiquen si a este se le deberá hacer algún tratamiento especial o revestirlo con algún material impermeable natural (arcilla) o artificial (membranas sintéticas).

La preparación del terreno en el cual se ubicará una piscina de sedimentación natural, depende en gran medida de la ubicación, teniendo en cuenta el suelo, sus características y del material que contendrá la misma.

### **Importancia de las piscinas de sedimentación**

Las conformaciones de las piscinas de sedimentación son de gran importancia para el desarrollo y conservación de los recursos minerales, ya que tienen como objetivos principales, prevenir, corregir y mitigar el impacto ambiental que se produce sobre un cuerpo de agua. Por las descargas de aguas residuales provenientes de los procesos de operación. Controla además las aguas residuales con carga de sólidos y favorece el control de las aguas residuales ácidas o alcalinas, así como el control de las aguas de escorrentías que se generan con frecuencia en las actividades mineras.

## **Impacto a prevenir o mitigar**

La conformación de las piscinas de sedimentación en las áreas mineras de la empresa Moa Nickel S.A, garantiza el aumento de la concentración de sólidos en suspensión, y provocan la contaminación de los cuerpos de agua con grasas y aceites; también incrementan la temperatura de los cuerpos de agua. Adicionalmente y a pesar de que está establecido por exigencias de la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM), el no vertimiento de líquidos, sin tratamiento, a los cuerpos de agua.

Estos impactos negativos, que ocasionan las piscinas de sedimentación, pueden ser minimizados como resultado de su caracterización física, química, mineralógica y térmica, que permitan a partir de este conocimiento, la toma de decisiones sobre su posible utilización de manera sostenible en la industria.

### **2.2.2 Características de los Gabros**

Los gabros son minerales que se encuentran, generalmente, de manera intercalada en los yacimientos lateríticos de la región de Moa-Baracoa, y por las particularidades propias de las tecnologías de producción de níquel vía ácida a presión (HPAL), constituyen impurezas o material estéril, que entran en la composición de los minerales que se alimentan a este proceso productivo. A continuación, se exponen las principales características de este pasivo ambiental minero.

#### **Tipos de minerales presentes en el gabro**

Además de su asociación con la ilmenita, el cromo, el níquel y el platino, ocasionalmente el gabro contiene oro, plata o cobalto, minerales individuales presentes en los depósitos donde se formó la roca.

El gabro se halla en depósitos bajo la tierra, cerca de los volcanes y las cortezas oceánicas de composición basáltica, o debajo de los basaltos que se forman por la inundación de ríos como la Colombia en Estados Unidos. Por el lento enfriamiento del magma pueden llegar a formarse grandes cristales, del tamaño de los canales por donde fluye la lava.

Los cristales de gabro se caracterizan por un relieve alto bajo la luz natural, y pocas maclas bajo luz polarizada.

### **Textura de los gabros**

Los gabros, generalmente, tienen una textura fanerítica, debido a que cristaliza bajo superficie a grandes profundidades, al ser una roca oscura suele ser difícil ver la textura, sin embargo, cuando se adquiere experiencia se logra apreciar el contacto entre los minerales a manera de cristales entrecrecidos.

El mineral predominante en la composición mineralógica de los gabros son las plagioclasas, compuesto generalmente por los minerales labradorita o bytownita, mientras que en menor proporción están los clinopiroxenos, como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla No. 2:** Composición mineralógica del gabro normal, (%).

<b>Roca</b>	<b>Plagioclasas</b>	<b>Clinopiroxeno</b>
Gabro normal	50-90	50-10

**Fuente:** (Ramírez Matos, 2001).

### **Clasificación de los gabros**

Los gabros pueden clasificarse, según contengan minerales añadidos de plagioclasas y piroxenos, en:

- Gabro (sensu stricto), roca compuesta de plagioclasas con augita (variedad de clinopiroxeno) y a veces con olivino.
- Hiperita, roca compuesta de plagioclasas con augita y con hiperstena (variedad de ortopiroxeno) y a veces con olivino.
- Norita, roca compuesta de plagioclasas con hiperstena y a veces con olivino.
- Evjita, roca compuesta de plagioclasas con hornblenda.
- Bojita, roca compuesta de plagioclasas con hornblenda y augita.
- Troctolita, roca compuesta principalmente de olivino y plagioclasas.

Diferentes autores han establecido que, “Si un gabro contiene más de 5% de volumen de olivino se llama gabro de olivino y si tiene más de 5% de cuarzo, gabro de cuarzo, pudiendo contener además, apatita, magnetita o ilmenita como minerales accesorios”. (Galindo Medina, 2017, pág. 15). Todo lo cual demuestra, las variedades de gabro que existen en la naturaleza.

De manera general, se considera que el gabro es una roca ígnea intrusiva de origen magmático, “su composición química es máfica o básica es decir que tiene entre 42% al 52% de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), presenta textura fanérita, su color es oscuro o melanocrática debido a que se encuentra enriquecido en minerales máficos”, (Galindo Medina, 2017, pág. 17).

Normalmente esta conformado por “minerales principales o dominantes de: piroxeno (augita) y plagioclasa cálcica (anortita, bitownita), los minerales accesorios son: anfíbol y olivino, los usos principales se encuentran en la industria de la construcción, la roca ígnea análoga es el basalto”, (Dirección de Minería y Geología, 2015, pág. 23).

Es característico de este material, su “resistencia a la intemperie, el desgaste y el desgarro, lo que lo convierte en una roca muy deseable, ya que requiere la menor cantidad de mantenimiento en comparación con otros tipos de rocas utilizadas para los mismos productos”, (Gámez Rodríguez, 2001, pág. 25). También puede contener cantidades muy pequeñas de algunos metales raros como el mineral ilmenita, níquel, cromo o platino.

### **Tratamientos a los Gabros en Cuba**

El estudio del gabro surge en el año 1987, principalmente, “a partir de las dunitas serpentínizadas ubicadas en varias zonas de la región de Moa, por un colectivo de profesores de la facultad de geología”, (Gámez Rodríguez, 2001, pág. 2). Estudios que no han tenido una continuidad adecuada, ya que aún se desconocen muchas de sus características físicas, químicas, mineralógicas y térmicas, que permitan fundamentar y decidir sobre sus posibles usos, que contribuyan al desarrollo sostenible de los recursos naturales, con que cuenta nuestro municipio.

Yennis Ramírez Matos en el 2001, realizó una investigación relacionada con el gabro normal, con el objetivo de caracterizar desde el punto de vista físico – químico y físicas del gabro normal presente en la zona Amores. Para ello se estudiaron los parámetros

mineralógicos donde se obtuvo como resultado que los análisis mineralógicos aplicando la técnica de difracción de rayos x permitieron comprobar el rango de temperaturas entre 150 a 855 °C que mantiene la estabilidad de las fases principales: Plagioclasas y piroxenos , pero no se determinó los principales parámetros termodinámicos del proceso de descomposición térmica del material estudiado.

Ormeidis Gámez Rodríguez en el 2001, realizó una investigación sobre el gabro olivínico, con el objetivo de caracterizar desde el punto de vista físico – químico y físicas del gabro olivínico presente en el yacimiento cromitas Merceditas. Donde se obtuvo que al utilizar el método de Achar se determinaron los principales parámetros cinéticos donde sobresale el valor de energía de activación igual 135,15 Kj/mol necesario para alcanzar la descomposición térmica del gabro olivínico de la zona Merceditas, pero no se realizó un estudio de preparación mecánica por vía húmeda.

Galindo Medina, Yunaimy en el 2017, realizó una investigación relacionada con la evaluación de mezclas de Gabros de Cayo Guam con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos , con el objetivo de evaluar las características que debe tener el Gabro y tobas vítreas para ser utilizado en la producción industrial de ladrillos de cerámicos rojas y su influencia sobre los procesos de secado y cocción , donde se demostró que es factible utilizar las mezclas de gabros de la zona de Cayo Guam y las tobas vítreas de Sagua de Tánamo , para su utilización en la industria de materiales de la construcción , pero no se evaluó con profundidad el impacto económico , ecológico y social de la adición de tobas vítreas como aditivo en la fabricación de ladrillos de cerámica , a partir de estudio de factibilidad económica.

Resumiendo, las características de los pasivos ambientales mineros estudiados, la empresa niquelífera Moa Nickel S.A., de Moa, genera gran cantidad de residuales, que no son utilizados actualmente, al no contar con un estudio profundo y sistemático que permita su utilización de manera sostenible.

En el caso de las piscinas de sedimentación que se forman en las áreas de minería de la empresa, por las características físico-químicas que posee, pudiera ser reincorporada al proceso productivo, representando un aporte significativo al desarrollo sostenible de la sociedad.

Mientras que los gabros son considerados como intercalaciones y no están definidos sus posibles usos industriales, a partir de los desconocimientos de sus características físicas, químicas, mineralógicas y térmicas.

Por último, los pasivos ambientales mineros estudiados “Piscinas de sedimentación” y “gabros”, pueden ser empleados de una manera sostenible y convertirse en activos metalúrgicos, a partir del conocimiento de sus principales características, lo cual constituye el objetivo principal de esta investigación.

### **2.3 Materias primas utilizadas**

Para la realización de este trabajo se tomaron muestras representativas de las piscinas de sedimentación y de los Gabros ubicados en el yacimiento Moa Oriental, principalmente, del área 12 Camarioca Norte, en la Empresa Moanickel, Pedro Sotro Alba.

### **2.4 Selección y preparación de las muestras de estudio**

Las muestras de las piscinas de sedimentación, fueron tomadas del área 12 Camarioca Norte, de la Empresa Pedro Sotro Alba, dichas muestras fueron trasladadas hasta la planta de beneficio de minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, donde fueron secadas y preparadas. En la Figura No. 1 se muestran las áreas de objeto de estudio de esta investigación.



**Figura 1:** Imágenes de los gabros del área 12 Camarioca Norte de la Empresa PSA y de la preparación de la muestra.



## 2.5 Ensayos analíticos realizados

### 2.5.1 Análisis Químico

Los análisis químicos de las muestras experimentales fueron analizados en el Centro de Investigaciones y Desarrollo de la Industria del Níquel en Moa (CEDINIQ), empleando la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica, con el equipo que se muestra en la figura siguiente.



**Figura 2:** Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica empleado en los análisis químicos.

### 2.5.2 Análisis Mineralógico

Los análisis mineralógicos fueron analizados en el Instituto Politécnico Nacional de México para la determinación de las fases presentes en las muestras de gabro, donde se empleó el método de Difracción de Rayos X, con las características técnicas del equipo siguientes.

#### Óptica primaria:

- Voltaje: 35 kV
- Corriente: 25 mA
- Tubo Cu  $K\alpha$
- Slit: 0.6 mm.

### Óptica secundaria:

- Detector: Lynxeye
- Scan type: Continuous.
- Slit: 2.5 mm.
- Cu-Absorber: 0.05 mm

El equipo empleado fue un difractor alemán, modelo X Bruker AXS D8 Focus, cuya imagen se muestra en la figura siguiente.



**Figura 3:** Equipo de Difracción de Rayos X, empleado para los análisis mineralógicos.

### 2.5.3 Análisis Granulométrico

La caracterización granulométrica de los gabros y las piscinas de sedimentación, se realizó por vía seca y por vía humada, seleccionando el juego de tamices según la serie de Taylor.

Los tamices utilizados fueron: + 10 mm, -10+8 mm, -8+6 mm, -6+4 mm, -4+2 mm, -2+1 mm, -1+0,83 mm, -0,83+0,5 mm, -0,5+0,4 mm, -0,4+0,3 mm, y -0,3+0,2mm,-0,2+0,1mm,-0,1+0,074mm,-0,074+0,045mm,-0,045.

Estas fracciones granulométricas se utilizaron en la etapa de caracterización química y mineralógica.

Luego de homogenizada y cuarteada la muestra, por los métodos de cono y anillo, se logró una buena homogeneización de la misma, comprobada posteriormente durante el desarrollo de los análisis granulométricos y químicos.

El procedimiento empleado para la caracterización granulométrica consistió en el desarrollo de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida, de manera que la muestra se moviera continuamente sobre la superficie de los tamices, con un tiempo de tamizado de 15 minutos. Para realizar el análisis granulométrico se utilizó la tamizadora eléctrica mostrada en la figura siguiente.



**Figura 4:** Tamizadora eléctrica empleada en los análisis granulométricos.

Los análisis realizados en los laboratorios de los centros de investigación y desarrollo del Níquel (CEDINIQ) y para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), pertenecientes al Ministerio de Energía y Minas de Cuba, están certificados y avalados para la realización de ensayos físicos, químicos y mineralógicos.

## **2.6 Conclusiones del capítulo II**

1. La caracterización de los pasivos ambientales mineros, gabros y piscinas de sedimentación, del yacimiento Moa Oriental, demuestran que los mismos, están vinculados a los grados de intemperismo o meteorización que poseen los minerales de la región de Moa-Baracoa.
2. La selección y preparación de las muestras de gabros y de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental, se corresponden con la metodología existente, garantizando la selección adecuada de las fracciones granulométricas y la confiabilidad de los resultados de la caracterización realizada.
3. Los métodos y técnicas de caracterización empleadas, permiten ampliar el conocimiento sobre las particulares físicas, químicas, mineralógicas y térmicas de los PAM estudiados.

## **CAPITULO III**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La caracterización de los pasivos ambientales mineros estudiados, demostró que tanto, las piscinas de sedimentación como los gabros, existentes en los yacimientos lateríticos de la empresa Moa Nickel S.A, poseen contenidos de níquel, cobalto, hierro, cromo y otros elementos químicos, que los convierten en una materia prima perspectiva para la industria metalúrgica cubana, que como resultado de los años de explotación de los minerales lateríticos, solamente empelados para la producción de níquel y cobalto, desecha y no aprovecha de manera sostenible el resto de los componentes minerales y metales, que están presentes en los recursos naturales que poseemos.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en esta investigación, estructurada por cada uno de los pasivos estudiados.

#### **3.1 Piscinas de Sedimentación**

Las piscinas o lagunas de sedimentación constituyen residuales de los procesos mineros de las industrias del Níquel en Moa, donde se acumulan importantes contenidos de metales valiosos, que pueden ser reaprovechados de manera más eficiente, disminuyendo la contaminación ambiental que estos generan actualmente, al ecosistema de la región. A continuación se exponen las principales características de estos pasivos.

##### **3.1.1 Características del proceso natural de decantación de las piscinas de sedimentación**

Las piscinas de sedimentación están sometidas de manera natural aun proceso de decantación y lavado, pues están construidas en desniveles naturales, aprovechados por los procesos mineros de la empresa Moa Nickel, durante su construcción que provocan además el desarrollo d un proceso de beneficio artificial, como se muestra en la figura siguiente.



**Figura 5:** Proceso natural de decantación de finos entre las piscinas de sedimentación.

La acumulación sistemática y natural de estos pasivos, se ve favorecida por las lluvias, que actúan como agente lixivianante y lavador constante de los minerales y metales, presentes en estos residuales, pero que en paralelo provocan la pérdida de estos recursos naturales, los cuales pueden ser utilizados de manera sostenible por la industria Moa Nickel, al contar con importantes volúmenes de metales valiosos como níquel, cobalto, hierro y otros. En la figura siguiente se observa este fenómeno natural y el espesor de mineral útil de una de las piscinas de sedimentación de esta empresa.



**Figura 6:** Espesor promedio de la capa de finos acumulado en las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental.

### 3.1.2 Características físico-química de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental

Las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa oriental se caracterizan por la presencia mayoritaria de hierro, silicio, cromo, níquel, cobalto y magnesio, elementos químicos valiosos, presentes en este pasivo ambiental, no son utilizados por la empresa Moa Nickel S.A, que pueden ser incorporados al proceso productivo de esta planta metalúrgica. En la tabla siguiente se muestran la composición química promedio de este residuo minero.

**Tabla No. 3:** Composición físico-química promedio (%), de las piscinas de sedimentación estudiadas.

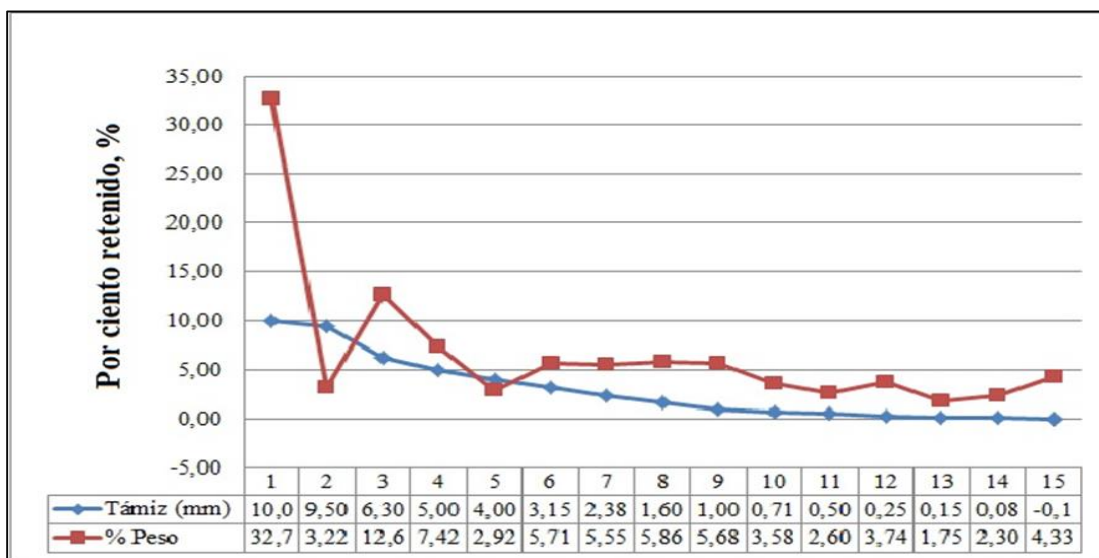
<b>Código</b>	<b>Ni</b>	<b>Co</b>	<b>Fe</b>	<b>Si</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe 2+</b>	<b>Fe 3+</b>	<b>Humedad</b>
P-1	0,649	0,074	33,67	5,51	4,78	4,37	1,25	0,36	19,58	13,96	13
P-2	0,636	0,106	25,51	8,65	7,47	3,63	1,48	0,45	17,02	8,43	17,5
P-3	1,18	0,084	34,68	5,89	4,79	3,28	1,05	0,37	19,74	14,4	19,5
<b>Promedio</b>	<b>0,82</b>	<b>0,09</b>	<b>31,29</b>	<b>6,68</b>	<b>5,68</b>	<b>3,76</b>	<b>1,26</b>	<b>0,39</b>	<b>18,78</b>	<b>12,26</b>	<b>16,67</b>

### 3.1.3 Características granulométricas

La piscina de sedimentación No. 1, se caracterizan por presentar un contenido de las fracciones mayores de 1 mm, superior al 76 %, con predominio de las clases +10 mm y 6,3 mm, como se aprecia en la tabla siguiente.

**Tabla No. 4:** Composición granulométrica por vía seca, de la piscina de sedimentación No.1 del yacimiento Moa oriental.

P-1 Tamiz (mm)	Valores Promedio			
	Peso Inicial:	1105,77		
	Peso (g)	% Peso		
10,00	374,50	32,70		
9,50	31,83	3,22		
6,30	133,00	12,65		
5,00	84,77	7,42		
4,00	32,27	2,92		
3,15	59,67	5,71		
2,38	58,73	5,55		
1,60	66,80	5,86	Mayor de 1 mm	<b>76,02</b>
1,00	63,93	5,68	Menor de 1 mm	<b>23,98</b>
0,71	39,60	3,58		<b>100,00</b>
0,50	28,77	2,60		
0,25	41,37	3,74		
0,15	19,97	1,75		
0,075	24,17	2,30		
-0,075	46,40	4,33		
<b>Total</b>	<b>1105,77</b>	<b>100,00</b>		



**Gráfico 1:** Composición granulométrica de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental.



La piscina de sedimentación ubicada en un segundo plano descendente en las áreas mineras, se caracteriza por una disminución de las fracciones mayores de 1 mm (60 %) y un incremento de las partículas finas (40,2%), como se aprecia en la tabla siguiente.

**Tabla No. 5:** Composición granulométrica por vía seca, de la piscina de sedimentación No.2 del yacimiento Moa oriental.

P-2 Tamiz (mm)	Valores Promedio			
	Peso Inicial:	1072,90		
	Peso (g)	% en Peso		
10,00	256,27	23,87		
9,50	20,50	1,92		
6,30	87,83	8,19		
5,00	65,43	6,09		
4,00	27,37	2,55		
3,15	54,03	5,03		
2,38	57,90	5,39		
1,60	72,03	6,71		
1,00	73,07	6,81	<b>Mayor de 1 mm</b>	<b>59,76</b>
0,71	44,13	4,12	<b>Menor de 1 mm</b>	<b>40,24</b>
0,50	32,03	2,99		<b>100,0 %</b>
0,25	50,33	4,69		
0,15	39,67	3,70		
0,075	117,73	10,98		
-0,075	74,57	6,96		
<b>Total</b>	<b>1072,90</b>	<b>100,00</b>		

### 3.1.4 Características químicas de las piscinas de sedimentación

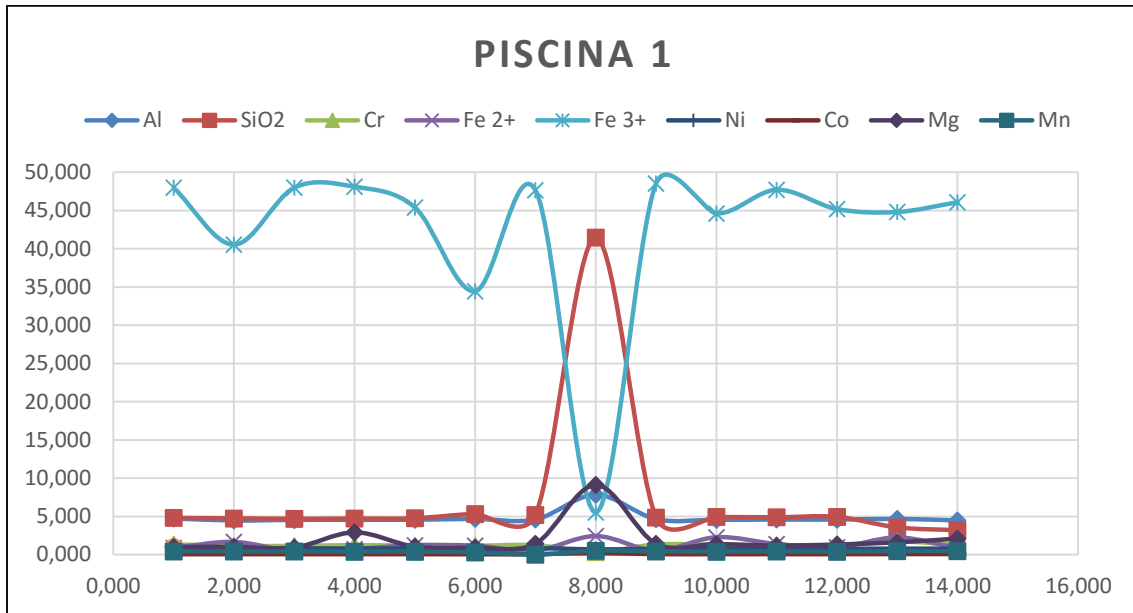
#### Piscina # 1

Los resultados de los análisis químicos realizados a las diferentes fracciones granulométricas obtenidas como resultado de los ensayos físicos por vía seca a la piscina de sedimentación # 1, permitieron comprobar que no existen diferencias significativas en la concentración de los principales elementos químicos estudiados y que son de interés para las empresas productoras de níquel en Moa, como se aprecia en la tabla siguiente.

**Tabla No. 6:** Composición química por fracciones granulométricas (%) de las piscinas de sedimentación # 1 del yacimiento Moa Oriental.

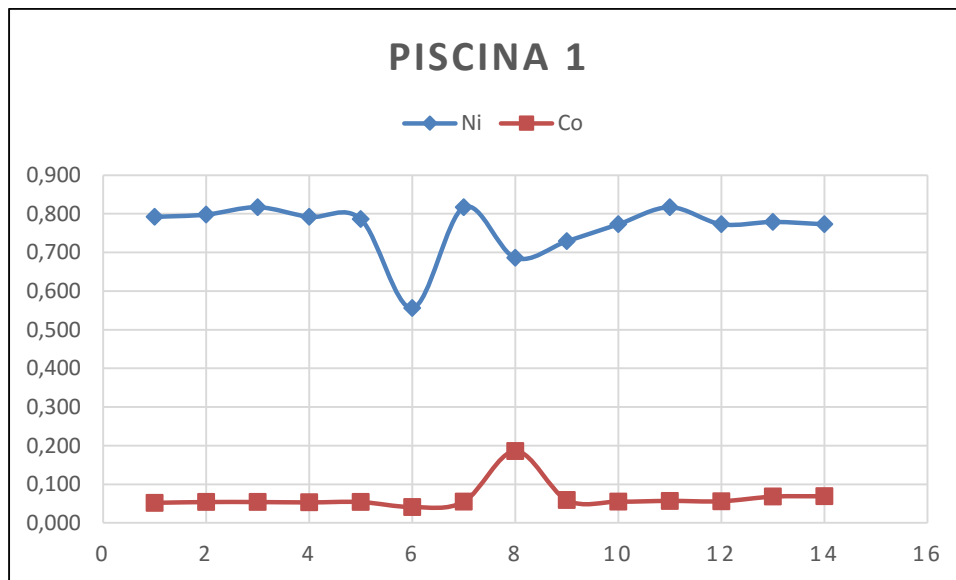
Fracciones granulométricas (mm)	Ni	Co	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	PPI	MgO	MnO
+ 10,0	0,792	0,069	4,730	4,800	1,350	0,890	47,990	14,180	4,45	0.421
- 10 + 6,3	0,798	0,075	4,460	4,750	1,140	1,660	40,540	14,300	4,61	0.426
- 6,3 + 5,0	0,817	0,068	4,540	4,690	1,140	0,420	47,990	14,310	4,56	0.433
- 5,0 + 4,0	0,792	0,077	4,550	4,720	1,240	0,730	48,120	14,520	6,55	0.471
- 4,0 + 3,15	0,786	0,071	4,560	4,760	1,170	1,230	45,410	14,150	4,32	0,415
- 3,15 + 2,38	0,556	0,060	4,670	5,320	1,160	1,160	34,450	14,530	4,66	0.322
- 2,38 + 1,60	0,817	0,065	4,590	5,210	1,230	0,540	47,660	14,340	5,43	0,461
- 1,60 + 1,00	0,686	0,075	7,830	4,460	0,350	2,430	5,530	11,810	6,33	0.529
- 1,0 + 0,71	0,729	0,072	4,640	4,860	1,330	0,540	48,540	13,930	4,78	0.426
- 0,71 + 0,50	0,773	0,069	4,550	4,920	1,270	2,270	44,630	15,230	4,54	0.428
- 0,50 + 0,25	0,817	0,081	4,590	4,880	1,240	1,390	47,720	14,150	4,97	0.426
- 0,25 + 0,15	0,773	0,077	4,580	4,940	1,250	0,960	45,200	14,430	5,63	0.441
- 0,15 + 0,075	0,773	0,078	4,470	3,190	1,260	0,850	46,090	14,170	4,30	0.465
-0,075	0,779	0,072	4,670	3,560	1,720	2,240	44,810	13,810	4,57	0.446

El gráfico siguiente muestra las características químicas por fracciones de tamaño de la piscina 1, donde se observa que en la fracción -1,60 + 1 posee un contenido de silicio de 41,46 %, magnesio 9,11 % y aluminio 7,83 %. En esta misma fracción es donde menor contenido de Fe<sup>3+</sup> hay, con 5,53 %.



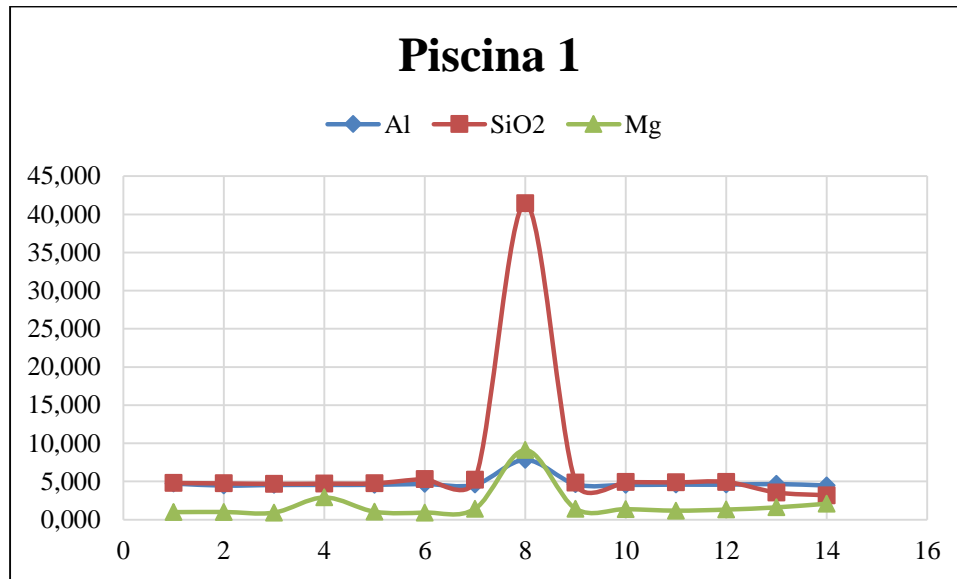
**Gráfico 2:** Composición química por fracciones granulométricas (%) de la piscina de sedimentación # 1 del yacimiento Moa Oriental.

En el gráfico 3 se muestra la comparación entre las composiciones del níquel y el cobalto permitiendo observar que ambas se encuentran concentradas mayoritariamente en las fracciones finas por debajo de 1 mm.



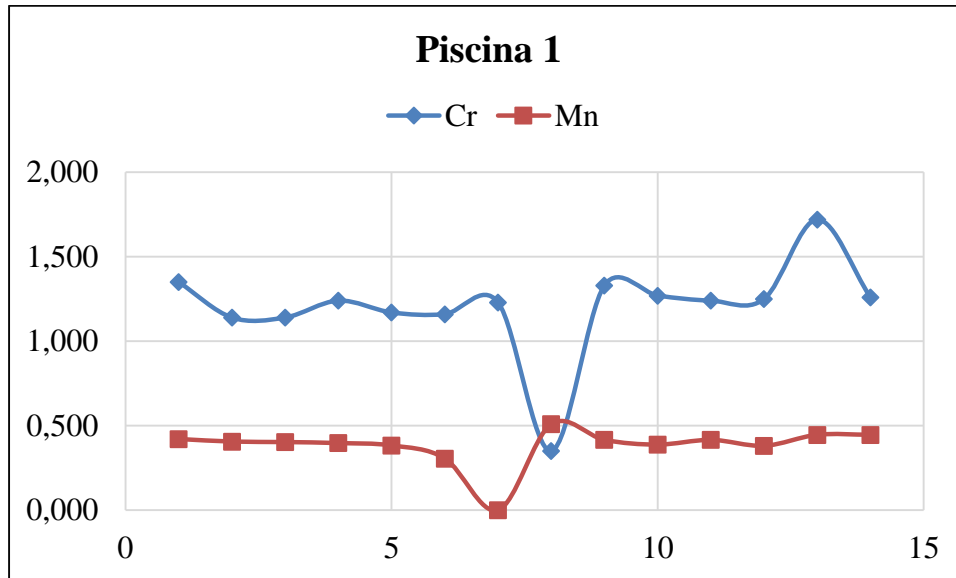
**Gráfico 3:** Contenidos de Ni y Co en la piscina # 1, (%).

El grafico 4 muestra la concentración del aluminio, el silicio y el magnesio mostrándose que en la fracción de tamaño -1,60 +1,00 se encuentran concentrada la mayor cantidad de estos elementos, mientras que en el resto de las fracciones mantienen un comportamiento estable.



**Gráfico 4:** Contenido de Al, SiO<sub>2</sub> y MgO en la piscina # 1, (%).

El grafico 5 por su parte muestra las concentraciones del cromo y manganeso con comportamientos en general distintos ya que tienen su menor concentración dentro de las fracciones gruesas específicamente en las fracciones de -2,38+1,60 mm, para el manganeso y la de -1,60+1,00 mm para el cromo. Por otra parte, el manganeso tiene un comportamiento estable en el resto de las fracciones mientras que el cromo tiene su pico más alto dentro de las fracciones finas (-0,15+0,075 mm).



**Gráfico 5:** Contenido de Cr y Mn en la piscina # 1, (%).

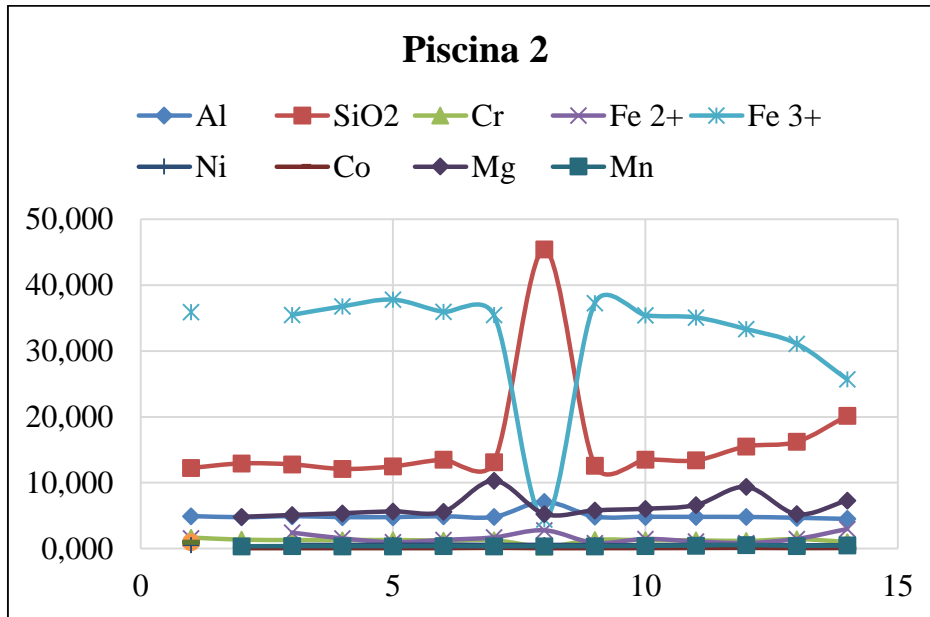
### **Piscina # 2**

La piscina de sedimentación # 2, posee también apreciables contenidos de hierro y cromo como elementos más significativos, lo cual está en correspondencia con los análisis químicos y mineralógicos realizados a las muestras compósitos analizadas. A continuación, se muestran los resultados de los análisis químicos por fracciones granulométricas estudiadas.

**Tabla No. 7:** Composición química por fracciones granulométricas (%) de la piscina de sedimentación # 2.

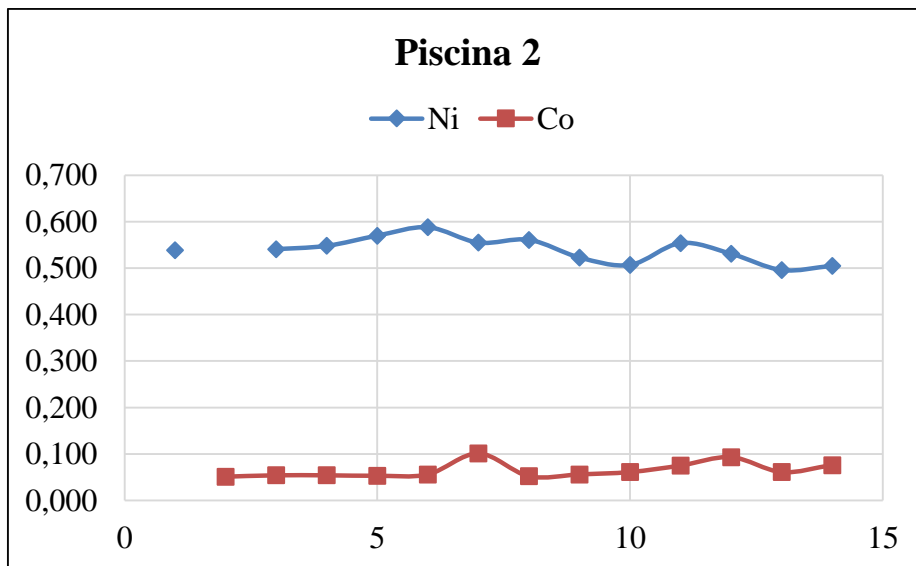
Fracciones granulométricas (mm)	Ni	Co	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	PPI	MgO	MnO
10.0	0.539	0,064	4.930	12.240	1.670	1,540	35.930	13.190	4,12	0.410
10 + 6,3	0,593	0,066	4.760	12.930	1.350	1,450	35,56	13,34	4,65	0.365
6.3 + 5	0.541	0,071	4.920	12.780	1.290	2.420	35.480	13.770	4,78	0.380
5 + 4,00	0.548	0,070	4.770	12.090	1.290	1.540	36.780	13.660	4,68	0.388
4 + 3,15	0.570	0,077	4.780	12.480	1.290	0.960	37.800	13.880	5,01	0.369
3,15 + 2.38	0.588	0,078	4.910	13.490	1.220	1.310	35.950	13.850	4,97	0.382
- 2,38 + 1.60	0.555	0,065	4.810	13.110	1.270	1.700	35.460	13.740	4,63	0.344
-1,60 + 1,00	0.561	0,068	5.117	45.420	0.300	2.770	4.430	12.890	4,75	0.376
-1,0 + 0.71	0.523	0,067	4.860	12.600	1.320	0.850	37.290	13.380	4,55	0.387
-0,71 + 0.50	0.507	0,062	4.830	13.500	1.260	1.460	35.440	13.450	4,88	0.459
-0,50 + 0.25	0.554	0,073	4.810	13.400	1.250	1.079	35.100	13.450	4,97	0.483
0,25 + 0.15	0.531	0,078	4.800	15.510	1.160	0.848	33.330	13.620	5,12	0.556
-0,15 + 0.075	0.505	0,081	4.500	20.160	1.000	2.970	25.690	13.920	4,88	0.494
- 0.075	0.496	0,079	4.670	16.220	1.430	1.460	31.090	13.260	4,87	0.425

En la piscina de sedimentación #2 la fracción -1,60 + 1 contiene un 45,42 % de silicio y 7,10 % de aluminio, esta fracción es la que menor contenido de Fe<sup>3+</sup> posee con 4,43 % mientras que el resto de los minerales mantienen un comportamiento estable, como se muestra en el siguiente gráfico.



**Gráfico 6:** Composición química por fracciones de tamaño de la piscina # 2, (%).

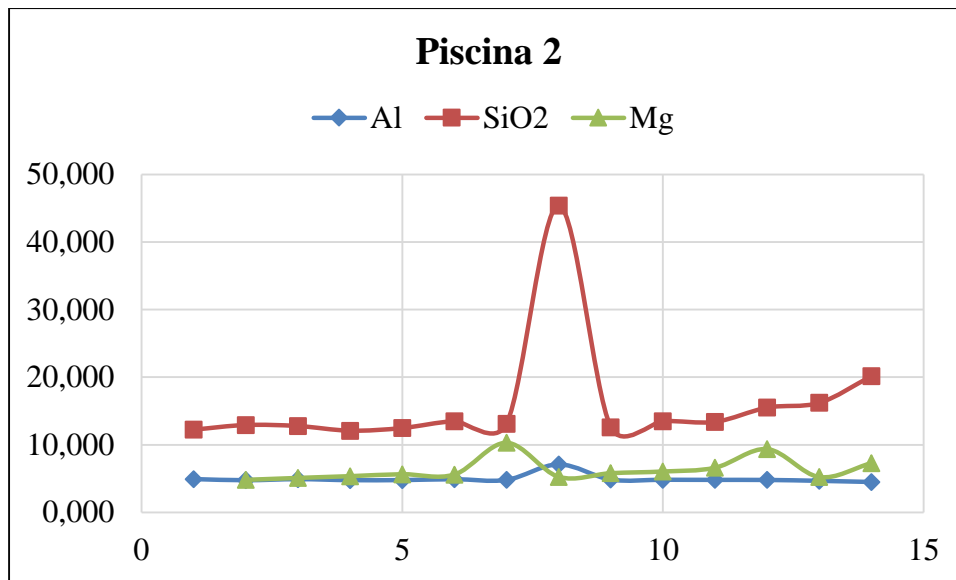
El grafico 7 muestra la composición del níquel y el cobalto para la piscina # 2, demostrando un comportamiento estable dentro de las fracciones de tamaño para este caso variando de forma mínima en las fracciones finas.



**Gráfico 7:** Contenidos de Ni y Co en la piscina # 2, (%).

En el caso del grafico 8 ilustra las composiciones de aluminio, silicio y magnesio se observa un comportamiento similar para el aluminio y el silicio ya que tienen su mayor

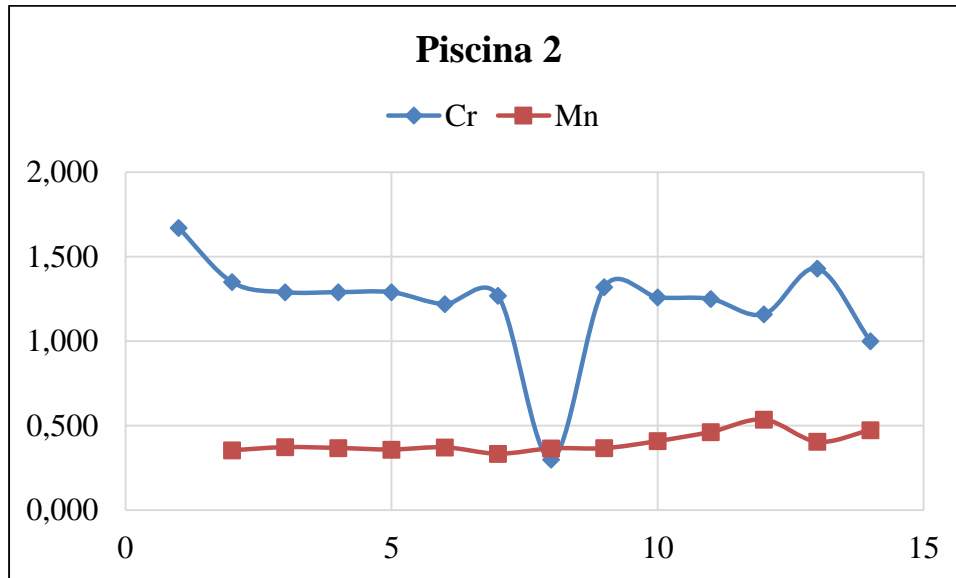
concentración en la misma fracción de tamaño (-1,60+1,00 mm) y el magnesio tiene mayor concentración en los tamices -2,38 + 1,60 mm y -0,25 + 0,15 mm. El resto de las concentraciones tienen un comportamiento estable.



**Gráfico 8:** Contenido de Al, SiO<sub>2</sub> y Mg en la piscina # 2 (%).

El grafico 9 muestra la composición del cromo y el manganeso observando las diferencias entre ambas. El manganeso tiene un comportamiento estable durante todas las fracciones variando de forma mínima dentro de las fracciones finas. El cromo por otro lado tiene grandes variaciones ejemplo de ello es la fracción -1,60 + 1,00 mm donde se encuentra su menor concentración y -10 + 9,50 mm y -0,15 + 0,075 mm donde presenta sus mayores concentraciones.

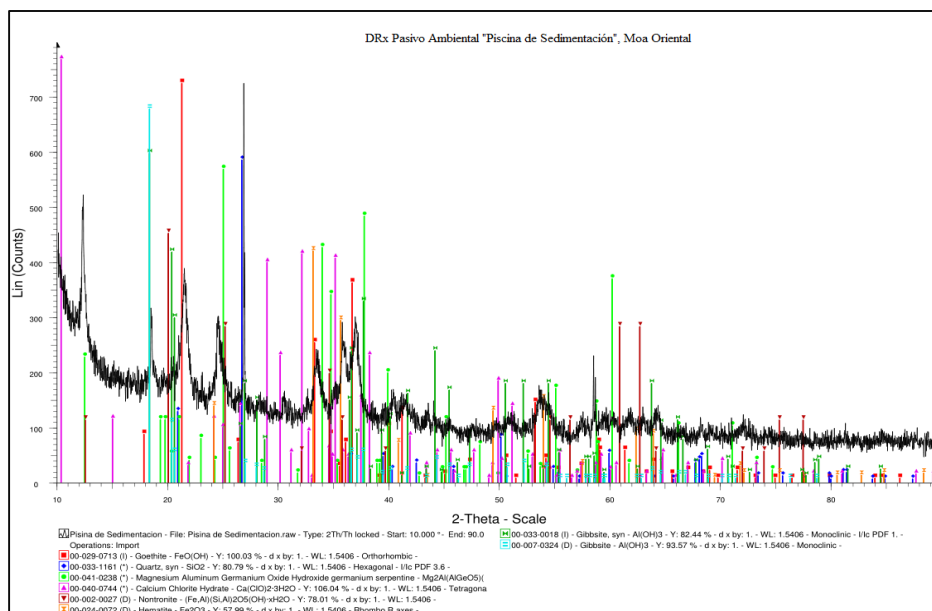




**Gráfico 9:** Contenido de Cr y Mn en la piscina # 2, (%).

### 3.1.5 Características mineralógicas de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental

Mineralógicamente las piscinas de sedimentación se caracterizan por la presencia de minerales de hierro y de serpentina, lo que coincide con los resultados de los análisis químicos, comprobándose, además, que los contenidos de Níquel, Hierro y Cobalto, son posibles de recuperar si se decide la alimentación futura de estos residuales a la planta productora. En el difractograma realizado a muestras compósito se esté residual, se pueden apreciar las principales fases mineralógicas detectadas.



**Gráfico 10:** Difractograma de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa oriental.

Como se observa en el difractograma anterior, las fases mineralógicas presentes en la muestra compósito realizada para las piscinas de sedimentación, son: Goethita (■) [FeO(OH)], Nontronita (▼) [(Fe,Al) (Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (OH)(H<sub>2</sub>O)], Serpentina (■) [(SiO<sub>2</sub>)(MgO)(H<sub>2</sub>O)], Clorito de calcio (▲) [Ca(ClO)<sub>2</sub>], Hematita (⊠) [(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)] y Gibbsita (⊠) [Al(OH)<sub>3</sub>].

### 3.2 Gabros presentes en el yacimiento Moa Oriental

A continuación, se detallan las características de los gabros del yacimiento Moa oriental.

#### 3.2.1 Características físico-química de los gabros presentes en el yacimiento Moa Oriental

Los gabros del yacimiento Moa oriental se caracterizan por la presencia mayoritaria de silicio, magnesio y aluminio, elementos químicos que constituyen impurezas nocivas para la tecnología de producción de níquel, ácidas a presión (HPAL, por sus siglas en inglés), que emplea la empresa Moa Nickel S.A, que lo convierten en un pasivo ambiental, sin un uso definido hasta la actualidad. En la tabla siguiente se muestran la composición química promedio de este residual minero.

**Tabla No. 8:** Composición química promedio del gabro estudiado

Código	Ni	Co	Fe	Si	Mg	Al	Cr	Mn	Fe 2+	Fe 3+	Humedad
G-1	1,12	0,065	5,05	17,80	11,76	4,95	0,194	0,134	1,45	0,9	17,5

Entre sus principales características físico-químicas destacan su humedad promedio de 17,5 %, densidad de 2,9 g/cm<sup>3</sup> y su resistencia a la compresión de 7,33 kg/cm<sup>3</sup>, muy similares a las rocas serpentínicas de la región de Moa-Baracoa, como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla No. 9:** Principales propiedades físico – mecánica del gabro estudiado.

Propiedades	Unidad de Medida	Gabro Moa Oriental
Masa volumétrica seca,	g/cm <sup>3</sup>	2.85
Masa volumétrica saturada	g/cm <sup>3</sup>	2.69
Absorción	%	0.91
Humedad	%	17,5
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	2.91
Porosidad	%	7.36
Resistencia a la compresión	kg/cm <sup>3</sup>	7.33

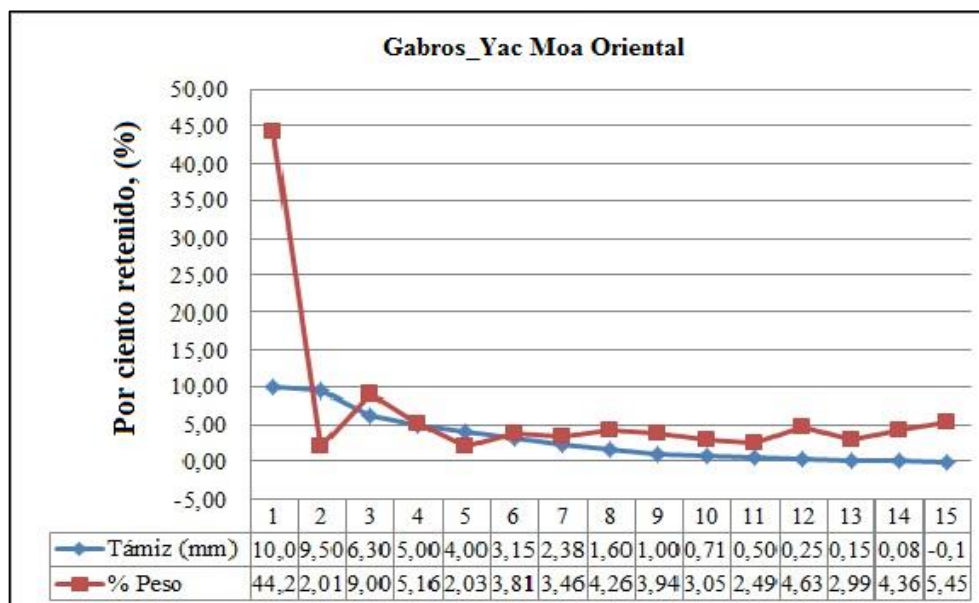
Fuente: Adaptado de (Pons Herrera, 2000)

### 3.2.2 Características granulométricas

Los gabros se caracterizan por presentar un contenido de las fracciones mayores de 1 mm, superior al 73 %, con predominio de las clases +10 mm y 6,3 mm, como se aprecia en la tabla y gráfico siguiente.

**Tabla No. 10:** Composición granulométrica por vía seca, de los gabros del yacimiento Moa Oriental

Gabros Tamiz (mm)	Valores Promedio			
	Peso Inicial: Peso (g)	1.085,43 % Peso		
10,00	480,40	44,25		
9,50	20,60	2,01		
6,30	96,53	9,00		
5,00	56,00	5,16		
4,00	22,00	2,03		
3,15	39,73	3,81		
2,38	37,53	3,46		
1,60	43,77	4,26	Mayor de 1 mm	<b>73,97</b>
1,00	44,60	3,94	Menor de 1 mm	<b>26,91</b>
0,71	32,23	3,05	<b>Total</b>	<b>100,88</b>
0,50	26,00	2,49		
0,25	47,97	4,63		
0,15	31,60	2,99		
0,075	47,30	4,36		
-0,075	59,17	5,45		
<b>Total</b>	<b>1085,43</b>	<b>100,88</b>		



**Gráfico 11:** Composición granulométrica de los gabros del yacimiento Moa oriental.

Estos resultados demuestran que estamos en presencia de un residual que, para poderse utilizar industrialmente, necesitara de un proceso de preparación, para reducir su tamaño, de forma tal que se facilite la concentración de los elementos metálicos presentes, que puedan ser aprovechados, como es el caso del níquel y de los elementos con propiedades refractarias como el silicio-magnesio-aluminio.

### 3.2.3 Características químicas de los gabros

Los resultados de los análisis químicos por las clases de tamaño, demuestran que entre las fracciones 3,15 mm y 0,25 mm, se incrementa el contenido de níquel en este residual como se muestra a continuación.

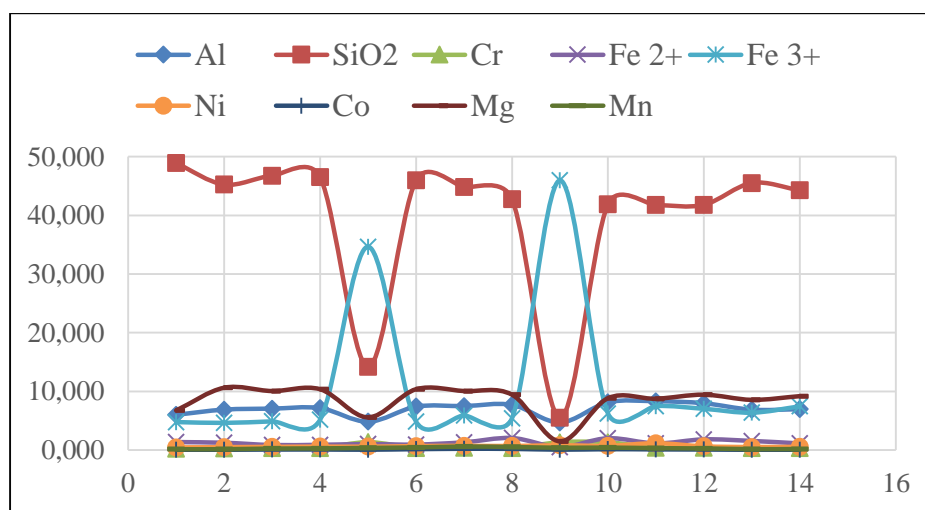
**Tabla 11:** Composición química por fracciones granulométricas (%) del gabro del yacimiento Moa oriental.

Fracciones granulométricas (mm)	Ni	Co	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Fe 2+	Fe 3+	PPI	MgO	Mn
10.0	0.44	0.034	6.00	48.91	0.21	1.35	4.76	8.66	7.74	0.134
- 10 + 6,3	0.48	0.041	6.88	45.26	0.26	1.23	4.62	11.56	10.61	0.133
- 6.3 + 5	0.54	0.08	7.05	46.75	0.30	0.85	4.88	10.11	10.050	0.24
- 5 + 4,00	0.580	0.080	7.140	46.530	0.340	0.886	5.150	10.620	10.360	0.620
- 4 + 3,15	0.566	0.049	4.830	44.150	1.330	1.002	4.660	13.890	5.560	0.355
- 3,15 + 2.38	0.667	0.140	7.390	45.980	0.340	0.925	4.850	10.830	10.360	0.436
- 2,38 + 1.60	0.711	0.204	7.490	44.830	0.370	1.310	5.890	11.400	10.050	0.584
- 1,60 +1,00	0.679	0.186	7.690	42.760	0.320	2.040	5.410	11.560	9.430	0.511
- 1,0 + 0.71	0.804	0.054	5.480	45.970	1.320	0.501	4.75	14.330	5.470	0.379
- 0,71 + 0.50	0.711	0.136	8.120	41.910	1.320	2.004	6.230	12.300	8.830	0.410
- 0,50 + 0.25	1.150	0.101	8.310	41.760	0.360	1.118	7.490	12.050	8.740	0.312
- 0,25 + 0.15	0.623	0.076	7.970	41.810	0.370	1.811	7.020	11.650	9.430	0.264
- 0,15 + 0.075	0.546	0.042	6.950	44.270	0.320	1.118	7.440	10.030	9.180	0.165
- 0.075	0.504	0.034	6.870	45.520	0.320	1.541	6.360	9.770	8.550	0.147

En los resultados de los análisis químicos para las fracciones de tamaños (figura 9) se puede observar que en las fracciones -4 +3,15 existe un aumento en el contenido de Fe<sup>3+</sup> hasta valores de 34,66%, mientras que el magnesio, silicio y aluminio disminuyen hasta valores de 5,56, 14,15 y 4,83%, respectivamente. De igual manera ocurre con la fracción -1 +0,71 donde el Fe<sup>3+</sup> alcanza valores de 45,97%, sin embargo, los elementos considerados

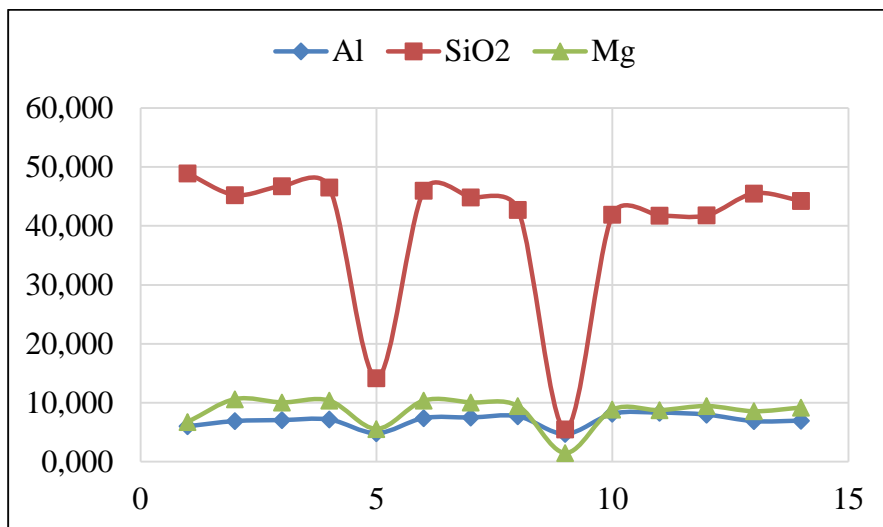
nocivos, tienen el comportamiento siguiente: el magnesio con 1,47%, silicio 5,48% y aluminio 4,7%, todos por encima de los valores permisibles por la tecnología acida a presión. El resto de los metales se comportan de forma estable en el resto de las fracciones granulométricas.

Se comprobó además que en la fracción -0,5 +0,25 el cobalto y el níquel alcanzan contenidos de 0,101 y 1,150 % respectivamente, valores semejantes al mineral de alimentación a la Empresa Pedro Sotto Alba, lo que constituye una alternativa a considerar para el futuro, en aras de garantizar un aprovechamiento adecuado de nuestros recursos minerales, aunque reconocemos que la tecnología HPAL, no admite elevados contenidos de aluminio, y magnesio, considerados como nocivos al proceso productivo actual.



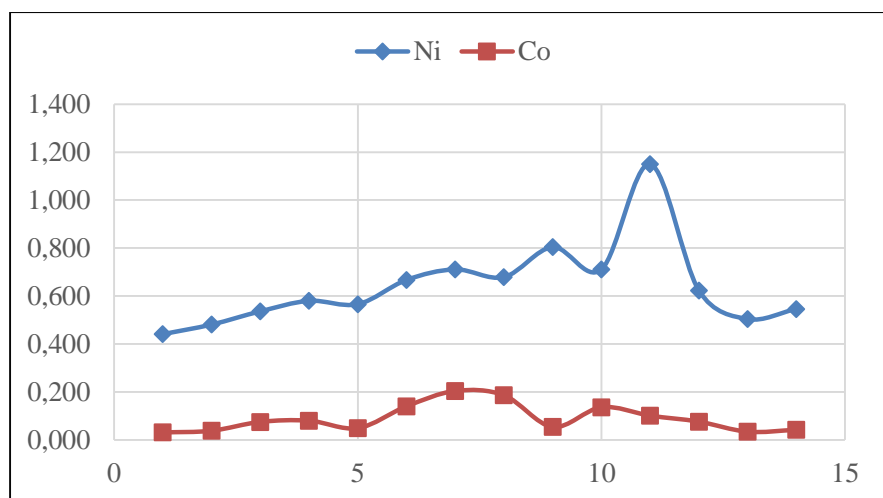
**Gráfico 12:** Composición química por fracciones granulométricas del gabro estudiado

El gráfico 13 muestra el comportamiento del aluminio, óxido de silicio y magnesio en las distintas clases de tamaño. En este caso el aluminio y el magnesio se comportan de manera similar, mientras que el óxido de silicio tiene una gran variación y sus menores valores se concentran en la fracción -1+ 0,71 mm.



**Gráfico 13:** Contenido de Al, SiO<sub>2</sub> y MgO (%) en el gabro estudiado.

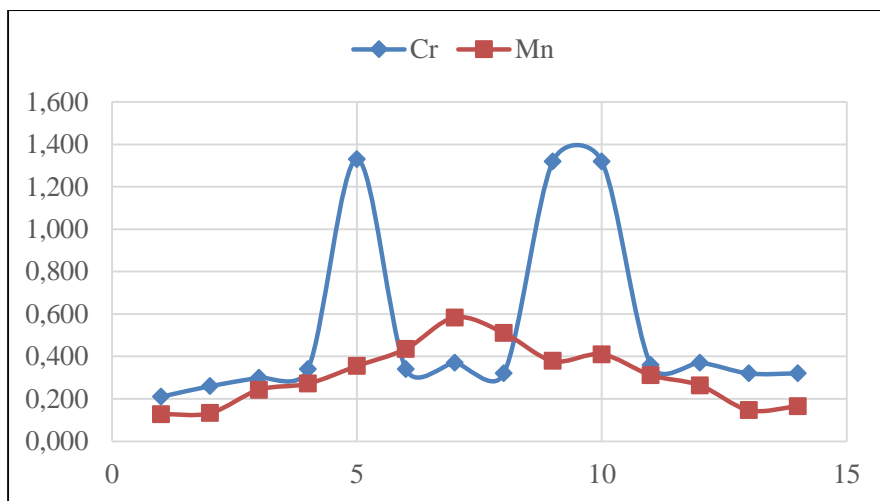
Se puede ver además (grafico 14), que en la fracción -0,5 +0,25 mm, el cobalto y el níquel alcanzan contenidos de 0,101 y 1,150 %, respectivamente, valores semejantes al mineral promedio de alimentación a la Empresa Comandante Pedro Sotro Alba, lo cual constituye una alternativa de aprovechamiento integral a nuestros recursos naturales.



**Gráfico 14:** Contenido de Ni y Co (%) en el gabro de Moa Oriental.

En el caso el cromo y el manganeso presentan la mayor cantidad de estos elementos en rango granulométrico entre 3,15 y 1 mm, sobresaliendo el primero que llega alcanzar hasta 1,3 %, como se muestra en el grafico siguiente. Estos elementos a pesar de que no son de interés especial para la industria del níquel en Cuba, están presentes de manera uniforme en

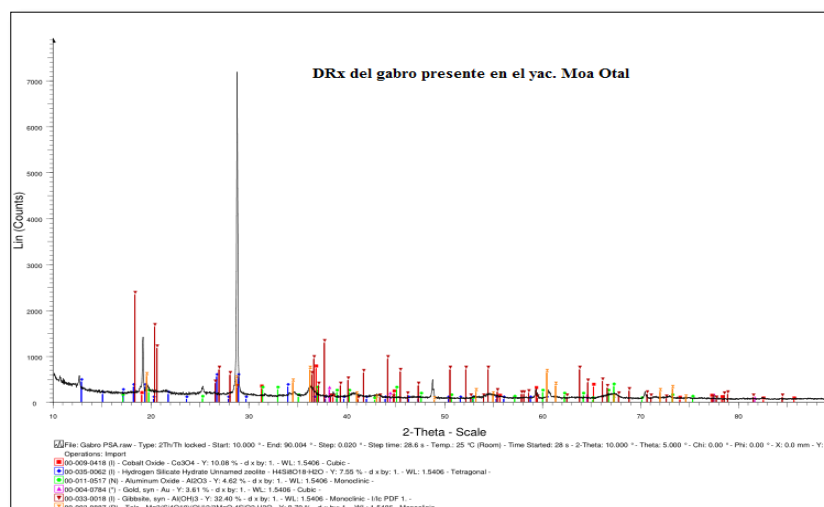
la mayoría de los yacimientos lateríticos cubanos, y deben ser considerados para su aprovechamiento futuro, principalmente, para la industria siderúrgica cubana.



**Gráfico 15:** Contenido de Cr y Mn en el gabro de Moa Oriental

### 3.2.4 Características mineralógicas de los gabros del yacimiento Moa Oriental

Los resultados de los análisis mineralógicos permitieron comprobar el predominio de las fases de gibbsita y talco como las principales, lo cual está relacionado con la existencia en estos residuos de aluminio, silicio y magnesio, mientras que como fases secundarias sobresalen los minerales de cobalto, como se muestran en el grafico siguiente.



**Gráfico 16:** Difractograma característico del gabro del yacimiento Moa oriental.



Como se observa en el difractograma anterior, las fases mineralógicas presentes en la muestra de gabro, son: óxido de cobalto (■)  $[\text{Co}_3\text{O}_4]$ , gibbsita (▼)  $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ , óxido de aluminio (■)  $[\text{Al}_2\text{O}_3]$ , oro (▲)  $[\text{Au}]$  y talco (⊠)  $[(\text{Mg}_3)(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_{2/3}(\text{MgO})(4\text{SiO}_2)(\text{H}_2\text{O})]$ .

### 3.3 Posibilidades del uso sostenible de los PAM estudiados

Los pasivos ambientales estudiados, están presentes en el yacimiento Moa Oriental ya sea de forma natural, en el caso de los gabros, al forma parte de las cortezas ferroniquelíferas de la región de Moa, o creadas por el propio hombre en el caso de las piscinas de sedimentación, pero sin un estudio profundo sobre sus características físicas y químicas, así como mineralógica; lo que limita la toma de decisiones sobre sus posibles usos industriales.

Las piscinas de sedimentación han sido creadas de diferentes formas en las zonas mineras, como medida ambiental, exigida y controlada por la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM), pero sin proyecciones de utilización de los recursos minerales que se benefician y concentran, de manera natural en ellas. La investigación demuestra que si se conforman estas piscinas en forma de cascadas, es posible la recuperación de elementos valiosos para empresa, incorporándolos como mezcla a los minerales que se alimentan normalmente al proceso productivo de la planta, contribuyendo de esta forma a una utilización más sostenible de este recurso natural.

Teniendo en cuenta las características físicas, químicas y mineralógicas, de las piscinas de sedimentación, así como su cercanía a la planta Moa Nickel S.A, pueden ser incorporados al proceso productivo de la misma, luego de realizar su respectivo estudio económico.

En el caso de los gabros, su composición química es bastante uniforme, con variaciones significativas de los contenidos de aluminio, silicio y magnesio, que lo convierten en un material estéril para la tecnología ácida a presión de la Empresa Pedro Sotro Alba, lo que provoca el poco interés de la industria para su procesamiento, quedando en la mayoría de los casos en el propio yacimiento o almacenado en espacios mineros, sin posibilidades reales de utilización en la actualidad.

La presencia de elementos ligeros en este pasivo ambiental, ameritan la continuidad de su estudio, para evaluar la posibilidad de aprovechamiento de estos elementos valiosos, muy demandado por la industria nacional.

### **3.4 Conclusiones del capítulo III**

1. Las piscinas de sedimentación se caracterizan por la presencia de níquel, cobalto, hierro, silicio, magnesio, aluminio, cromo y manganeso. De forma específica en las fracciones de tamaño de  $-1,60 +1$  se encuentra la mayor concentración de silicio y aluminio de toda la muestra.
2. Las piscinas poseen diferencias granulométricas significativas, la # 1 se caracteriza por presentar mayor cantidad de material grueso que la # 2, lo cual puede ser empleado como un proceso natural de concentración y separación de tamaños, de gran utilidad para la empresa poder procesar a estos pasivos ambientales.
3. Las principales fases mineralógicas que caracterizan a las piscinas estudiadas, son: Goethita, Gibbsita y minerales de serpentina, lo cual está en correspondencia con los resultados de los análisis químicos realizados.
4. Los gabros del yacimiento Moa oriental a pesar de contener elementos valiosos en su composición química, constituyen impurezas para la tecnología de producción de níquel, ácida a presión (HPAL), y son considerados pasivos ambientales mineros, sin un uso definido hasta el momento. Se caracterizan además, por la presencia de elementos valiosos como: níquel, cobalto, hierro, aluminio, silicio, magnesio, cromo y manganeso; con un intervalo de fracciones amplias, con predominio de la clase mayor de 1mm, que representa el 74 % del material, mientras que mineralógicamente posee como fases principales: la Gibbsita, y el talco como principal mineral de la serpentina, lo cual está en correspondencia con los contenidos de los elementos químicos que lo componen.

## CONCLUSIONES GENERALES

1. El Pasivo Ambiental Minero “piscinas de sedimentación” del yacimiento Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotillo Alba, se caracteriza químicamente por contener elementos valiosos, como hierro y silicio con 29,49 % y 6,67 %, respectivamente, con valores de níquel (0.643%), cobalto (0.090%), magnesio (6.275%), manganeso (0.402%), cromo (1.34%) y aluminio (3.81%). Mineralógicamente están presente fases principales de gibbsita, goethita y minerales de serpentina, mientras que granulométricamente las piscinas # 1 poseen mayor cantidad de partículas gruesas, mayores de 10 mm, con una significativa concentración de la mayor parte del silicio y aluminio en la fracción -1,36 +1mm.
2. Técnicamente es factible la reincorporación de las piscinas de sedimentación al proceso productivo de la empresa Moa Nickel, considerando además que las fracciones finas menores de 0,833 mm, predominan en las piscinas # 2, que es una de las exigencias del proceso de alimentación de mineral a la planta.
3. Los gabros existentes en los yacimientos lateríticos de la empresa Pedro Sotillo Alba se caracterizan químicamente por la presencia de elementos valiosos como: níquel, cobalto, hierro, aluminio, silicio, magnesio, cromo y manganeso, que pueden ser utilizados por la industria metalúrgica cubana; con un intervalo de fracciones granulométricas amplias, predominando la clase mayor de 1,0 mm, (74 % del material), que facilita la toma de decisiones sobre su posible utilización industrial, mientras que mineralógicamente sobresalen las fases principales, Gibbsita, y serpentina, asociados a la presencia de aluminio, silicio y magnesio, así como minerales de cobalto, entre las fase secundaria principales.
4. A partir de los resultados de la caracterización realizada se comprobó que los gabros, existentes en el yacimiento Moa Oriental, poseen características muy similares a los existentes en el resto de los yacimientos lateríticos de la región nororiental de Cuba.
5. El estudio realizado con los Pasivos Ambientales Mineros, existentes en el yacimiento Moa Oriental, demuestran la necesidad aprovechar de manera más eficiente y sostenible nuestros recursos naturales, muchos de los cuales están en fase de agotamiento.

## **RECOMENDACIONES**

1. La Empresa Moa Nickel S.A, puede utilizar las piscinas de sedimentación en las zonas de minería, como medida de protección natural y alternativa para la concentración natural de elementos químicos valiosos que pueden ser reaprovechados por la misma.
2. Continuar los estudios de otros pasivos ambientales que genera actualmente la Empresa Moa Nickel S.A, como las presas de colas, rechazos serpentiniticos, peridotitas y escombros lateríticos, para evaluar sus posibles usos sostenibles, incorporando la evaluación económica sobre las posibilidades de utilización de estos en la industria cubana del Níquel.
3. Definir la cantidad de material útil que se acumula en los pasivos ambientales estudiados, para la recuperación y utilización de sus valores metálicos de manera sostenible en los procesos productivos de las plantas metalúrgicas existentes en Moa.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Sociedad Nacional de Energía, Minería y Petróleo. (2004). *Informe quincenal de la SNMPE*. Perú: Ministerio de Energía, Minería y petróleo.
2. Almirantes, A. (2013). *Pasivos Ambientales. Efectos y consecuencias sociales*. Bogotá: Universidad del Valle.
3. Arango, A. (2012). *Valoración económica de pasivos ambientales mineros*. Lima: Universidad de Lima.
4. Arranz González, J. C., & Alberruche del Campo, E. (2007). *Minería, Medio Ambiente y Gestión del Territorio*. Madrid: Red DESIR (Desarrollo Sostenible – Ingeniería – Recursos Minerales).
5. Asociación de servicio de Geología y Minerías Iberoamericanas. (2010). *Pasivos Ambientales Mineros*. Chile: Sociedad Geología y Minerías de Iberoamerica.
6. Cedrón Lassús, M. F. (2013). *Elaboración de Criterios para la Transformación*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
7. Cedrón Lassús, M. F. (2015). *Relación entre Pasivos Mineros y Activos Ambientales*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
8. CEPAL. (2018). *El desarrollo sostenible en América Latina. Retos y Perspectivas*. México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
9. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [CMMAD]. (1987). *Nuestro futuro común. Informe de la Comisión Brundtland sobre medio ambiente y desarrollo*. Washington: Asamblea general de las Naciones Unidas. Disponible en: <http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BI>.
10. Dirección de Minería y Geología. (2015). *Características geológicas del yacimiento Moa Oriental, zona Camarioca Norte*. Moa: Empresa Moanickel S.A, Pedro Sotto Alba.

11. Galindo Medina, Y. (2017). *Evaluación de mezclas de gadro de Cayo Guan con adición de tobas vítreas para la fabricacación de ladrillos cerámicos*. Cuba: Instituto SuperiorMinero Metalurgico.
12. Galindo Medina, Y. (2017). *Evaluación de mezclas de gadro de Cayo Guan con adición de tobas vítreas para la fabricacación de ladrillos cerámicos*. Cuba: Instituto SuperiorMinero Metalurgico de Moa.
13. Gámez Rodriguez, O. (2001). *Caracterización del gabro olivínico presente en el yacimiento cromitas Merceditas*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
14. Gámez, A. (2011). *Caracterización de los desechos serpentiniticos de la Mina de la Empresa Pedro Sotto Alba - Moa Nickel S.A. para su empleo como material de construcción alternativo* . Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
15. García Lobaina, Y. (2018). *Pasivos Ambientales presentes en el yacimiento Moa Occidental*. Moa: Instituto Superior Minero Metalurgico.
16. González Roché, Y. (2017). *Características de los Escombros Lateritidos del yacimiento Moa Oriental, Empresa Moa Nickel S.A.* Moa: Instituto Superior Minero Metalurgico.
17. González, P. (2008). *Restauracion de pasivos ambientales mineros*. Bogota: Universidad Santa Fe .
18. Guimaraes, R. (1994). El desarrollo sustentable: ¿Propuesta alternativa o retórica neoliberal? *EURE, Chile*, Vol. XX, no.61, 41-56.
19. Gutiérrez Sianiegas, G. (2004). *Reaprovechamiento de pasivos ambientales mineros*. Lima: Universidad de Lima.
20. Infante, D. (2011). *Pasivos Ambientales Mineros en Peru*. Lima: Universidad católica de Lima.

21. Jimenes Díaz, L. (2019). *Caracterización del pasivo ambiental "Gabro" del yacimiento Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba para su posible uso industrial*. Moa: Instituto Superior Minero Metalurgico.
22. Mateo, J., & Suárez, C. (2000). *La ciencia y la tecnología en el debate ambiental*. La Habana: Ed. Félix Varela, Tomo II, p.720-741.
23. Ministerio de Minas y energía. (2015). *Glosario Técnico Minero*. Bogota: Ministerio de Minas y energía.
24. Ministerio de Minas y energía. (2017). *Pasivos Ambientales. Características Técnicas*. Bogota: Ministerio de Minas y energía.
25. Moncaleano, I. P., Rivera, O. A., & Giraldo, I. (2013). *Diseño de Botaderos y Piscinas de sedimentación*. Bogota: Universidad de Santander.
26. Moncaleano, I., Rivera, O. A., & Giraldo, I. (2013). *Diseño de Botaderos y Piscinas de sedimentación*. Bogota: Universidad de Santander.
27. Montero Gil, E. (2019). *Características del Pasivo Ambiental "Rechazos de la planta de preparación de mineral" del yacimiento de Moa Oriental para su uso sostenible*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
28. Montero, J. M. (2006). *El desarrollo compensado como alternativa de sustentabilidad en la minería (aprehensión ético-cultural)*. La Habana: Universidad de La Habana. Facultad de Filosofía.
29. Pineda Lobaina, L. (2019). *Caracterización del pasivo ambiental de las piscinas de sedimentación del yacimiento de Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba*. Moa: Universidad de Moa.
30. Pineda Lobaina, L. (2019). *Caracterización del pasivo ambiental de las piscinas de sedimentación del yacimiento de Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.

31. Ponce, N. (2011). *Clasificación y características de los Pasivos Ambientales Mineros en Cuba*. Habana: Instituto de Geología y Paleontología.
32. Pons Herrera, J. A. (2000). *obtención de productos refractarios para la fundición, a partir de Dunitas serpentinizadas de la región de Moa-Baracoa, Zonas Merceditas y Amores*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
33. Pons Herrera, J. A., Leyva Rodríguez, C., & Rodríguez Martínez, G. R. (2000). Características físico-químicas de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa-Baracoa (Zonas Merceditas y Miraflores). *Minería y Geología*, 95-99.
34. Ramírez Matos, Y. (2001). *Caracterización del gabro normal de la zona Amores*. Moa: Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.
35. Ramírez Matos, Y. (2001). *Caracterización del gabro normal de la zona Amores, en Moa*. Moa: Instituto Superior Minero Metalurgico.
36. Ramírez Matos, Y. (2001). *Caracterización del gabro normal de la zona Amores, en Moa*. Moa: Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.
37. Yurisch, J. (2016). *Riesgos ambientales, asociados a residuales industriales*. Lima: Universidad de San Carlos.



## ANEXOS

**ANEXO I:** Secuencia fotográfica de la selección de las muestras de gabros del yacimiento Moa Oriental.



**ANEXO II:** Sesión fotográfica de la toma de muestras de las piscinas de sedimentación de Moa Oriental.





**ANEXO III:** Secuencia fotográfica de la toma y preparación de las muestras de las piscinas de sedimentación.

