



Universidad de Moa
"Dr. Antonio Nuñez Jiménez"

Tesis de Diploma

Facultad: Geología y Minería
Departamento de Geología

TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO.

Título. Procedimiento para la evaluación de
riesgos geo-ambientales en los Pasivos
Ambientales Mineros

Autor: Amarildo Pedro Vicente Cavinda

Tutora: Dra. C. Tereza Hernández Columbié

Co-tutor: Ing. Reinier Hernández Guilarte

Holguín, Moa 2019





Pensamiento:

“Al final lo que importa no son los años de vida, sino la vida de los años”

Abraham Lincoln



Dedicatoria

Dedico mi trabajo en primer lugar a mi Dios Todopoderoso que me ha dado salud y fuerza para llegar hasta aquí.

A mis padres por su apoyo constante y por todos sus sacrificios para permitirme poder llegar hasta aquí.

A mis familiares, a mi novia y amigos porque ellos son el motor impulsor de cada uno de mis anhelos y sus sonrisas y su amor me alientan.

Al claustro de profesores de la universidad, especialmente el departamento de Geología y Minas que con su saber y profesionalismo han contribuido para mi crecimiento como persona y profesional.

Agradecimientos:

Le agradezco en primer lugar a Dios Todopoderoso, su amor y misericordia ha permitido que hoy esté aquí, y me ha dado de su fuerza.

A toda mi familia que de una manera u otra contribuyó a que llegara hasta aquí. Especialmente agradezco a mis padres Fernando Cavinda e Isabel Cavinda que siempre me han apoyado a pesar de la distancia, a mis hermanos Carmelino, Rosalina, Alice, Analdina, Adnaída, Adílson y Amavel Cavinda y a mi cuñado Moises Sapalo Dalo.

A mis profesores, especialmente a mi amable tutora Tereza Hernández Columbié y Co-tutor Reinier Hernández Guilarte y a todo el claustro de profesores del departamento de Geología.

A mi novia Zilândia Carolina Sapalo, a mis colegas Pedro Manuel, Rodríguez, Francisco, Bruno, Dumila y a todos mis compañeros de aula.

A la familia Pérez que me ha recibido como un hijo, a mis amigos y compañeros Tomás, Salvador, Arlindo, Silva, Jessica, Petra, Galcione, Marinela, Clotilde, Fausto, Avelino, Miguel, Alberto, Helder y a todos que de manera directa e indirecta me han apoyado durante la formación y estancia en Cuba.



Resumen

Los pasivos ambientales mineros existentes en Cuba constituyen fuentes de riesgos potenciales ante la acción de peligros de origen natural o antrópicos, donde la acción del cambio climático provoca el incremento de la probabilidad de ocurrencia de lluvias cada vez más intensas, con el incremento de los riesgos de colapsos de las presas de colas que constituyen pasivos ambientales. La no existencia de un procedimiento en el país para evaluar los riesgos geo-ambientales de las presas de colas transformadas en pasivos ambientales favorece el incremento de la vulnerabilidad de estas obras y el riesgo de ocurrencia de desastres de gran magnitud. El objetivo de esta investigación es proponer un procedimiento para la evaluación de los riesgos geo-ambientales en los pasivos ambientales mineros. Se aplican métodos cualitativos y cuantitativos para la evaluación de los riesgos. Los resultados alcanzados se basan en diseñar un procedimiento para la determinación de los diferentes tipos de riesgos en Cuba, con la aplicación del mismo a la presa de colas inactiva de Moa se determina que los riesgos socio ambientales poseen un comportamiento (medio) y los económicos (alto). Se diseñó un plan de medidas de prevención, mitigación y corrección de impactos negativos para evitar la ocurrencia de desastres, ante la liberación de colas al medio por destrucción de la estructura.



Summary

The passive environmental existent miners in Cuba constitute sources of potential risks before the action of dangers of natural origin or antrópicos, where the action of the climatic change causes the increment of the probability of occurrence of more and more intense rains, with the increment of the risks of collapses of the preys of lines that you/they constitute passive environmental. The non existence of a procedure in the country to evaluate the geo-environmental risks of the preys of lines transformed in passive environmental it favors the increment of the vulnerability of these works and the risk of occurrence of disasters of great magnitude. The objective of this investigation is to propose a procedure for the evaluation of the geo-environmental risks in the passive environmental miners. Qualitative and quantitative methods are applied for the evaluation of the risks. The reached results are based on designing a procedure for the determination of the different types of risks in Cuba, with the application of the same one to the inactive prey of lines of Moa is determined that the environmental risks partner possess a behavior (half) and the economic ones (high). it was designed a plan of measures of prevention, mitigation and correction of negative impacts to avoid the occurrence of disasters, before the liberation of lines to the means for destruction of the structure.



Índice

Pensamiento.....

Dedicatoria.....

Agradecimientos.....

Resumen.....

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL AREA DE ESTUDIO.....17

1.0. Introducción.....17

1.1. Localización geográfica del área de estudio.....17

1.2. Clima.....18

1.3. Hidrografía del medio y su impacto antrópico18

1.4. Geomorfología del territorio.....19

1.5. Escurrimiento superficial.....20

1.6. Geología de la región.....21

1.7. Geología del área de estudio22

1.8. Tectónica del área de estudio23

1.9. Sismicidad del área de estudio24



1.10. Suelos.....	25
1.11. Infraestructura económica.....	25
1.12. Caracterización de la presa de colas inactiva de Moa.....	26
1.13. Conclusiones parciales.....	28

CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR LOS RIESGOS GEOAMBIENTALES EN LOS PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LAS PRESAS DE COLAS.....29

2.0. Introducción.....	29.
2.1. Etapas de la investigación.....	29
2.1.1. Etapa preliminar.....	29
2.1.2. Etapa de campo.....	29
2.1.3. Etapa de gabinete.....	30
2.1.3.1. Procesamiento de la información.....	30
2.2. Propuesta del procedimiento.....	30
2.2.1. Descripción de las etapas del procedimiento.....	31
2.2.1.1. Caracterización de la instalación.....	31
2.2.1.2. Identificación de los riesgos.....	32
2.2.1.3. Análisis de los riesgos.....	33
2.2.1.4. Análisis de la Severidad de las Consecuencias.....	40
2.2.1.5. Evaluación del riesgo.....	52
2.2.1.6. Plan de gestión de riesgos.....	54
2.2.1.7. Riesgo residual.....	55
2.3. Conclusiones parciales.....	55



CAPÍTULO III. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO AL PASIVO AMBIENTAL MINERO DE LA PRESA DE COLAS INACTIVA DE MOA.....	56
3.0. Introducción.....	56
3.1. Desarrollo del procedimiento propuesto.....	56
3.1.2. Condición de la instalación (CI)	56
3.1.3. Identificación de los riesgos.....	61
3.1.4. Análisis de los riesgos.....	61
3.1.5. Análisis de la probabilidad de ocurrencia de un hecho.....	62
3.1.6. Nivel de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho.....	65
3.2. Análisis de la Severidad de las Consecuencias.....	66
3.2.1. Nivel de Severidad de las Consecuencias a la parte social.....	66
3.3. Nivel de Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente.....	69
3.4. Análisis de la Severidad de las Consecuencia a la Parte Económica.....	72
3.5. Evaluación del Nivel de Riesgo.....	75
3.6. Nivel de Riesgo a la Parte Social.....	75
3.7. Nivel de Riesgo al Medio Ambiente.....	76
3.8. Nivel de Riesgo a la Parte Económica.....	77
3.9. Plan de gestión de riesgos.....	77
3.9.1. Riesgo residual.....	78
3.10. Conclusiones parciales.....	78
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81



Índice de tablas

Tabla 1. Estadística de las precipitaciones, periodo 2015 al 2017.....	19
Tabla 2. Caracterización de la instalación.....	32
Tabla 3. Para la selección del nivel de probabilidad de ocurrencia del evento natural. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	34
Tabla 4. Determinación del Índice de Medidas de Cierre y Post Cierre. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	37
Tabla 5. Nivel de la Condición de la Instalación. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	39
Tabla 6. Análisis de la Severidad de las Consecuencias en la Parte Social. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	41
Tabla 7. Nivel de la Severidad de las Consecuencias a la parte social. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.	43
Tabla 8. Componentes ambientales y consideraciones. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.	44
Tabla 9. Análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	46
Tabla 10. Nivel de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	48
Tabla 11. Consideraciones de cada componente económica.....	49
Tabla 12. Variables en los Componentes de la Parte Económica (SCpe')	49
Tabla 13. Análisis de las variables de la Severidad de las Consecuencias en la Parte económica	50



Tabla 14. Impacto Económico (IE).....	51
Tabla 15. Nivel de la Severidad de las Consecuencias a la parte económica..	52
Tabla 16. Matriz de Evaluación de Riesgos. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	53
Tabla 17. Establecimiento de la significancia del nivel de riesgo.....	54
Tabla 18. Nivel de control del riesgo.....	64
Tabla 19. Resultados del nivel de valorización de la condición de la instalación.	
Tabla 20. Obtención del nivel de la Probabilidad de ocurrencia del Hecho:	65
Tabla 21. Resultado del análisis de severidad de las consecuencias en la Parte Social.....	66
Tabla 22. Nivel de control del riesgo con la ejecución de las medidas de cierre.....	68
Tabla 23. Resultados del nivel de severidad en las personas	68
Tabla 24. Proceso de selección de las componentes ambientales.....	69
Tabla.25. Resultados de las evaluaciones de las componentes ambientales.....	70
Tabla 26. Nivel de control del riesgo con la ejecución de las medidas.....	72
Tabla 27. Evaluación de las variables.....	73
Tabla 28. Evaluación del impacto económico	73
Tabla 29. Nivel de control del riesgo con la ejecución de la Medida.....	74
Tabla 30. Resultados de la evaluación del riesgo en la parte social.....	76
Tabla 31. Severidad de las consecuencias medio ambientales.....	76
Tabla 32. Severidad de las consecuencias económicas.....	77

Índice de figuras

Figura 1. Incidentes de Presas de colas por mecanismos de fallos y su relación al método constructivo, según Oldecop, L. y Rodríguez, R. 2008	8
Figura 2. Daños ocasionados por rotura de las presas de colas “Las Marianas” y “Brumadinho” en Brasil. Tomado de Google 2015 y 2019.....	9
Figura 3. Deslizamientos provocados por ascenso del nivel freático, según Oldecop, L. y Rodríguez, R. 2008	9
Figura 4. Rotura de la Presa de Aznalcollar, 1998. (Foto tomada de Oldecop. L.)	11
Figura 5. Vista aérea de la presa de Tapo Canyon previa a su rotura (izquierda) y rotura de la presa causada por el Terremoto de Northridge en 1994	13
Figura 6. Foto satelital de la presa de colas inactiva de Moa.....	17
Figura 7. Versión digital del mapa geomorfológico. Escala original 1:50 000 (Modificado de Rodríguez A. 1998)	20
Figura 8. Esquema geológico de Cuba mostrando los afloramientos del cinturón plegado y del neoautóctono (tomado de Iturralde-Vinent, M.A. 1996)	22
Figura 9. Esquema geológico del área de estudio. Modificado de IGP, 2001 ..	23
Figura 10: Grietas en muro de la presa inactiva de Moa, sismo de 1995 (Rodríguez, A. 1998).....	24
Figura 11. Mapa sismo tectónico de la región oriental. Tomado de Tesis Doctoral de Arango, E., CICESE, 2014	25
Figura 12: Sección transversal del método constructivo empleado “aguas arriba”, Hernández, T. 2015.....	26



Figura 13: Método de distribución de las colas con la utilización de tubos de descarga, según ICOLD, 1989.....	27
Figura 14. Etapas para el desarrollo de la investigación.....	29
Figura 15. Organigrama del procedimiento para evaluar los riesgos geo-ambientales en los pasivos ambientales mineros.	31
Figura 16. Esquema para la identificación de los riesgos.....	32
Figura 17. Ejemplo esquemático del análisis de la probabilidad de ocurrencia del hecho.	34
Figura 18. Esquema del análisis de la probabilidad de ocurrencia de un hecho. Fuente. SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.	35
Figura 19. Matriz del análisis de la probabilidad de ocurrencia del hecho. Fuente. SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.	39
Figura 20. Etapas para el análisis de la severidad de las consecuencias.....	40
Figura 21. Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Parte social (SCps). Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.	41
Figura 22. Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	44
Figura 23. Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias a la parte económica. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	49
Figura 24. Dique averiado de la presa de colas.....	58
Figura 25. Presencia de deslizamientos.....	58



Figura 26. Obstrucción de las tuberías de drenaje en la presa.....	59
Figura 27. Perdida de la altura de revancha le presa.....	59
Figura 28. Curso de agua que erosiona el pie de la presa.....	60
Figura 29. Viviendas construidas encima de la presa.....	60
Figura 30. Identificación de los riesgos. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.	61
Figura 31. Análisis de la probabilidad de ocurrencia del hecho. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.....	62

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la minería a cielo abierto se caracteriza por la explotación de los recursos de mejor calidad, lo que implica la producción de grandes volúmenes de residuales sólidos, en particular las colas, que requieren ser almacenadas de forma que impacten lo menos posible el ambiente. En la actualidad los problemas geotécnicos que generan estas obras se han convertido en líneas de investigación de las ciencias de la tierra.

La minería en Cuba se ha desarrollado de forma intensiva a partir del siglo XX, las industrias minero metalúrgicas se han caracterizado por altos niveles de ineficiencia de sus procesos, lo que aporta altos volúmenes de rechazo y de residuales provenientes del proceso minero industrial, los mismos se han acumulado en escombreras y presas de colas que permanecen, generalmente, como pasivos ambientales mineros sin poseer un sistema que permita evaluar los riesgos geo-ambientales.

La aparición de los pasivos ambientales mineros se ha producido en toda América; Chile, Estados Unidos y Perú son algunos de los países que han adoptado el término de Pasivo Ambiental Minero (PAM) dentro de su legislación, obligando a diseñar metodologías para poder realizar la identificación y evaluación de los mismos.

Problema científico

Necesidad de un procedimiento para evaluar los riesgos geo-ambientales que genera la presa de colas inactiva de Moa como pasivo ambiental minero.

Objeto de estudio

Presa de colas inactiva de Moa.

Campo de acción

Riesgos geo-ambientales de la presa de colas inactiva de Moa.

Objetivo general

Diseñar un procedimiento para la evaluación los riesgos geo-ambientales del pasivo ambiental minero de la presa de colas inactiva de Moa, para la prevención de daños ambientales y socioeconómicos.

Objetivos específicos

1. Caracterizar geoambientalmente el área de estudio.
2. Identificar los riesgos de las presas de colas como pasivos ambientales mineros.
3. Evaluar los riesgos socioeconómicos y ambientales de la presa de colas inactiva de Moa como pasivo ambiental minero, con la mitigación de los impactos negativos a través de un plan de gestión de riesgos.

Hipótesis

Si se diseña un procedimiento para la evaluación de los riesgos geo-ambientales de los pasivos ambientales mineros en Moa, se podrán prevenir, mitigar o corregir los riesgos que generan los pasivos ambientales mineros, aplicando un plan de gestión de riesgos.

- Conceptualización de los pasivos ambientales mineros

Actualmente constituye un problema dentro de la temática de los PAM, la no existencia de una definición única de estos, entre los diferentes países que se dedican a este estudio.

La Asociación de Servicio de Geología y Minerías Iberoamericanas, (2010), define los PAM como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinarias 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.

En Chile, según el proyecto de Ley de la Remediación de los PAM los definen como, aquellos depósitos de residuos mineros abandonados o paralizados, incluyendo, sus residuos, que constituyen un riesgo significativo para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente, (Oblasser & Chaparro Ávila, 2008, pág. 13).

También en el Perú, Oblasser & Chaparro. A, (2008) consideran a los PAM, como todas aquellas instalaciones, 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.

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 además la contaminación generada por una emergencia, lo cual es recogido por Ríos Azahares en su trabajo investigativo (2015, pág. 16).

Ríos Azahares, (2015), plantea además que en Bolivia, de acuerdo a la Ley No. 1333- Ley de Medio Ambiente, 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.

En Cuba, no existe como tal una definición específica para los pasivos ambientales mineros metalúrgicos, aunque ya existen varios criterios sobre su denominación, ya que las leyes existentes no la definen claramente, en este sentido Ganesh Persaud, (2014) afirma que, son grandes acumulaciones de residuos y rechazos sólidos con valor económico y social, como consecuencia del desarrollo de las actividades mineras y/o metalúrgicas, que representan un riesgo e impacto para el medio ambiente y la calidad de vida de las personas, (pág.8).

Los PAM generados por las industrias del níquel en Cuba, aunque no han sido llamados de esta forma de manera oficial, sí se conocen algunas de sus principales características físicos - químicas, pero son insuficientes para poder definir sus posibles usos, como resultado de las investigaciones realizadas en los últimos años (Navarro Breffe, 2017, pág. 33).

Analizando las definiciones de diferentes países de América Latina, incluyendo Cuba, sobre los PAM, podemos concluir que, ciertamente estos depósitos de residuos son un problema que afecta a la sociedad, el medio ambiente y a la economía en la actualidad, además que los mismos no poseen una entidad u organismos que se ocupe de gestionar los riesgos que generan los mismos, por tanto, en esta investigación clasificamos a la presa de colas inactiva de Moa, como un Pasivo Ambiental Minero.

- **Gestión de riesgos**

El impacto de los desastres en las actividades humanas ha sido un tema tratado en los últimos años en un amplio número de publicaciones desarrolladas por diversas disciplinas que han conceptualizado sus componentes en forma diferente, aunque en la mayoría de los casos de una manera similar. La UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization), siglas en inglés, de conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) promovió una reunión de expertos con el fin de proponer una unificación de definiciones que ha sido ampliamente aceptada en los últimos años (UNDRO, 1979). Entre otros conceptos, el reporte de dicha reunión:

"Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad" incluyó los siguientes:

- Amenaza o peligro (Hazard - H), definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.
- Vulnerabilidad (V), como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.
- Riesgo específico (specific risk -Rs), como el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad. Elementos bajo riesgo (E), como la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.
- Riesgo total (total risk - Rt), como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un

evento desastroso, es decir el producto del riesgo específico (Rs) y los elementos bajo riesgo (E).

La Asamblea General de las Naciones Unidas en 1989 estableció el Programa Internacional denominado “Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales” (DIRDN). Con este Programa que se implementó desde 1990 hasta 1999, se buscaba promover a nivel global el conocimiento sobre los conceptos de prevención y atención de desastres con énfasis en la aplicación de la ciencia y tecnología, mejorar la capacidad de cada país para la reducción de los riesgos y adoptar sistemas de alerta regional, nacional y local.

La Conferencia Mundial sobre Reducción de los Desastres Naturales se celebró en 1994 en Yokohama, Japón, la Conferencia Mundial "Por un Mundo Más Seguro en el Siglo XXI", con el objetivo de pasar revista a los logros del DIRDN. Este evento fue un hito y permitió un viraje muy positivo en el proceso para el DIRDN que le abrió la senda a nuevas estrategias.

El surgimiento de la Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres (EIRD, 2000), en calidad de sucesora de las disposiciones emanadas del DIRDN, está diseñada para responder a la necesidad de pasar de la protección contra los peligros a la gestión del riesgo mediante la integración de la reducción dentro del desarrollo sostenible.

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), son ocho propósitos de desarrollo humano fijados en el año 2000, que los 189 países miembros de las Naciones Unidas acordaron conseguir para el año 2015. Estos objetivos tratan problemas de la vida cotidiana que se consideran graves y/o radicales. El objetivo No. 7 “Garantizar la Sostenibilidad del Medio Ambiente” aborda el tema de la pérdida de millones de hectáreas de bosques, el incremento de las emisiones de CO₂, la extinción de especies y el agotamiento de las fuentes de agua.

Posteriormente, la Conferencia Mundial para la Reducción de Desastres, celebrada en Kobe, Hyogo, Japón en enero de 2005, adoptó el Marco de Acción de Hyogo (MAH) para el 2005-2015, con el objetivo de alcanzar un aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres con la intención de reducir las pérdidas, tanto en

términos de vidas humanas como de recursos materiales, Etapas de la gestión del riesgo de desastres

- **Evaluación del riesgo:** análisis de los posibles peligros y condiciones de vulnerabilidad que podrían ocasionar daños a personas desprotegidas, propiedad, servicios, medios de vida y el medio ambiente.
- **Prevención:** medidas, que abarcan desde las reformas de política hasta la construcción de infraestructura, encaminadas a asegurar que el quehacer humano o los fenómenos naturales no provoquen desastres o emergencias.
- **Grado de preparación:** conjunto de medidas que aseguran que la respuesta sea eficaz, por ejemplo, la planificación para imprevistos, el almacenamiento de equipo y provisiones, la evacuación y la difusión de información al público.
- **Respuesta:** conjunto de actividades para hacer frente a una emergencia (ayuda y asistencia humanitaria, seguridad pública, servicios básicos de subsistencia).
- **Rehabilitación:** medidas para restablecer las funciones básicas, incluido el restablecimiento de servicios básicos.
- **Reconstrucción:** acciones encaminadas a la plena reanudación de actividades a los niveles anteriores a la crisis.

- Efectos del cambio climático sobre la sociedad

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) declaró que las consecuencias del cambio climático en la actualidad causan desastres, en las sociedades más vulnerables, el aumento de la frecuencia de huracanes y sus consecuencias nocivas en la población y medios de subsistencias, el avance irreversible de la desertificación, la migración entre países y regiones; este tema gana día más importancia por las pérdidas que está ocasionando el cambio climático, existe un gran movimiento mundial (consultar la siguiente dirección) (http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml).

El incremento de la vulnerabilidad ante fenómenos naturales, ambientales o migratorios extremos es una realidad, nuestras sociedades son menos resistentes ante efectos de simples eventos normales de la dinámica propia de la tierra o cíclicos, correspondientes

a las variables de las estaciones y comportamiento del clima. La vulnerabilidad continúa y en muchos casos se acentúa ya que en nuestras sociedades prevalecen visiones de corto plazo que se enfocan en actuar sobre los efectos de los desastres, obviando las causas que generan los riesgos y reaccionando principalmente ante una contingencia, sin considerar la reducción de los riesgos ni la prevención de sus futuras consecuencias. Incluso, después de un desastre se actúa principalmente en la emergencia, la ayuda humanitaria y, en la rehabilitación de los servicios básicos y el restablecimiento de las condiciones existentes previas a la catástrofe, es decir, de alguna forma, se labora en la reconstrucción de la vulnerabilidad, contribuyendo a perpetuar el mismo “paradigma de desarrollo”. Prueba fehaciente de ello es que las organizaciones de ayuda humanitaria siguen creciendo y no se fortalecen las destinadas al desarrollo (Valdés, 2007).

- Mecanismos de fallo de presas de colas

La rotura de una presa de colas y el vertido de estas al medio, puede tener consecuencias catastróficas; por lo que surge la necesidad de conocer la forma en que se produjeron históricamente. Estos antecedentes constituyen una referencia necesaria para aprovechar esta experiencia para la identificación y prevención de los riesgos en las presas de colas. Los resultados obtenidos del análisis de 251 casos de fallos y accidentes en presas de residuos mineros, recopilados en el Boletín 121 del ICOLD, muestran que estas se producen tanto en las presas que están en operación como en las inactivas o abandonadas, (Oldecop, L. y Rodríguez, R. 2007).

Las principales causas de fallo identificadas en estos estudios son las siguientes: deslizamiento del talud, terremoto, sobrepaso, problemas de cimentación, tubificación, fallos por problemas en las estructuras auxiliares, erosión del dique, subsidencias o colapso del terreno. Las presas con mayor ocurrencia de fallos son las que se construyen por el método “aguas arriba”. En la Figura 1 se muestran incidentes de presas de colas por mecanismos de fallos y su relación al método constructivo, según Oldecop, L. y Rodríguez, R. 2008.

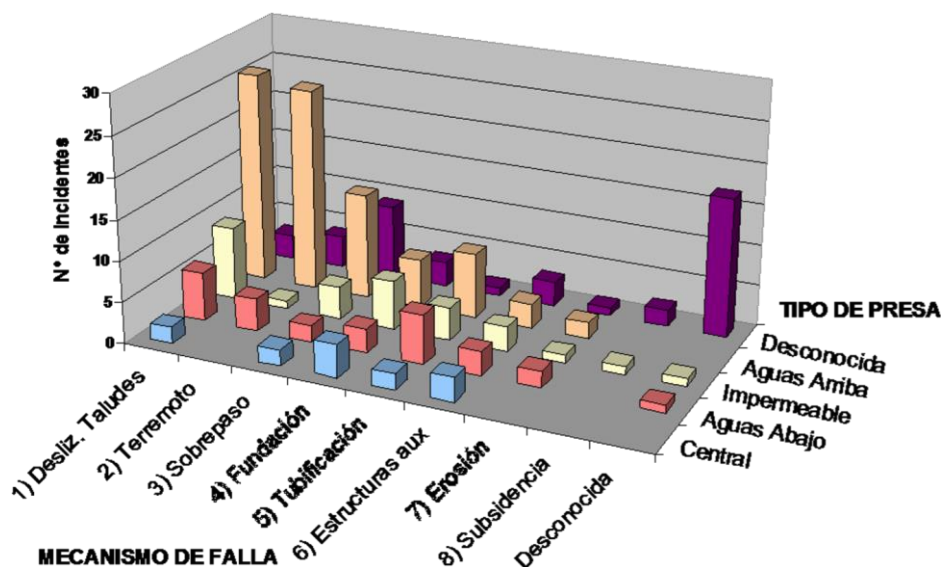


Figura 1. Incidentes de Presas de colas por mecanismos de fallos y su relación al método constructivo, según Oldecop, L. y Rodríguez, R. 2008

El problema principal que favorece el proceso de fallo es la existencia de un alto grado de saturación en los residuos mineros tecnológicos almacenados en las presas. Las consecuencias de estos fallos se reflejan en grandes pérdidas económicas, degradación y contaminación del medioambiente y en algunos casos, pérdidas de vidas humanas. Un ejemplo de ello lo constituyen los desastres ocurridos en el Brasil en los años 2015 y 2019 al fallar dos grandes presas de colas que ocasionaron la muerte de más de 200 personas y la destrucción de miles de hectáreas de tierras fértiles y la contaminación de los recursos hídricos de la región. Ver Figura 2.



Figura 2. Daños ocasionados por rotura de las presas de colas “Las Marianas” y “Brumadinho” en Brasil. Tomado de Google 2015 y 2019.

- Deslizamientos

El deslizamiento de un talud ocurre cuando los esfuerzos de corte en una superficie que delimita un bloque de suelo, exceden la resistencia al corte del material. Los eventos que determinan el inicio del deslizamiento pueden ser de diferente naturaleza. En particular, para las presas de colas, se han identificado tres situaciones que comúnmente desencadenan un deslizamiento de talud:

1. Elevación de la superficie freática y su aproximación al talud.
2. Desarrollo de presiones de poro durante trabajos de recrecimiento y
3. Licuefacción de las zonas saturadas de la presa de colas debido a una acción sísmica.

En la Figura 3 se muestra la zona de mayor inestabilidad del talud de una presa de colas por aproximación del nivel freático, debido a la elevación del nivel de agua en la laguna de decantación y su desplazamiento hacia la zona de playa.

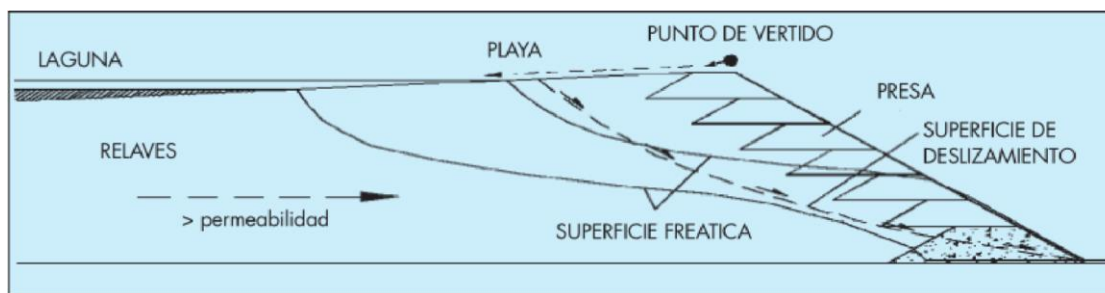


Figura 3. Deslizamientos provocados por ascenso del nivel freático, según Oldecop, L. y Rodríguez, R. 2008

- Sismicidad

Los sismos constituyen uno de los peligros de mayor incidencia en los desastres por fallo de las presas de colas. El análisis de la sismicidad como mecanismo de fallo, activado a través de la ocurrencia de terremotos, se ejemplifica mediante el estudio del colapso de la presa El Cobre en Chile con altura de 35 m, ubicada en Chile, inactiva por periodo de

dos años, en su momento de fallo sólo se usaba esporádicamente como depósito temporal de agua favoreciendo que el nivel de saturación en el depósito se mantuviera elevado, aun cuando el clima de la región se mantenía relativamente seco. El terremoto de La Ligua ocurrido el 28 de marzo de 1965, de magnitud 7.5 grados en la escala de Richter, con epicentro localizado a 70 Km, a una profundidad focal 60 Km, provocó el fallo de la presa El Cobre por licuación de los relaves. El desplazamiento por el valle (12 Km) de alrededor de un millón de metros cúbicos de lodo, provocó la destrucción de un asentamiento poblacional ubicado aguas abajo de la presa y la muerte de 300 personas. La velocidad de la avalancha se estimó en unos 20 Km/h, a pesar de que la pendiente del terreno natural era bastante baja, sólo unos 3°. El manejo incorrecto del agua dentro de la presa, en este caso de estudio, jugó un papel fundamental en la ocurrencia del fallo, combinado con la actividad sísmica.

- Licuefacción

La licuefacción de suelo describe el comportamiento de suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (carga), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado. Este fenómeno es frecuente que ocurra en suelos granulados sueltos saturados o moderadamente saturados con un drenaje pobre.

El fenómeno de licuación de materiales granulares (no plásticos) se explica por la tendencia de estos a reducir su volumen de poros cuando se les somete a deformaciones de corte cíclicas. En un material saturado estos cambios de volumen ocurren a expensas de expulsar agua en los poros dependiendo de la permeabilidad. El incremento de la presión del agua puede estar asociado con la baja permeabilidad donde la distancia a las fronteras de drenaje es grande, o con la rapidez de ocurrencia de las cargas y deformaciones.

Este aumento de la presión del agua intersticial tiene como efecto la disminución de la resistencia al deslizamiento entre partículas, hasta el punto de hacer que el material fluya como un líquido viscoso, de alta densidad (Oldecop, L., et. al. 2008).

- Problemas en la cimentación

El análisis de los fallos por problemas en la cimentación se ejemplifica mediante el estudio del caso del fallo de la presa de Aznalcollar (1998) (Ver Figura 4). La serie de fenómenos que contribuyeron a que el fallo ocurriera, estuvieron relacionados con la cimentación seleccionada para la construcción de la obra. La presa es de tipo anular, con recrecimiento hacia aguas abajo y una pantalla impermeable de arcilla en su cara de aguas arriba.



Figura 4. Rotura de la Presa de Aznalcollar, 1998. (Foto tomada de Oldecop. L.)

El suelo de cimentación estaba constituido por una delgada capa aluvial de aproximadamente 4 metros de espesor; depositada sobre arcillas marinas carbonatadas, con un espesor mayor a 60 m. Las propiedades geológicas y mecánicas de estas arcillas, conocidas como “arcillas azules”, fueron determinantes en el mecanismo de fallo. Las pruebas de ensayo al corte directo de estas arcillas, muestran un comportamiento extremadamente frágil, con una rigidez inicial elevada, un pico de resistencia muy agudo y una caída de resistencia abrupta.

- Tubificación

Los procesos de tubificación provocan mecanismos de fallos que se inician por afloramiento de agua freática en un talud, lavado de partículas hacia materiales más gruesos o el exterior. La pérdida de material genera un proceso de erosión retrógrada, que amplía la vía de agua y por lo tanto, el caudal y la capacidad de provocar más erosión

El proceso causa la desestabilización del talud de la presa, lo que provoca la aparición de chimeneas o deslizamientos y se genera una brecha. El aumento de las tensiones de corte sobre las colas provoca su licuefacción estática y el flujo a través de la brecha.

- Erosión

Las propiedades de los materiales que componen los diques, las características pluviométricas de la región y la no existencia de una protección de los taludes, favorecen la acción de la erosión superficial de los taludes, lo que provoca la presencia de surcos y cárcavas que arriesgan la estabilidad de la obra.

El diseño de las presas de colas considera que las aguas no deben ser vertidas, por la carga contaminante asociadas a estas. Esta consideración, induce la existencia de grandes volúmenes de aguas acompañantes de las colas, más las aportadas por las lluvias. El agua es uno de los agentes fundamentales en los procesos erosivos.

- Fallo de estructuras auxiliares

La bibliografía consultada refiere que la mayor cantidad de incidentes originados en las estructuras auxiliares se deben a fallos en los sistemas de decantación del agua de la presa. En las presas donde se utilizan los sistemas de decantación del agua, a partir de tuberías que corren por el fondo del depósito que conducen el agua desde la base hacia el exterior, es frecuente el fallo de estos conductos. Estas, provocan filtraciones de agua desde la tubería hacia los residuos mineros con los consiguientes efectos indeseables de humedecimiento y elevación del nivel freático; o la creación de una vía de escape para los residuos mineros de poca consistencia.

- Subsistencia

Los reportes de fallos de presas de colas por subsidencia son escasos, en la colección de Boletín 121 del ICOLD (2001) sólo se registran tres casos de un total de 221 reportados. Estos fallos por subsidencia están asociados a la actividad minera subterránea, donde por proximidad o por condiciones geológicas favorables, en un cierto momento llegan a afectar a los depósitos de colas en superficie. En dos de los casos registrados, Mulfilira (Zambia) y Atlas (Filipinas), el fallo consistió en el escape de colas

licuadas hacia galerías subterráneas en donde se realizaban actividades de extracción (Oldecop, L. y Rodríguez, R, 2008).

- Actividad antrópica

Uno de los mecanismos de fallos lo constituye la acción del hombre, desde el uso de suelos, las construcciones de la red vial y el incumplimiento de las normas de construcción provocan el incremento de fallos de las obras por deslizamiento. La presa de Tapo Canyon (Ver Figura 5) de 24 m de altura, ubicada en California, construida por el método aguas arriba; se utilizaba para el almacenamiento de residuos finos provenientes del lavado de áridos, colapsó durante la ocurrencia del terremoto de Northridge California, 1994.

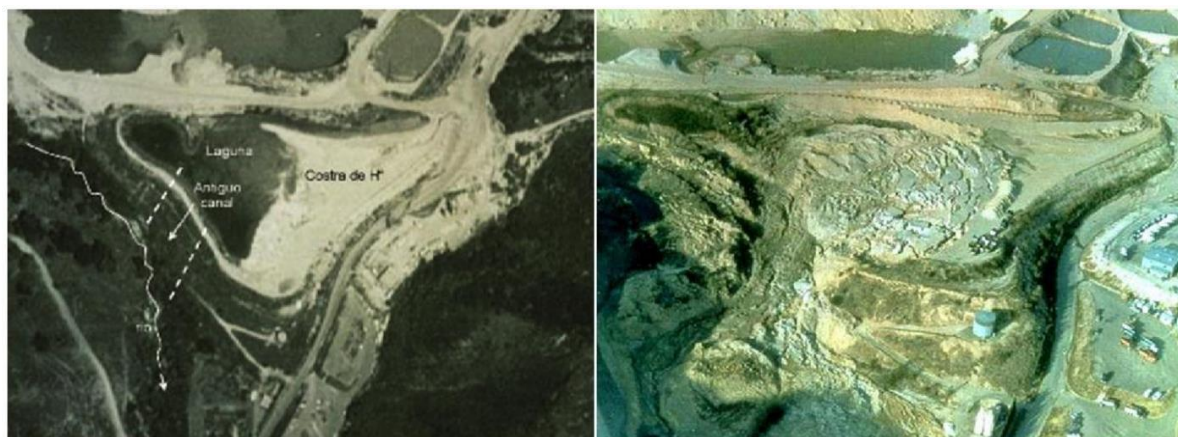


Figura 5. Vista aérea de la presa de Tapo Canyon previa a su rotura (izquierda) y rotura de la presa causada por el Terremoto de Northridge en 1994 (derecha) (Foto de Northridge Collection, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley)

La presa se había iniciado en la depresión de una antigua cantera. Esta llevaba dos años inactiva al momento del fallo. Sin embargo, en la mitad este se continuó con el lavado de los residuos de camiones mezcladores de hormigón, hacia la mitad oeste del depósito se localizaba una laguna en contacto directo con la presa. Esta acción provocó la saturación de los diques de contención y unido al factor disparador, la ocurrencia del terremoto indujo la licuación del material de la presa, que se encontraba saturado debido a la proximidad de la laguna y las actividades de lavado. Los residuos licuados se

desplazaron por una brecha de unos 60 m de ancho. El fallo implicó el flujo de una gran cantidad de residuos a lo largo de 180 m aguas abajo (Harder y Steward, 1996). Afortunadamente, por estar ubicada en una zona despoblada, no provocó víctimas ni otras pérdidas económicas importantes.

- Estado de la temática de la protección de las presas de colas en Cuba

La base legal cubana en materia de reducción de riesgos de desastres abarca 3 leyes, 7 decretos ley, 13 decretos, 21 resoluciones ministeriales y 1 directiva, esta investigación muestra algunas de ellas:

- 1- La ley 75 de la Defensa Nacional, del 21 de diciembre de 1994, en el Capítulo XIV se define el Sistema de Medidas de Defensa Civil y se otorgan responsabilidades a los Presidentes de las Asambleas Provinciales y Municipales del Poder Popular como líderes de Defensa Civil en sus respectivos territorios. Establece también, que las medidas de la defensa civil deben ser coordinadas y ejecutadas por los organismos estatales, las entidades económicas y las instituciones sociales. En esta ley se establecen, además, las principales medidas a cumplir para la protección de la población y la economía.
- 2- El decreto ley No. 170, del Sistema de Medidas de la Defensa Civil, como cuerpo legal específico referente a la Defensa Civil, define ampliamente todos los aspectos relacionados con la reducción de riesgos de desastres en la República de Cuba. En este decreto se define por primera vez la “reducción de desastres” como el “conjunto de actividades preventivas, de preparación, respuesta y recuperación, que se establecen con la finalidad de proteger a la población, la economía y el medio, de los efectos destructivos de los desastres naturales”.
- 3- Decreto ley No. 262, Reglamento para la compatibilización del desarrollo económico social del país con los intereses de la defensa. Establece la consulta obligatoria de todas las inversiones realizadas en el país al correspondiente nivel de Defensa Civil, con el fin de incorporar las medidas de reducción de riesgo de desastres. Esto incluye a los planes, programas y proyectos de desarrollo nacional.

4- Directiva No. 1 del Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC), Modificada en 2018, aprueba lo siguiente:

Disposición: VIGÉSIMA. Facultar, a los jefes (titulares) que a continuación se relacionan, para:

4. Los ministros de Educación y Educación Superior y los titulares de los demás organismos formadores, incluir en los planes y programas de estudio, temáticas y objetivos que contribuyan a elevar en los educandos, maestros y profesores la percepción del riesgo de peligros de desastres, acorde con los preceptos normativos de esta Directiva .

La presente investigación responde a las orientaciones del Centro de Gestión y Reducción de Riesgos Municipal y el CITMA del municipio de Moa, de la necesidad de proponer un procedimiento para la evaluación de los pasivos ambientales mineros, prestando especial interés a las presas de colas.

La Ley # 81 de Medio Ambiente, emitida en el año 1997, no incluye a las presas de colas como uno de los focos de contaminación más violentos al medio natural. Los fallos de las presas de colas son escenarios que no fueron contemplados en esta ley medioambiental, lo que favorece a la falta de percepción de los riesgos que representan estas obras para el hombre, las propiedades y el ambiente.

En la Norma Cubana NC 46: 2017 (Construcciones sismorresistentes – requisitos básicos para el diseño y construcción), la misma establece los requisitos básicos para el diseño y la construcción de obras sismorresistentes ubicadas en zonas de peligro sísmico. Incluye tanto las edificaciones como las obras civiles con el propósito de disminuir o mitigar su grado de vulnerabilidad. El municipio de Moa se clasifica en la Zona 3 de peligro sísmico moderado que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en todas las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima para el cálculo estarán entre (0,40 - 0,50) g para periodos cortos (Ss) y entre (0,15 - 0,20) g para periodos largos (S1).

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL AREA DE ESTUDIO

1.0. Introducción

Los pasivos ambientales mineros alcanzan un protagonismo cada vez más negativo por el reporte del incremento de los daños que generan estas obras al medio, es necesario analizar las características físico geográficas y geológicas del área de estudio, para comprender la magnitud de esta problemática.

1.1. Localización geográfica del área de estudio

La presa de colas inactiva de Moa, se encuentra ubicada en la costa norte de Cuba, específicamente, en la provincia de Holguín, municipio Moa. Limita al sureste con la fábrica Comandante Pedro Sotto Alba, al norte con el sector urbano de Moa y al noreste con el aeropuerto municipal (ver Figura 6), ocupando un área de 45 310 m² aproximadamente.

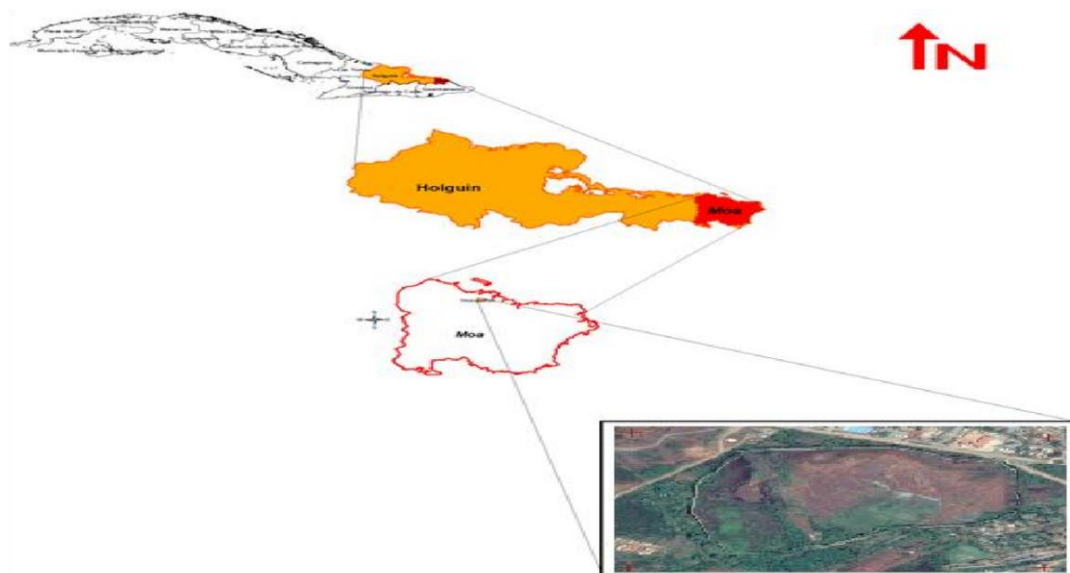


Figura 6. Foto satelital de la presa de colas inactiva de Moa

1.2. Clima

La zona presenta un clima del tipo tropical húmedo, con abundantes lluvias. Las montañas del grupo Sagua-Baracoa sirven de barrera a los vientos Alisios del noreste, los cuales descargan toda su humedad en forma de abundantes precipitaciones en la parte norte. La distribución de las precipitaciones se caracteriza por dos períodos de lluvia, (Mayo - Junio) y (Septiembre - Enero) y dos períodos de seca (Febrero - Abril) y (Julio - Agosto). En un año, la precipitación media es 1624 mm y según los análisis estadísticos de 21 años (1989–2009) el total anual varía entre 767 – 3560mm. La cantidad de días con lluvias anuales que se registran en la serie analizada para cada pluviómetro, manifiestan una regularidad cada cuatro años, en que existe un ascenso en la cantidad de días lluviosos.

Los períodos húmedos comprendidos entre los meses de septiembre - enero con un promedio de lluvia que oscila entre 168 - 336 mm y mayo - junio con un promedio de 149 mm; y períodos secos que se dividen entre los meses de febrero, marzo, abril con un promedio de lluvia de 94 mm y los meses de julio y agosto con un acumulado promedio de 100 mm de precipitaciones. La temperatura media anual oscila entre 21.5 °C y 30.41 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta octubre y los más fríos de diciembre a marzo; los meses más lluviosos mayo, octubre, noviembre y diciembre y los más secos marzo, julio y agosto.

1.3. Hidrografía del medio y su impacto antrópico

Régimen de lluvias

La región de Moa se ha caracterizado por un intenso régimen de lluvias asociado con la interacción de la zona costera y las zonas montañosas. Los registros de lluvias en el territorio han reportado valores de hasta 754 mm en el mes de noviembre de 2017. Las precipitaciones atmosféricas pueden constituir un detonante de fallo si estas no son adecuadamente controladas en el interior de la presa de colas. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Estadística de las precipitaciones, periodo 2015 al 2017

Mes	Año 2015 (mm)	Año 2016 (mm)	Año 2017 (mm)
Enero	169.5	359.9	35.6
Febrero	279.1	231.7	70.4
Marzo	175.8	96.2	436.9
Abril	78.1	137	51.4
Mayo	462.1	258.5	175.9
Junio	7.2	70.7	23.6
Julio	37.4	141.2	69.8
Agosto	88.2	102.9	310.1
Septiembre	63.6	118.4	314.0
Octubre	78.5	359.8	194.0
Noviembre	406.0	252.4	754.3
Diciembre	114.3	162.2	380.8
Promedio Anual	163.3	190.9	234.7

Las mediciones de las precipitaciones de los años (2015-2017), obtenidas de los registros de los pluviómetros ubicados en el municipio (Tabla 1), muestran que la zona de Moa está influenciada por la acción del cambio climático. Se evidencia el impacto del huracán Matthew en octubre del 2016 con un incremento de las precipitaciones en ese mes en comparación con los años 2015 y 2017. En el análisis estadístico se muestra, además, un aumento en el régimen de lluvia en los últimos meses de 2017, por lo que se registran 754.3 mm en el mes de noviembre y 380.8 mm en diciembre.

1.4. Geomorfología del territorio

El relieve de Cuba oriental es el reflejo de la alta complejidad geológico estructural resultante de la acción de procesos compresivos durante la etapa Mesozoica y el Paleógeno, a los cuales se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios,

diferenciados e interrumpidos, así como la separación en bloques del territorio (Rodríguez, A. 1998) (Figura 7).

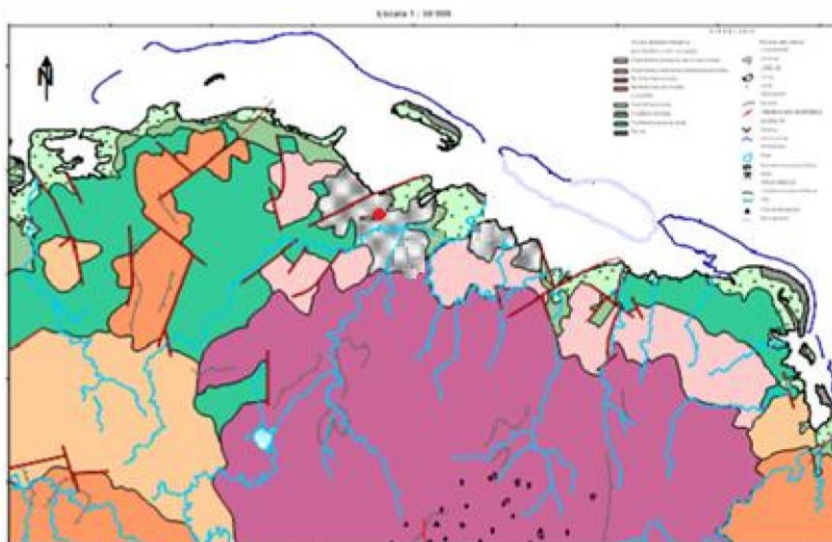


Figura 7. Versión digital del mapa geomorfológico. Escala original 1:50 000 (Modificado de Rodríguez A. 1998)

El relieve de Moa y sus áreas adyacentes está clasificado dentro del tipo de Horst y bloques que corresponden a los cuerpos de rocas ultrabásicas elevadas en la etapa neotectónica a lo largo de dislocaciones antiguas y rupturas nuevas, poco o ligeramente diseccionados (Oliva, G. 1989).

A partir del mapa geomorfológico del Nuevo Atlas Nacional de Cuba se clasificó el territorio en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas, con subtipos específicos que se mencionan a continuación.

1) Zona de llanuras, 2) Zona de montañas, 3) Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas, 4) Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas, 5) Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas, 6) Zona de montañas bajas diseccionadas (Rodríguez, A. 1998).

1.5. Esguerrimiento superficial

El drenaje natural superficial y subterráneo, unido a las intensas precipitaciones propician la erosión hídrica en forma: laminar, en surcos y en cárcavas. La magnitud de la erosión de los taludes de la presa de colas es elevada, en forma de surcos y cárcavas de gran

profundidad. Las cárcavas cortan los estratos de aluviales de la base de la presa de colas, y en forma de erosión vertical y horizontal que acelera el proceso de degradación del material que forma el talud. El arrastre de las aguas hacia el interior de la presa ha incrementado la vulnerabilidad, lo que arriesga la integridad física del dique de contención.

1.6. Geología de la región

Cuba, estructuralmente, forma parte de la plataforma norteamericana, pero en su constitución geológica están presentes varias paleounidades tectónicas representativas de tres etapas del desarrollo del caribe: el arco de islas volcánicas del mesozoico, el del terciario y restos del protocaribe. Actualmente se encuentra separada de la placa caribeña por el sistema de fallas transformantes Oriente.

Según Iturralde-Vinent 1996, la geología de Cuba se caracteriza por la existencia de dos elementos estructurales fundamentales: el cinturón plegado y el neoaútóctono. El cinturón plegado según el autor, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfozados de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe Noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de *piggy back* del Campaniense Tardío-Daniense, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de *piggy back* del Eoceno Medio-Oligoceno. El neoaútóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado (Figura 8).

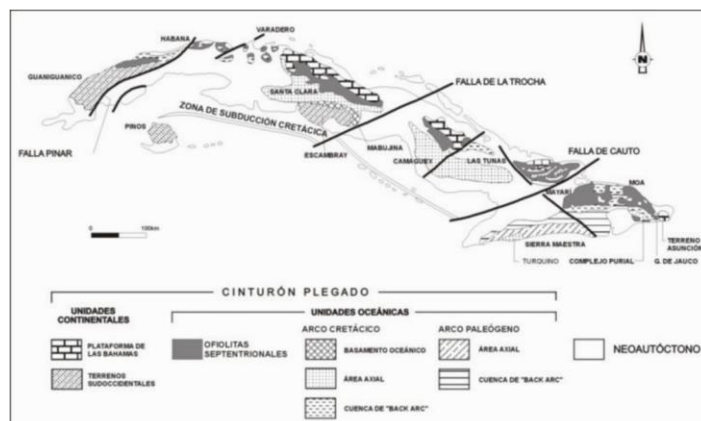


Figura 8. Esquema geológico de Cuba mostrando los afloramientos del cinturón plegado y del neoaútóctono (tomado de Iturralde-Vinent, M.A. 1996)

Cuba Oriental, desde el punto de vista geológico, es la región al este de la falla Cauto. En esta porción de la isla las ofiolitas están asociadas a la Faja Mayarí Baracoa y han sido interpretadas como un sistema de cuencas de ante arco ubicado paleogeográficamente entre el margen Cretácico de la plataforma de Bahamas y el arco volcánico de Las Antillas, los afloramientos están separados en tres complejos: Mayarí-Cristal, Moa - Baracoa, Sierra del Convento (Iturralde-Vinent, M.A. 1996).

El complejo ofiolítico Moa-Baracoa ocupa un área de 1500 km², muestra un corte completo del complejo ofiolítico formado por peridotitas con texturas de tectonitas, cúmulos ultramáficos, cúmulos máficos, diques de diabasas y secuencias efusivo-sedimentarias. Existen numerosos cuerpos de cromitas, sill de gabros y diques de gabros y de pegmatoides gabroicos localizados en la parte alta de la secuencia mantélica en la zona de transición con los cúmulos (Proenza, J. 1998).

1.7. Geología del área de estudio

El marco geológico donde se encuentra emplazada la presa de colas se caracteriza por la presencia de los depósitos del Cuaternario que constituyen una cobertura continua de la cimentación de la presa; y en menor medida hacia el sur de la presa se localiza la corteza laterítica sobre las rocas del complejo ofiolítico. En la Figura 9 se muestra el mapa geológico del área de estudio, donde se representan las principales formaciones geológicas presentes.

Según Rodríguez, A. 1998, los depósitos cuaternarios están constituidos por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, donde predominan los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial.

El área de afloramiento de los depósitos cuaternarios constituye una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinua en las partes interiores. El relieve de estos depósitos, se desarrollan en zonas de llanuras costeras débilmente onduladas, en zonas pantanosas parálicas y en las desembocaduras y cauces de los ríos sobre llanuras irregulares.

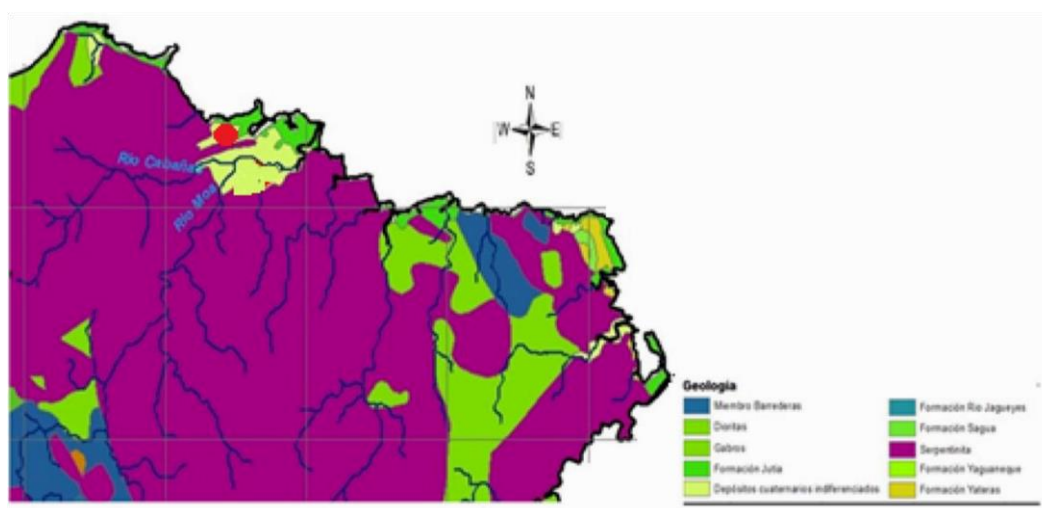


Figura 9. Esquema geológico del área de estudio. Modificado de IGP, 2001

1.8. Tectónica del área de estudio

El Bloque Oriental Cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie (Rodríguez, A. 1998). En los estudios tectónicos precedentes del territorio se reconoció cuatro sistemas de fallas que cortan las rocas de la asociación ofiolítica y que corresponden a cada uno de los períodos de la evolución geotectónica.

1.9. Sismicidad del área de estudio

Aunque no se tienen reportes históricos de la ocurrencia de un terremoto fuerte con epicentro en la localidad de Moa, no se niega la posibilidad de su ocurrencia en épocas anteriores, esto se debe a la no existencia de una infraestructura socioeconómica y cultural que permitiera el archivo de estos datos. Es de interés señalar, que en Moa, se reporta la percepción de muchos terremotos, algunos de los cuales tuvieron su epicentro al norte de La Española.

El 28 de diciembre de 1998 se registró un fuerte temblor ($M_s = 5.5$) ubicado al nordeste de Moa que generó intensidades de hasta VI grados MSK, provocó agrietamiento de paredes en viviendas de mampostería y edificios multifamiliares, y fue percibido por toda la población como una sacudida fuerte del terreno. En la parte industrial de la fábrica Comandante Pedro Sotto Alba, no provocó ningún tipo de afectación, excepto en la presa de colas inactiva (Figura 10) donde provocó la aparición de grietas en los diques (Guardado y Riverón, 1997, Carménate y Riverón, 1999).

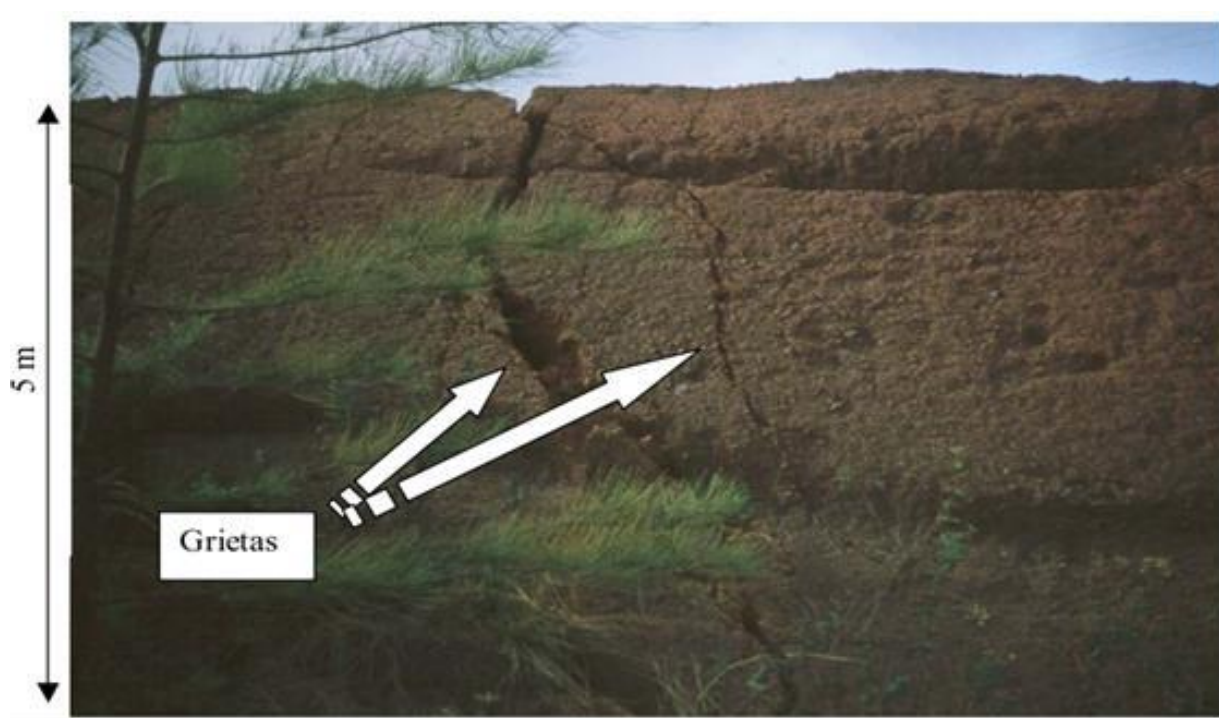


Figura 10: Grietas en muro de la presa inactiva de Moa, sismo de 1995 (Rodríguez, A. 1998)

Los datos estadísticos de los sismos ocurridos en las zonas de monitoreo de la región oriental y en particular en Moa – Purial hasta el año 2014 reflejan que estas zonas han continuado activas (Figura 11).

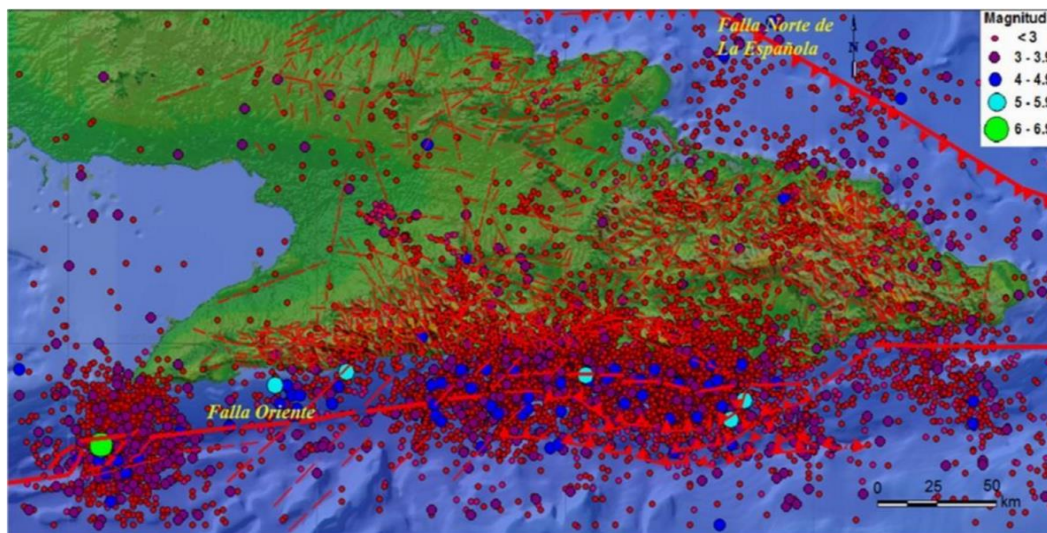


Figura 11. Mapa sismo tectónico de la región oriental. Tomado de Tesis Doctoral de Arango, E., CICESE, 2014

1.10. Suelos

En la región aparecen suelos ferríticos – púrpura de la serie Nipe, de composición arcillosa y alto contenido de perdigones de hierro, le siguen en importancia los suelos escabrosos, poco profundos, esqueléticos de escaso desarrollo en el perfil y alto contenido de hierro. En ambos el drenaje es bueno y en ocasiones excesivo, lo que unido a sus características físico – mecánicas y las intensas precipitaciones que ocurren en la zona provoca una fuerte erosión hídrica, laminar y en cárcavas.

1.11. Infraestructura económica

El municipio de Moa se comunica por carretera con todo el país. Por vía aérea el territorio tiene comunicación con la ciudad de la Habana. Existe además un puerto marítimo que permite el atraque de buques de mediano calado. Económicamente la región está dentro de las más industrializadas del país, no solo por sus riquezas minerales, sino también por contar con dos plantas procesadoras de níquel, la Comandante Ernesto Che Guevara y la Comandante Pedro Sotto Alba, con capacidades de diseño original de 37 mil y 24 mil toneladas respectivamente de concentrados de Ni+Co al año.

Existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y la minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel, Centro de Proyectos del Níquel, la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel. También existen otros organismos que tributan a la economía de la región, tales como, el establecimiento de la Empresa Geólogo Minera Oriente, la presa Nuevo Mundo, el Tejar de Centeno, el Combinado Lácteo, entre otros. La agricultura se encuentra poco desarrollada, aunque se hacen esfuerzos para seguir fomentándola.

1.12. Caracterización geo-ambiental de la presa de colas inactiva de Moa

El método seleccionado para la construcción de presas de colas fue el método de “aguas arriba”, (Figura 12), el cual no fue completado dado que se detuvo la deposición de colas.

La presa se construiría de forma progresiva con “diques perimétricos”, apoyando un metro sobre el dique anterior y el resto sobre la superficie de las colas de forma tal que estas constituyen el suelo de cimentación del dique; la base de cada dique oscilaría entre 14-19 m.

La particularidad de este método es que la integridad estructural de la obra está gobernada por las propiedades y comportamiento de las colas inferiores descargadas hidráulicamente, que forman la base del talud del dique superior.



Figura 12: Sección transversal del método constructivo empleado “aguas arriba”, Hernández, T. 2015

En los años 70 se detienen las operaciones de deposición de las colas al existir problemas ingenieriles que impedían el recrecimiento de los diques sin poner en riesgo la integridad física de la presa.

Las colas depositadas en la presa se componen del residuo de los proceso de lixiviación ácida a presión (HPAL, por sus siglas en inglés).de la extracción de níquel y cobalto. Las menas explotadas provienen de las zonas limonítica.

Los residuos sólidos son mezclados con agua, transportados por tuberías en forma de pulpa y depositados de forma regular. Los tubos de descarga se distribuyen cada 25 metros, (ver Figura 13), en todo el perímetro de la presa de colas; garantizando un mejor aprovechamiento de la capacidad de la presa

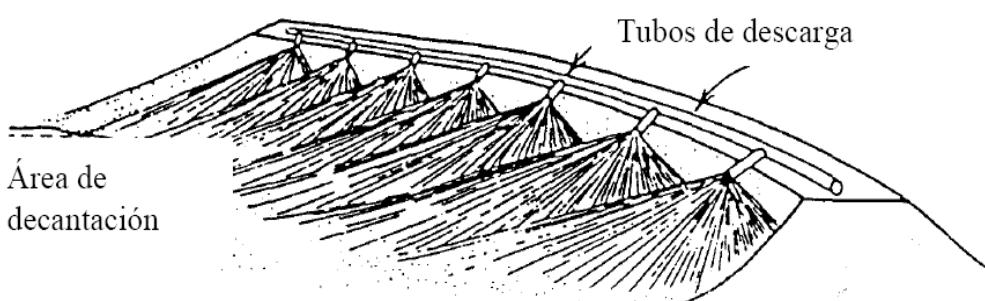


Figura 13: Método de distribución de las colas con la utilización de tubos de descarga, según ICOLD, 1989

El pH de la pulpa HPAL es ácido, con valores entre 4 - 5; las característica de las colas son areno arcillosa, con predominio de los limos. Los residuos están compuestos mayoritariamente por óxidos e hidróxidos de Fe, Al y Mg, entre otros elementos.

Esta obra constituye actualmente un pasivo ambiental minero, su ubicación en las inmediaciones de la ciudad de Moa produce un mayor riesgo de desastre ante un posible colapso de la misma. En el año 2015 se realiza una auditoría por la Contraloría de la República de Cuba al Consejo de la Administración Municipal de Moa y se diagnostica que la presa de colas inactiva de Moa es un pasivo ambiental y se reconoce la no existencia de un procedimiento, regulaciones o instrumentos legales para evaluar los riesgos de esta estructura sobre el medio.



1.13. Conclusiones parciales

1. Las condiciones físico geográficas y geológicas del área del pasivo minero ambiental de la presa de colas inactiva de Moa favorecen el incremento de la vulnerabilidad física de la misma ante la acción de peligros como sismos o lluvias intensas producto a la degradación existente en esta estructura.

CAPÍTULO II. PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR LOS RIESGOS GEOAMBIENTALES EN LOS PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LAS PRESAS DE COLAS

2.0. Introducción

El objetivo de este capítulo es diseñar un procedimiento para la evaluación de los riesgos geo-ambientales inducidos ante la ocurrencia de intensas lluvias en los pasivos ambientales mineros, para prevenir los daños ambientales y socioeconómicos.

2.1 Etapas de la investigación

El procedimiento para la evaluación de riesgos que generan los pasivos ambientales mineros, se dividió en tres etapas de investigación (ver Figura 14).



Figura 14. Etapas para el desarrollo de la investigación

2.1.1. Etapa preliminar

Durante el cumplimiento de esta etapa se consultaron informes, proyectos técnicos, guías técnicas, regulaciones ambientales y de seguridad, tesis de grado, maestrías y de doctorado, además de publicaciones y otros artículos relacionados con la temática tanto en el mundo como en Cuba.

2.1.2. Etapa de campo

En esta etapa se realizaron varias encuestas y entrevistas con el objetivo de definir el nivel de vulnerabilidad de la población y en el sector empresarial ubicado en el área de influencia de las presas de colas transformadas en pasivos ambientales, ante lluvias intensas, se podrá implementar un plan de prevención y reducción de riesgos de desastres efectivos, garantizando la protección de la población, medio ambiente y la economía.

Se realizaron inspecciones visuales donde se analizaron las condiciones geológicas, tectónicas y ambientales de la obra y de toda la zona que la circunda, así como toma de imágenes que nos proporciona una caracterización cualitativa de los parámetros que se analizarán en la etapa del procesamiento de la información, principalmente respecto a la situación actual de la presa.

2.1.3. Etapa de gabinete

Durante esta etapa se procesó toda la información acumulada y se dividió el trabajo de la siguiente forma:

- Procesamiento de la información.
- Propuestas del procedimiento.
- Aplicación del procedimiento.

2.1.3.1. Procesamiento de la información

Se realizan varias marchas rutas con el objetivo de realizar la cartografía geológica y geotécnica general de la presa de colas y además se realiza un análisis detallado de la documentación técnica obtenida.

2.2. Propuesta del procedimiento

Para el desarrollo de la evaluación de riesgos en un pasivo ambiental minero, se debe realizar una serie de pasos, los cuales se describen a continuación, esto es debido a que cada instalación es distinta una de otra y por tanto la evaluación de riesgos es única y particular para cada instalación (ver Figura 15).



Figura 15. Organigrama del procedimiento para evaluar los riesgos geo-ambientales en los pasivos ambientales mineros.

2.2.1. Descripción de las etapas del procedimiento

Para lograr una eficaz aplicación del procedimiento se debe partir de la aprobación de un diseño del pasivo minero ambiental objeto de estudio.

2.2.1.1. Instalación con el diseño apropiado

El análisis de riesgo debe desarrollarse por toda la presa de colas, para tal se ha elaborado un esquema (ver Tabla 2) para la caracterización de la instalación:

- **Instalaciones Principales:** comprende simplemente una (1) instalación principal que por sus características de permanencia requiere de una evaluación de riesgos detallada.

Tabla 2. Caracterización de la instalación

CODIFICACIÓN	N°	NOMBRE DE LA INSTALACIÓN MINERA	INSTALACIONES CONSIDERADAS
PC	1	Presa de colas	Presas de colas o depósitos de residuos mineros.

2.2.1.2. Identificación de los riesgos

Posteriormente, para la instalación principal, se identifican los riesgos más relevantes que se esperan que estén controlados en condición de cierre y post cierre de la instalación. Para lo anterior, se ha determinado cuál es el “hecho” que puede provocar un determinado riesgo y en base a esto se ha analizado cuál es la “causa” que puede desencadenarlo.

Finalmente, se evalúa quiénes serían los afectados por el hecho, pudiendo corresponder a la parte social, el medio ambiente y la parte económica (ver Figura 16).

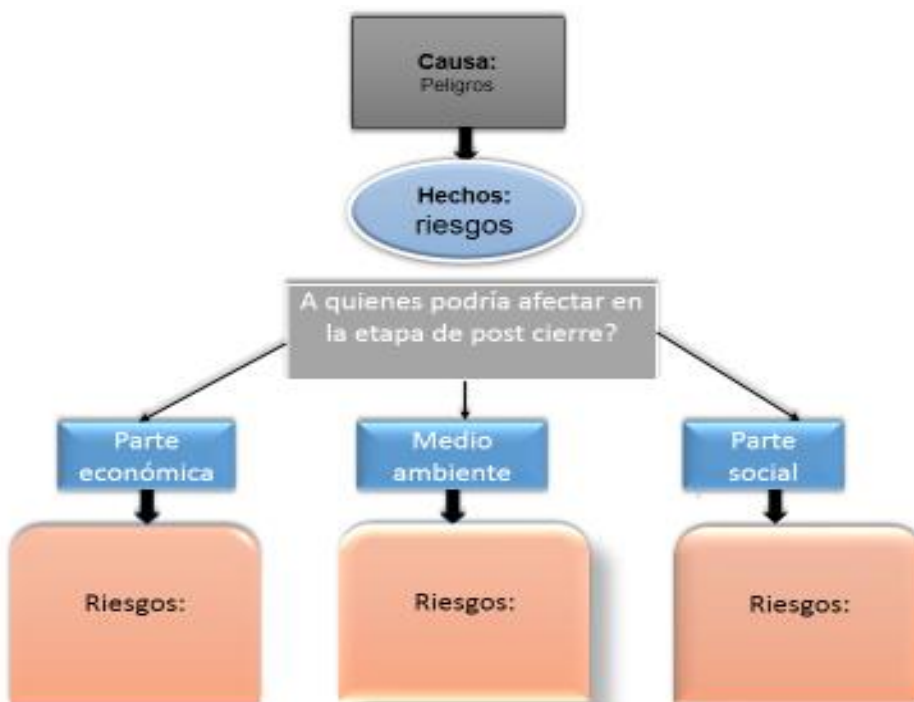


Figura 16. Esquema para la identificación de los riesgos

Posteriormente, para la instalación, se identificarán los riesgos más relevantes (ver Anexo 1) que se espera que estén controlados en condición de cierre y post cierre de la instalación.

2.2.1.3. Análisis de los riesgos

Los riesgos a los cuales está expuesto un pasivo ambiental minero, se determinan según la probabilidad de ocurrencia del hecho y la severidad de las consecuencias para la parte social, el medio ambiente y la parte económica.

A continuación, se desarrolla la metodología que se empleará para el análisis de la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias, de cuya relación podrá determinarse el nivel de riesgo de la instalación y si revisten el carácter de significativo o no.

Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de un hecho se relacionarán ciertos factores técnicos propios de la operación minera, la efectividad de las medidas tomadas de cierre y post cierre de la presa.

En cuanto a la severidad de las consecuencias, es necesario tener en cuenta que la normativa establece como finalidad de la evaluación de riesgos el resguardo de la seguridad de la parte social, el medio ambiente y la parte económica, por lo que se deberá hacer una distinción entre las consecuencias a la parte social, el medioambiente y la parte económica.

Las etapas de trabajo para analizar los riesgos son:

1. Análisis de la Probabilidad de Ocurrencia de un Hecho

De acuerdo a la definición formulada, el análisis de la probabilidad de ocurrencia del hecho, se enfocará en evaluar los elementos y circunstancias cuya combinación produzca un escenario potencial de ocurrencia de un hecho, tal como se muestra en la Figura 17

De esta forma, se considerará como elementos de la probabilidad a las condiciones propias de la instalación minera, particularmente ciertos factores técnicos de operación

y efectividad de las medidas de post cierre propuestas como parte del diseño de la presa de colas

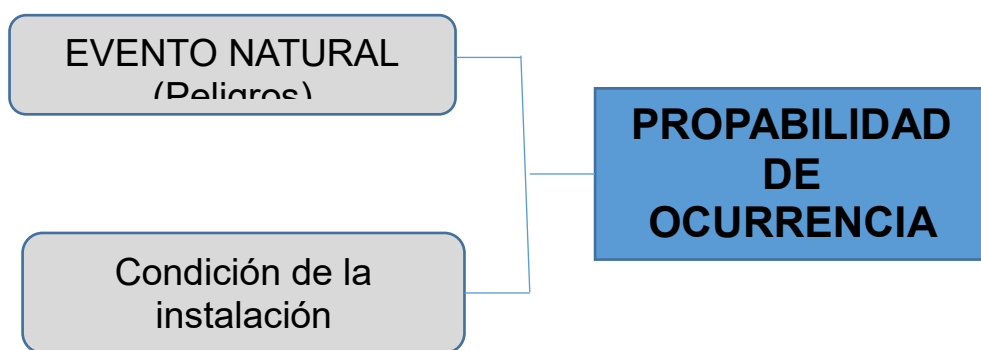


Figura 17. Ejemplo esquemático del análisis de la probabilidad de ocurrencia del hecho.

A continuación se realiza el análisis, de manera independiente, del evento natural y de la condición de la instalación minera, de acuerdo a la metodología descrita en los siguientes subtítulos.

A. Evento Natural

Se ha evidenciado que para la generación de riesgos durante la etapa de post cierre una de las causales o circunstancias son, por lo general, eventos naturales, tales como por ejemplo un sismo, pluviometría extrema, remoción en masa, inundación, viento, entre otros.

Debido a que cada uno de estos eventos tiene sus propias características y metodologías de evaluación aceptadas en la industria, el Evaluador en base al estudio correspondiente, definirá el nivel de probabilidad de ocurrencia del Evento Natural en un rango de 1 a 5, (de Muy Bajo a Muy Alto): Ver Tabla 3.

Tabla 3. Para la selección del nivel de probabilidad de ocurrencia del evento natural.
Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019

Nivel de Probabilidad de ocurrencia				
1	2	3	4	5
MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO

B. Condición de la Instalación (CI)

Una circunstancia esencial para establecer el riesgo de una determinada instalación, en condición de cierre y post cierre, es la forma en que la instalación ha sido operada. Esto, porque un adecuado diseño de ingeniería debe estar complementado con una correcta operación durante la vida de la respectiva instalación, pues es la forma de asegurar que responderá de forma esperada ante un evento natural.

El procedimiento que se propone aborda precisamente tanto los factores técnicos propios de la operación como la efectividad de las medidas de cierre y post cierre que se propongan por parte de la entidad responsable, tal como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Esquema del análisis de la probabilidad de ocurrencia de un hecho. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

a) Valorización de los Factores Técnicos (VFT)

Los Factores Técnicos son las condiciones de operación de la instalación minera, con implicancias en el cierre y post cierre, cuya evaluación permitirá estimar su posible comportamiento en el caso que se presente un evento natural.

En este procedimiento (ver Anexo 2) se han formulado factores técnicos para cada uno de los riesgos identificados en instalación principal, considerando aquellos aspectos que pueden ser medidos durante la operación y que incidirán en el comportamiento de la instalación durante la etapa de cierre y post cierre.

En el anexo 2 se presenta en un ejemplo la estructura de la tabla donde el Evaluador podrá analizar los factores técnicos para cada riesgo relacionado con la instalación respectiva, en el entendido que su contenido variará dependiendo de la instalación que se esté analizando.

En las dos primeras columnas se encuentran la identificación de los factores técnicos sugeridos para cada riesgo. Las cinco columnas siguientes expresan los criterios de valorización (de 0 a 1) que permiten al Evaluador diagnosticar la situación en la que se encuentra la instalación minera al momento de realizar el análisis, todo lo cual deberá estar acompañado de los respaldos técnicos correspondientes.

El resultado de este análisis es la interacción de todos estos factores mediante una relación matemática, sin embargo debido a que no todos estos factores tienen igual incidencia en relación al riesgo evaluado, se ha realizado la jerarquización de los mismos por orden de importancia. Para efectos prácticos, el resultado de este proceso se traduce en la formulación de coeficientes normalizados incluidos en una fórmula vinculada a cada tabla de factores técnicos.

Para realizar el análisis de los factores técnicos el Evaluador deberá ingresar a la tabla correspondiente, identificar la valorización de cada factor de acuerdo a la situación en la que se encuentra la Instalación minera y determinar el nivel final mediante el empleo de una ecuación:

$$\text{VFT} = \alpha * a + \beta * b + \gamma * c + \delta * d + \dots$$

(Ecuación 1)

Donde:

VFT= Valorización de los factores técnicos.

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ = Coeficientes resultantes del proceso de jerarquización y normalización.

a, b, c, d= Valorización de cada factor técnico.

b) Índice de Medidas de cierre y Post Cierre que inciden en la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho (IMC1) y (IMPC1)

La condición de la instalación al momento de cierre y post cierre naturalmente dependerá no solo de los factores técnicos de operación sino que también de la efectividad de las medidas de cierre y post cierre que se implementen para el control del riesgo.

Por tanto, se plantea determinar un índice que represente el nivel de control del riesgo de las medidas de cierre y post cierre formuladas por la entidad responsable al momento de ser aprobado su diseño, considerando que éstas serán implementadas conforme a estándares técnicos adecuados. Estas medidas, por regla general, se establecen tanto en la etapa de evaluación ambiental como en los permisos sectoriales que correspondan.

En la Tabla 4 se presenta la estimación del nivel de control que cada medida de cierre tendrá sobre los riesgos de la faena minera.

Tabla 4. Determinación del Índice de Medidas de Cierre y Post Cierre. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

	Nivel de Efectividad de la Medida de Cierre y Post Cierre				
	100%-81%	80%-61%	600%-21%	20%-0%	IMCi
	Índice de Medida de Control				
Índice de Medida de Cierre y Post Cierre	0,5	0,65	0,8	0,95	

En la primera columna se deben indicar las medidas de cierre y post cierre comprometidas en la etapa de diseño del proyecto y que se orienten la disminución de la probabilidad de ocurrencia de un riesgo determinado, como por ejemplo la cobertura de la presa de colas que “genera” la probabilidad de generación de drenaje ácido.

Posteriormente, en las cuatro columnas siguientes se encuentran los índices de efectividad de la medida de control a objeto de seleccionar de acuerdo al nivel de control que cada medida tenga expresada en porcentaje. Por ejemplo, si el Evaluador considera que la construcción de una berma de seguridad, comprometido en su diseño, controlará la probabilidad de la liberación de relaves en un 90%, entonces se ubicará en la columna respectiva seleccionando el valor de índice 0.5.

Finalmente debido a que el control del riesgo se realiza por la interacción de las medidas de cierre en su conjunto, se obtiene el Índice de Medidas de Cierre a partir de la siguiente ecuación:

$$(IMC1, IMPC1) = \frac{\sum IMCi}{n} ; \quad (\text{Ecuación. 2})$$

Donde:

IMC1/IMPC1= Índice de Medidas de Cierre y post cierre que afecta a la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho.

IMCi/IMPCi= Valor seleccionado para cada medida de cierre y post cierre.

n = Número de medidas de cierre y post cierre asignadas para el riesgo analizado.

c. **Determinación de la Condición de la Instalación Minera (CI)**

Una vez determinada la Valorización de los Factores Técnicos (VFT) y el Índice de Medidas de Cierre y post cierre (IMC1/IMPC1), y dado que la condición de la instalación está determinada por la relación entre los factores técnicos de operación que inciden en el cierre y post cierre y la efectividad que se le asigna a las determinadas medidas de cierre, se aplicará la siguiente relación matemática:

$$CI = VFT \times (IMC1 \times IMPC1); \quad (\text{Ecuación. 3})$$

Finalmente el nivel resultante cuantitativo será convertido a un valor cualitativo mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la Tabla 15.

Tabla 5. Nivel de la Condición de la Instalación. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

Nivel Valorización	Resultados de la fórmula (CI)
80-100	MUY ALTO
60-79	ALTO
40-59	MEDIO
20-39	BAJO
0-19	MUY BAJO

El resultado permitirá junto con el nivel de la valorización de los factores técnicos, determinar la probabilidad de ocurrencia del hecho.

- Determinación de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho

Una vez determinado el nivel de probabilidad de ocurrencia del Evento Natural (ver Figura 19) y el resultado del análisis de la Condición de la Instalación se procederá a combinarlos mediante el empleo de la siguiente matriz:

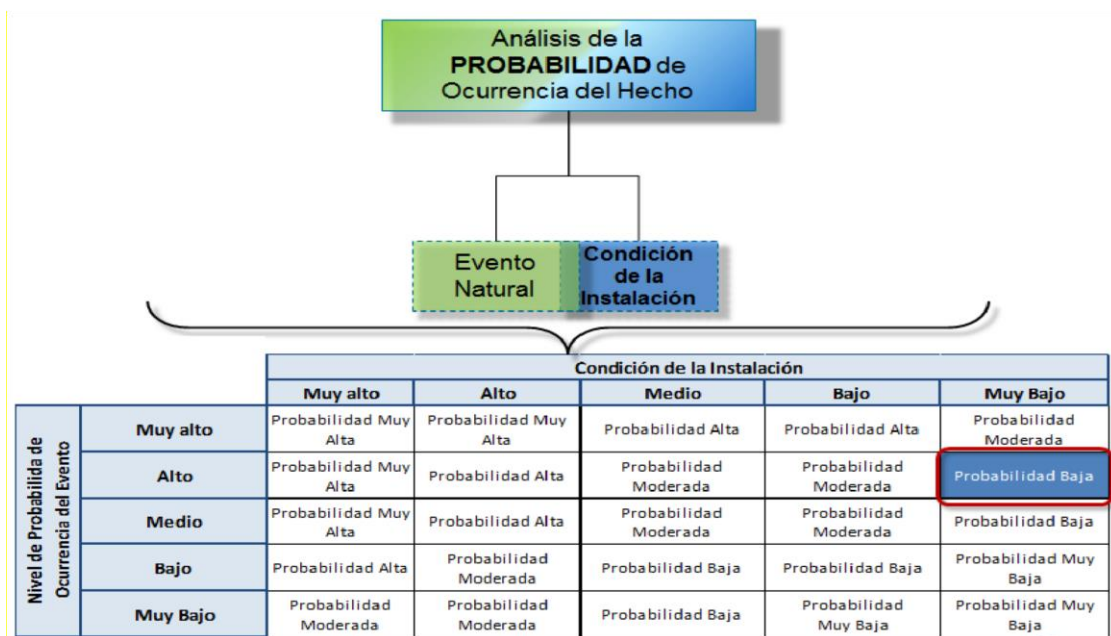


Figura 19. Matriz del análisis de la probabilidad de ocurrencia del hecho. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

Lo anterior quiere decir que una inadecuada operación de la instalación minera y/o una ineffectividad de las medidas de control, conjuntamente con una elevada probabilidad de ocurrencia de un evento natural durante el periodo post cierre, significarán una mayor probabilidad de que ocurra un hecho que cause severas consecuencias a las parte social, al medio ambiente y a la parte económica.

2.3.1.4. Análisis de la Severidad de las Consecuencias

La Severidad de las Consecuencias, de acuerdo a la definición formulada, es el grado de impacto o daño que pueda generarse como resultado de la ocurrencia del hecho sobre las personas y el medio ambiente existentes en el área de influencia.

Se ha considerado adecuado diferenciar entre las consecuencias las diferentes partes que tenemos como caso de estudio. Por ello, en todos los casos existirán dos riesgos resultantes: uno correspondiente al análisis de la severidad de las consecuencias a la parte social (Rps), el análisis de la severidad de las consecuencias a la parte económica (Rpc), y otro por la severidad de las consecuencias al medio ambiente (Rma).

Lo anterior, tiene por objetivo enfocar el Tratamiento del Riesgo, ya sea sobre la parte social, parte económica o el medioambiente. (ver Figura 20).

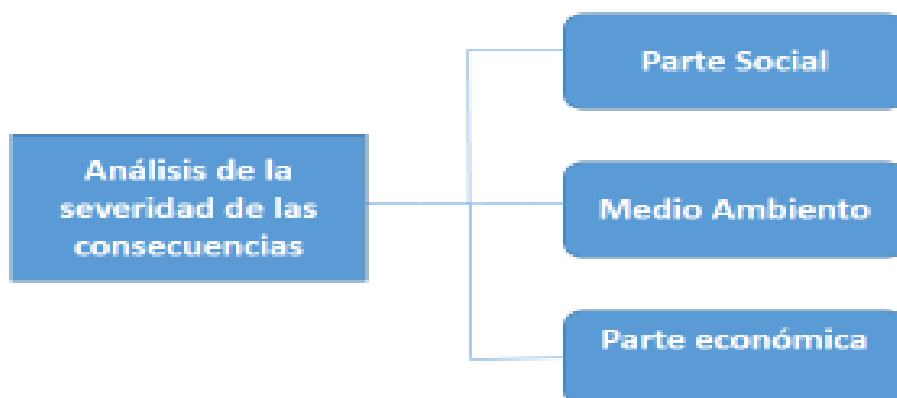


Figura 20. Etapas para el análisis de la severidad de las consecuencias

A. Análisis de la Severidad de las Consecuencia a la Parte social

En el análisis de la Severidad de las Consecuencias a las Parte (ver Figura 21), se debe considerar a los habitantes que se encuentren en los alrededores de la presa de colas inactiva, es decir, en el área donde potencialmente podría presentarse la situación de riesgo, cuando la presa se encuentre en condición de riesgo.

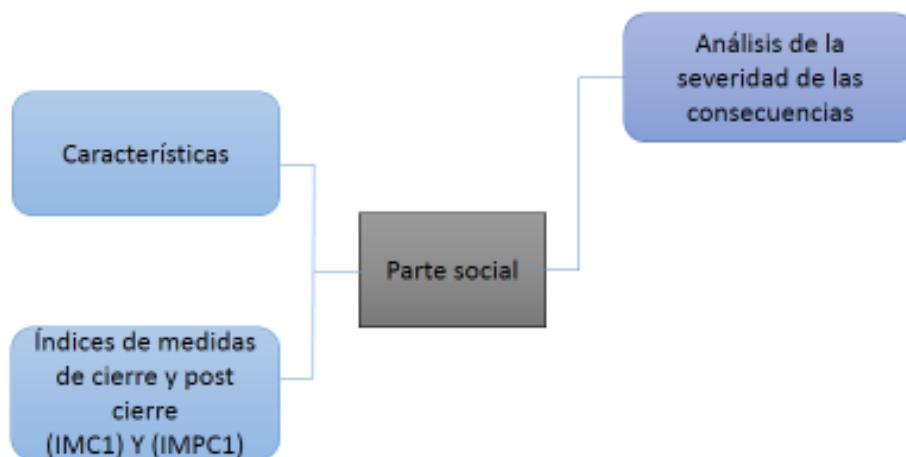


Figura 21. Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias en las Parte social (SCps). Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

a. Características (SCps)

Considerando que la evaluación de riesgos se debe hacer para las condiciones en la cual queda la instalación desde el momento que inicia el cierre se han definido seis (6) características o variables que permiten reflejar el nivel de severidad de las consecuencias en las personas. Ver anexo 3.

Para realizar el análisis para cada riesgo el Evaluador deberá, identificar en cada Variable la valoración que correspondería en el escenario de que ocurriera el hecho y con dichos valores se deberá completar la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis de la Severidad de las Consecuencias en la Parte Social. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

VARIABLES					
Intensidad (I)	Proximidad (Pr)	Fragilidad (F)	Daño a la Salud (S)	Recuperabilidad (RE)	Capacidad de Respuesta (C.Re)
1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5

El resultado final del análisis de las características de los habitantes en el área de influencia, se obtendrá empleando la siguiente relación:

$$SCps' = I + Pr + F + S + RE + C.Re \quad \text{(Ecuación 4)}$$

b). Índice de Medidas de Cierre y post Cierre que inciden en la Severidad de las Consecuencias a la parte social (IMC2. IMPC2)

Como se ha indicado el nivel de afectación o daño resultante de la ocurrencia de un hecho dependerá no solo de las características o variables que podría presentar en ese momento la población sino también del nivel de control del riesgo que las medidas de cierre permitan, es decir su efectividad.

El resultado del análisis se obtendrá empleando la siguiente ecuación,

$$(IMC2. IMPC2) = \frac{\sum MC_i}{n} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

(IMC2. IMPC2) = Índice de Medidas de Cierre y post cierre que inciden en la severidad de las consecuencias sobre la parte social.

IMC_i = Valor seleccionado para cada medida de cierre y post cierre.

n = Número de medidas de cierre asignadas para el riesgo analizado.

C. Determinación del Nivel de la Severidad de las Consecuencias a la parte social (SCps)

Una vez analizadas las características de la población potencialmente afectada y determinado el Índice de Medidas de Cierre y post cierre para el riesgo analizado, el Evaluador procederá a la aplicación de la siguiente ecuación:

$$SCps = SCps' \times (IMC2. IMPC2) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Finalmente el nivel resultante cuantitativo será convertido a una estimación cualitativa mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la siguiente Tabla 7:

Tabla 7. Nivel de la Severidad de las Consecuencias a la parte social. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

Resultados de la fórmula SCps	Nivel de Severidad de las Consecuencias
25 - 30	MUY ALTA
20 - 24	ALTA
15 - 19	MODERADA
10 - 14	BAJA
5 - 9	MUY BAJA

B. Análisis de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente

El enfoque para el análisis de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente (ver Figura 22) es similar al procedimiento planteado para el caso de la afectación a la parte social:

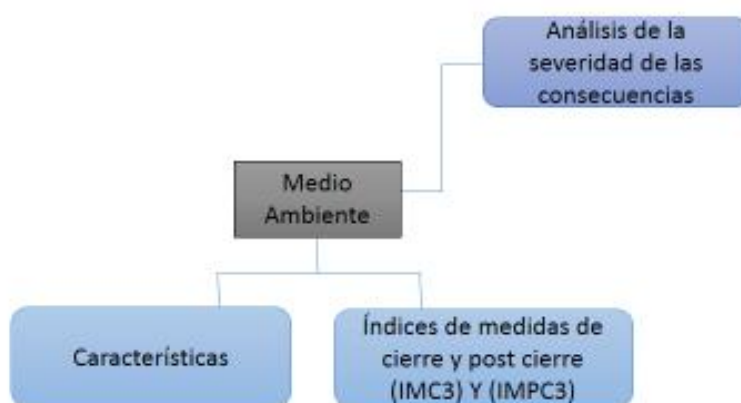


Figura 22. Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019

En el caso de la severidad de las consecuencias para el medioambiente también se plantea incluir no sólo la incidencia de la aplicación de medidas de cierre y post cierre propiamente tales sino que también las variables de los componentes ambientales vinculados a la estabilidad física y química.

a) Variables en los Componentes Ambientales (SCma')

Se ha realizado la diferenciación de los receptores específicos del medio ambiente a partir ciertos componentes ambientales (ver Tabla 8) seleccionando aquellos que tienen relación con la estabilización física y química, y que podrían ser afectados por la ocurrencia de un hecho durante el periodo de post cierre:

Tabla 8. Componentes ambientales y consideraciones. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

COMPONTE CONSIDERACIONES AMBIENTAL	CONSIDERACIONES

Aire	Se deberá tener en consideración los eventuales efectos derivados de emisiones de material articulado y sedimentable.
Suelo	Se deberá enfocar el análisis en la capacidad de uso y el valor ambiental del suelo.
Agua Superficial	Serán relevantes los aspectos asociados a la calidad, cantidad y uso de este recurso.
Agua Subterránea	Serán relevantes los aspectos asociados a la calidad, cantidad y uso de este recurso.
Flora y Fauna	Se deberá tener especial consideración las especies en categoría de conservación y formaciones vegetaciones existentes.
Áreas Protegidas	Cumplir con las regulaciones específicas de estos tipos de áreas
Sitios Prioritarios para la Conservación	Se deberá determinar si cada riesgo analizado afecta las superficies establecidas en estas declaratorias oficiales.

El Evaluador deberá seleccionar, para cada riesgo analizado, los componentes ambientales que podrían ser afectados en el escenario de ocurrencia de un hecho. Para el análisis de la severidad de la consecuencia en cada uno de estos componentes ambientales se han definido cinco (5) variables, las que en su conjunto reflejarían el nivel de severidad de las consecuencias que podrían presentarse en el medio ambiente. Ver Anexo 5.

Estas variables se indican a continuación:

- **Extensión (E):** define la magnitud y/o consecuencia espacial del hecho. Esta variable tiene como objetivo determinar la superficie y/o extensión territorial que podría ser afectada por el riesgo analizado.
- **Duración (D):** indica el tiempo que permanecerá la consecuencia desde su aparición. No considera la aplicación de acciones correctivas. La variable duración busca determinar la extensión “temporal” del riesgo analizado.

- **Reversibilidad (Rev):** evalúa la capacidad que tiene el medio ambiente de revertir naturalmente o mediante acciones las consecuencias del riesgo. Esta variable tiene como objetivo principal determinar la capacidad de resiliencia del componente ambiental según el tipo de riesgo analizado. En este sentido, busca evaluar si es que la componente ambiental podrá volver a la situación o condición existente de manera previa a la generación del riesgo analizado.
- **Intensidad (I):** expresa el grado de alteración sobre el medio ambiente que pueda generar el riesgo analizado. Son ejemplos de *Intensidad Alta* la destrucción y/o pérdida del recurso o componente analizado; de *Intensidad Media* la disminución y/o degradación del componente; en tanto, se entenderá como *Intensidad Baja* cuando el nivel y/o grado de alteración implique modificaciones menores en la condición de la situación basal del componente.
- **Relevancia Ambiental (Rel):** refleja la relevancia y/o valor ambiental del componente. A modo de referencia, son ejemplos de Relevancia Ambiental *Muy Alta* la presencia de humedales y/o montañas; paisaje naturales y/o escasamente intervenido; suelos con alto potencial agropecuario; hábitats de flora/fauna frágiles y/o que contengan especies en algún tipo de categoría de conservación; recursos hídricos –superficiales y/o subterráneos- que sean utilizados para el consumo humano y/o tengan valor biológico por su importancia para el ecosistema. En complemento, en la siguiente tabla se presentan orientaciones adicionales para la determinación de la Relevancia Ambiental.

De igual manera que se realizó para el análisis a las personas, para cada una de las variables identificadas se consideraron cinco rangos (ver Tabla 9) desde muy baja (1) hasta muy alta (5), expresando de esta manera el nivel de la severidad de las consecuencias en el componente ambiental analizado:

La severidad de las consecuencias se analiza por cada componente ambiental, ver Tabla 9

Tabla 9. Análisis de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

VARIABLES						
COMPONENTES AMBIENTALES	APLICA (Si/No)	Extensión (E)	Duración (D)	Reversibilidad (Rev)	Intensidad (I)	Relevancia Ambiental (Rel)

Calidad del Aire						
Suelo (Edafología)						
Agua superficial						
Agua subterránea						
Flora y Fauna						

La segunda columna permite al Evaluador indicar cuáles son los factores ambientales que aplican al riesgo analizado, es decir seleccionar aquellos que podrían ser afectados en forma posterior al cese de las operaciones mineras.

Una vez completa cada una de las filas de acuerdo a los criterios de la para cada uno de los componentes ambientales, el Evaluador deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$SCma'i = E + D + Rev + I + Rel \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Finalmente, para la determinación de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente, el Evaluador deberá seleccionar el **valor mayor** de los resultados obtenidos en la Tabla 21 para cada componente ambiental:

$$SCma' = \text{Máximo } (Scma'i) \quad \text{(Ecuación 8)}$$

b. Índice de Medidas de Cierre y post cierre que afecta la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente (IMC3)

De igual manera que se planteó para el caso del análisis de la severidad de las consecuencias en la parte social, el nivel de afectación o daño resultante de la ocurrencia de un Hecho dependerá no solo de las características o variables que presente en ese momento el medioambiente sino que también de la existencia de medidas de cierre y post cierre.

El resultado del análisis se obtendrá empleando la siguiente ecuación, denominándolo con la sigla IMC3/IMPC3:

$$IMC3/IMPC3 = \frac{\sum MCII}{n}$$

(Ecuación 9)

Donde:

IMC3/IMPC3= Índice de Medidas de Cierre y post cierre que inciden en la severidad de las consecuencias sobre el medioambiente.

IMC_i = Valor seleccionado para cada medida de cierre y post cierre.

n = Número de medidas de cierre asignadas para el riesgo analizado.

c. Determinación del Nivel de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente (SCma)

Una vez analizada la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente y determinado el Índice de Medidas de Cierre y post cierre para el riesgo analizado, el Evaluador procederá a la aplicación de la siguiente fórmula:

$$SCma = SCma' \times (IMC3 \times IMPC3) \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Finalmente el valor resultante será convertido a una estimación cualitativa mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la siguiente Tabla 10:

Tabla 10. Nivel de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

Resultados de la fórmula SCma	Nivel de Severidad de las Consecuencias
21 - 25	MUY ALTA
17 - 20	ALTA
13 - 16	MODERADA
9 - 12	BAJA
5 - 8	MUY BAJA

C. Análisis de la Severidad de las Consecuencia a la Parte Económica

El enfoque para el análisis de la Severidad de las Consecuencias a la Parte Económica (ver Figura 23) es similar al procedimiento planteado para el caso de la afectación a la parte social y el medio ambiente.

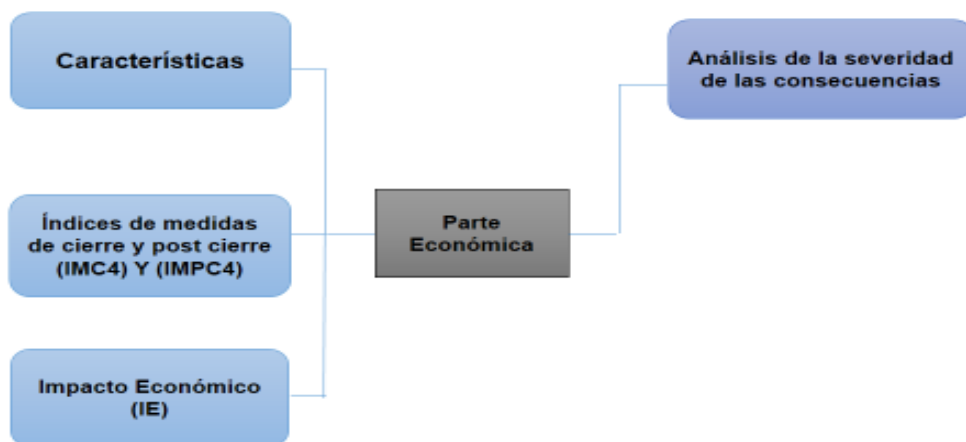


Figura 23. Esquema del análisis de la Severidad de las Consecuencias a la parte económica. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019

a). Análisis de la Severidad de las Consecuencia a la Parte económica

En el análisis de la Severidad de las Consecuencias a la parte Económica, ver Tablas 11 y 12, se debe tener en cuenta el material almacenado en la presa de colas, su cantidad, calidad y el nivel de rentabilidad de la reutilización de las colas.

Tabla 11. Consideraciones de cada componente económica

Componentes económica	consideración
Volumen del material	Se tendrá en cuenta la cantidad de material almacenado en la presa de colas
Valor comercial de las colas	Se evalúa la calidad y cantidad de la composición mineralógica de las colas
Condiciones técnicas	Se evalúa la existencia de accesos y condiciones de seguridad de la obra
Precio en el mercado	Se evalúa el nivel de rentabilidad de la reutilización de las colas

Tabla 12. Variables en los Componentes de la Parte Económica (SCpe')

Variables	Rangos				
	Muy Baja 0 a 15 %	Baja 16 a 25 %	Media 26 a 50 %	Alta 51 a 75 %	Muy Alta 76 a 100 %
Actividad económica (AE)	Alta productividad y recursos bien distribuidos. Productos para el comercio exterior o fuera de la localidad	Muy Alta productividad y recursos bien distribuidos. Productos para el comercio exterior o fuera de la localidad	Medianamente productiva y distribución regular de los recursos. Productos para el comercio interior, a nivel local.	Escasamente productiva y distribución deficiente de los recursos. Productos para el autoconsumo.	Sin productividad y nula distribución de recursos.
Acceso al mercado laboral (AML)	Oferta laboral superior a la demanda	Oferta laboral superior a la demanda	Oferta laboral igual a la demanda	Oferta laboral menor a la demanda	No hay oferta laboral
Nivel de ingresos (NI)	Alto nivel de ingresos	Alto nivel de ingresos	Suficiente nivel de ingresos	Nivel de ingresos que cubre necesidades básicas	Ingresos inferiores para cubrir necesidades básicas

Para realizar el análisis para cada riesgo el Evaluador deberá, identificar en cada Variable y su respectivo valor, para tener en cuenta la pérdida económica en el caso de que ocurriera el hecho y con dichos valores se deberá completar la Tabla 13.

Tabla 13. Análisis de las variables de la Severidad de las Consecuencias en la Parte económica

VARIABLES		
Actividad económica	Acceso al mercado laboral	Nivel de ingresos (NI)

(AE)	(AML)	

Tabla 14. Impacto Económico (IE)

IMPACTO ECONÓMICO (IE)		
A nivel territorial	A nivel regional	A nivel nacional
1 a 2	3 a 4	5

IE: es la variable que representa los daños económicos

$$SCpe'i = AE + AML + NI \times IE \quad (\text{Ecuación 11})$$

b. Índice de Medidas de Cierre que afecta la Severidad de las Consecuencias a la parte económica (IMC4 IMPC4)

Como se ha indicado el nivel de afectación y pérdida económica resultante de la ocurrencia de un hecho dependerá no solo de las características o variables que podría presentar en ese momento la parte económica sino también del nivel de control del riesgo que las medidas de cierre permitan, es decir su efectividad.

El resultado del análisis se obtendrá empleando la siguiente ecuación,

$$IMC4/IMPC4 = \frac{\sum MCII}{n} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

IMC4/IMPC4= Índice de Medidas de Cierre que inciden en la severidad de las consecuencias sobre la parte económica.

IMC_i = Valor seleccionado para cada medida de cierre y post cierre.

n = Número de medidas de cierre asignadas para el riesgo analizado.

c. Determinación del Nivel de la Severidad de las Consecuencias a la parte económica (SCpe)

Una vez analizada la Severidad de las Consecuencias a la parte económica y determinado el Índice de Medidas de Cierre y post cierre para el riesgo analizado, el Evaluador procederá a la aplicación de la siguiente ecuación:

$$SCpe = SCpe' \times (IMC4 \times IMPC4) \times 2 \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Finalmente el valor resultante será convertido a una estimación cualitativa mediante el empleo de los rangos de ponderación formulados en la siguiente Tabla 14.

Tabla 15. Nivel de la Severidad de las Consecuencias a la parte económica.

Resultados de la fórmula SCpe	Nivel de Severidad de las Consecuencias
76 a 100	MUY ALTA
51 a 75	ALTA
26 a 50	MEDIA
16 a 25	BAJA
0 a 15	MUY BAJA

2.3.1.5. Evaluación del riesgo

Una vez establecida la Probabilidad de ocurrencia del hecho y la Severidad de sus consecuencias, para la parte social, medio ambiente y para la parte económica, es factible evaluar efectivamente el riesgo de la respectiva instalación utilizando para ello una matriz de riesgos como la que se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Matriz de Evaluación de Riesgos. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019

		Severidad de las Consecuencias				
		Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Probabilidad de Ocurrencia del Hecho	Muy alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
	Alta	Muy Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
	Moderada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
	Baja	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Muy baja	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

La matriz de riesgo consiste en una tabla de doble entrada de 5 x 5 cuyo resultado expresa el nivel de riesgo en un rango de 5 niveles desde “Bajo” hasta “Muy Alto”.

El Evaluador ingresará a la matriz con el resultado del **Análisis de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho** en la segunda columna y el resultado del Análisis de la **Severidad de las Consecuencias** en la segunda fila superior, la intersección de ambos indicará el nivel resultante de riesgo. Por ejemplo, si la severidad de las consecuencias se estimó como *moderada* y la probabilidad de ocurrencia del hecho como *baja* entonces, usando la matriz resultaría un **riesgo medio**.

Este proceso se debe realizar tanto para los resultados de severidad obtenida para la parte social, medio ambiente y para la parte económica, de modo que se tendrán varios niveles de riesgos, todas las partes

a). Nivel de Riesgos para la Parte Social.

$$R_{ps} = P \times SC_{ps}$$

(Ecuación 13)

b). Nivel de Riesgos para el Medio Ambiente

$$R_{ma} = P \times SC_{ma}$$

(Ecuación 14)

c). Nivel de Riesgos para la parte económica

$$R_{pe} = P \times SC_{pe}$$

(Ecuación 15)

2. Nivel de significancia del riesgo

A efectos de la presente metodología, se considerará como **nivel de significancia** del riesgo al resultado de la evaluación de riesgos que indique que el riesgo analizado requiere ser controlado para resguardar la salud y seguridad de la parte social, medio ambiente y la parte económica.

Conforme a la metodología de evaluación de riesgos propuesto en este procedimiento, se considerarán como **riesgos significativos** todos aquellos que en su evaluación de cómo resultante un nivel de *riesgos medio a alto*, por lo que deberán ser objeto de medidas de control específicas, ya sea que incidan sobre la probabilidad de ocurrencia, la severidad de las consecuencias o ambas a la vez. En caso de que el valor resultante sea *bajo* el riesgo se entenderá como **No Significativo**. Ver tabla 17

Tabla 17. Establecimiento de la significancia del nivel de riesgo.

		Severidad de las Consecuencias				
		Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Probabilidad de Ocurrencia del Hecho	Muy alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
	Alta	Muy Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
	Moderada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
	Baja	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Muy baja	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

2.3.1.6. Plan de gestión de riesgos

El plan de gestión de riesgos consiste en un sistema de medidas de prevención, mitigación o corrección de impactos generados ante la acción del peligro por intensas lluvias, cuya acción constituye un factor disparador que incrementa la probabilidad de la ocurrencia del sobrepaso. Este plan se activa de forma permanente durante el ciclo de vida de las presas de colas, planificando los recursos necesarios, responsables y fecha de ejecución de cada acción antes, durante y después de la ocurrencia de un desastre

2.3.1.7. Riesgo residual

El *riesgo residual* es el nivel de riesgo resultante luego de haber realizado el tratamiento del riesgo. Para el caso de este procedimiento, si el resultado de la evaluación de un determinado riesgo resulta con un nivel “no significativo” (*bajo*), este nivel de riesgo se considerará como el “riesgo residual” debido a que proviene no solo de la buena operación de la instalación minera evaluada sino también de la efectividad de las medidas de control comprometidas en el diseño.

2.4. Conclusiones parciales

1. El procedimiento propuesto garantiza la evaluación de los riesgos geo-ambientales en los pasivos ambientales mineros.
2. Se brindan los elementos metodológicos necesarios para evaluar los riesgos sociales, medio ambientales y económicos, en pasivos ambientales mineros.
3. Se diseña un plan de gestión de riesgos para prevenir, mitigar o corregir los impactos negativos que pueden generar los pasivos ambientales mineros.

CAPÍTULO III. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO AL PASIVO AMBIENTAL MINERO DE LA PRESA DE COLAS INACTIVA DE MOA

3.0. Introducción

En este capítulo se aplica el procedimiento propuesto para la evaluación del riesgo por liberación de colas al medio ambiente generados por intensas lluvias en el pasivo ambiental de la presa de colas inactiva de Moa, se presenta un plan de gestión de riesgos para prevenir impactos negativos generados ante el colapso de esta estructura.

3.1. Desarrollo del procedimiento propuesto

Siguiendo el esquema metodológico de la Figura 15, el área de estudio a ser evaluada en este caso la presa inactiva de colas de Moa, se procede a la evaluación de los riesgos geo-ambientales por liberación de colas al medio ambiente, ante el peligro por intensas lluvias.

Para el pasivo ambiental minero objeto de estudio el procedimiento ofrece un listado de riesgos para la parte social, ambiental y económica.

La presa de colas inactiva de Moa no posee un proyecto para diseño de cierre y post cierre de la misma, por tanto el procedimiento se desarrollará siguiendo la aplicación de buenas prácticas internacionales

3.1.2. Condición de la instalación (CI)

La instalación se encuentra en un estado de abandono total, las operaciones de la presa de colas culminaron en 1971, la misma almacena los residuos del proceso de lixiviación ácida de la fábrica Comandante Pedro Sotto Alba; a lo largo de más de 45 años esta instalación ha permanecido sin protección alguna contra la acción de peligros como intensas lluvias, sismos u otros, los cuales han dañado la estabilidad física de los diques de contención.

A continuación se presenta detalles del grado de vulnerabilidad de esta obra ante la ocurrencia de intensas lluvias que incrementan la probabilidad liberación de colas de la presa al medio:

1. Destrucción del dique perimetral en el sector norte producto a la rotura de la tubería de abasto de agua a la población, el mayor riesgo de esta situación está en la cantidad de agua que se infiltra en el vaso de la presa y en las áreas adyacentes a la rotura, causando una sobresaturación de las colas y de sobrecarga sobre el dique de contención, todo esto favorece la existencia de un área muy vulnerable a la rotura y posteriormente la liberación de colas al medio. Ver Figura 24.
2. Presencia de deslizamientos en los diques norte y este de la presa. Ver Figura 25.
3. Existencia de un alto nivel de degradación por la acción de los procesos erosivos en surcos y en cárcavas en los diques perimetrales.
4. Obstrucción de las instalaciones de drenaje de la presa de colas. Las tuberías empleadas para la evacuación de las aguas pluviales en la presa se encuentran fuera de servicio, lo que provoca que la estabilidad física de la obra se encuentre con un alto nivel de vulnerabilidad (Lezcano, 2018). Ver Figura 26.
5. Pérdida de la altura de revancha. Debido al no funcionamiento de las estructuras de drenaje de las aguas pluviales, el escurrimiento superficial en el interior del vaso de la presa ha provocado un desplazamiento de los sedimentos hacia el límite del dique norte, esto ocasiona una acumulación de sedimentos a lo largo del dique de contención con su respectiva pérdida de altura de revancha, lo que favorece la ocurrencia del mecanismo de fallo de sobrepaso y su posterior colapso, con la liberación de las colas medio ambiente. Ver Figura 27.
6. Las aguas que son vertidas en el punto de descarga ubicado al norte y oeste del dique corren a lo largo de todo el pie de los diques, favoreciendo el proceso de socavación por erosión interna en la fundación de la obra. Ver Figura 28.
7. Presencia de viviendas construidas encima del vaso de la presa de colas. Ver Figura 29.



Figura 24. Dique averiado de la presa de colas



Figura 25. Presencia de deslizamientos



Figura 26. Obstrucción de las tuberías de drenaje en la presa



Figura 27. Perdida de la altura de revancha le presa



Figura 28. Curso de agua que erosiona el pie de la presa



Figura 29. Viviendas construidas encima de la presa.

3.1.3. Identificación de los riesgos

Con la caracterización de la vulnerabilidad física de la instalación, donde Lezcano 2018 la clasifica como muy alta, más el agravamiento de la misma por la acción del cambio climático, donde la ocurrencia de eventos lluviosos extraordinarios se hacen más frecuentes anualmente, por tanto, se incrementa la probabilidad de ocurrencia de este peligro, por lo que se decide evaluar los riesgos generados por la acción de lluvias intensas, las cuales inducen la liberación de colas al medio. Ver Figura 30 y Anexo 1.

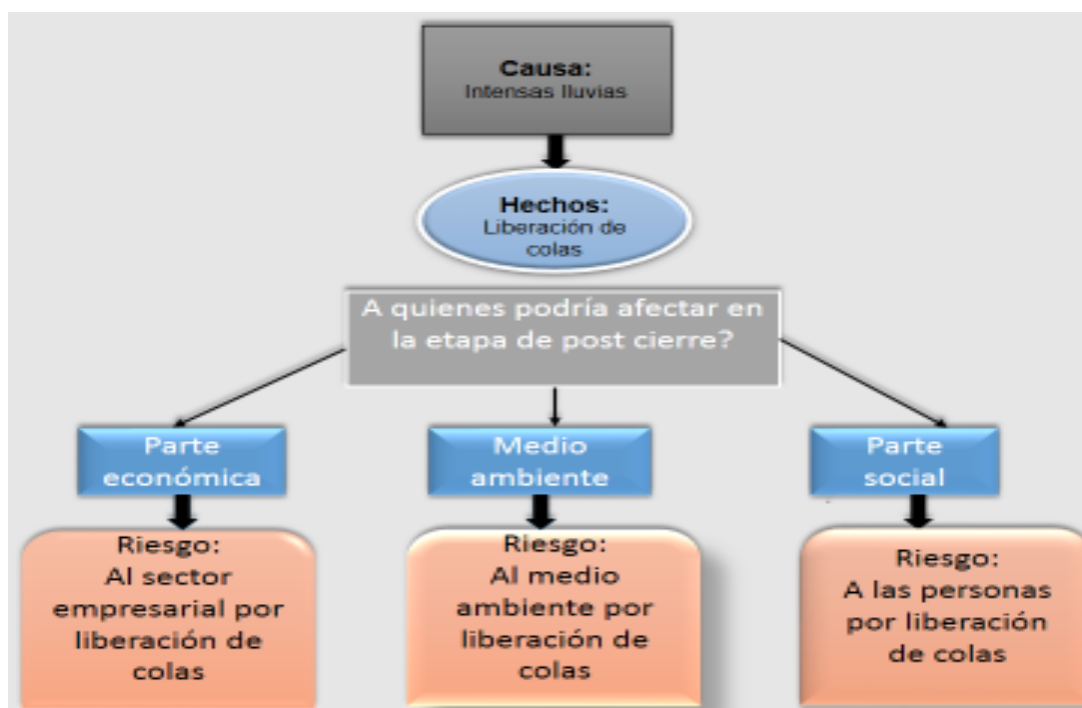


Figura 30. Identificación de los riesgos. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

3.1.4. Análisis de los riesgos

Los riesgos a los cuales está expuesto la presa de colas inactiva de Moa como un pasivo ambiental minero, se determinan según la probabilidad de ocurrencia del hecho y la severidad de las consecuencias para la parte social, el medio ambiente y la parte económica .

Para el análisis de la probabilidad se tiene en cuenta los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad global de Lezcano 2018, la cual se considera de muy alta para el peligro por intensas lluvias.

A partir de la evaluación se valora el comportamiento de los factores técnicos y el nivel de efectividad de las medidas de cierre tomadas de cierre y post cierre en la presa de colas. La probabilidad se estimará a partir del nivel de cumplimiento de factores técnicos relacionados con la efectividad de las medidas de cierre y post cierre.

La severidad de las consecuencias evalúa su impacto en la parte económica, social y ambiental.

Las etapas de trabajo para analizar los riesgos son:

3.1.5. Análisis de la probabilidad de ocurrencia de un hecho

En la Figura 31 se muestra el análisis de la probabilidad de ocurrencia de un hecho. El análisis de la probabilidad de ocurrencia del hecho (liberación de las colas), se enfocará en evaluar los escenarios potenciales de riesgos por liberación de colas.



Figura 31. Análisis de la probabilidad de ocurrencia del hecho. Fuente: SERNAGEOMIN, 2014. Modificado por Vicente Cavinda, 2019.

A continuación se realiza el análisis de las intensas lluvias como Evento Natural, y de la Condición de la Instalación Minera:

A- Evento Natural

Las intensas lluvias es un peligro de origen natural que genera los mayores riesgos durante las atapas de cierre y post cierre, las cuales han generado deslizamientos de taludes, sobrepaso, erosión en cárcavas profundas y destrucción parcial del dique perimetral, además existen varios sectores con procesos de deslizamientos en varias

etapas. Teniendo lo anteriormente se clasifica el nivel de probabilidad de ocurrencia den Evento Natural de Muy Alto (5) ver Tabla 2.

Según los registros de lluvias en el territorio, se han reportado valores de hasta 754 mm en el mes de noviembre de 2017. Las precipitaciones atmosféricas constituyen un detonante de fallo para estas obras.

B- Condición de la Instalación (CI)

Los riesgos de la instalación objeto de estudio, con respecto a la forma en que se realizó su operación, se desconocen debido a la no existencia de proyectos o documentación técnica que aporte los datos requeridos para su posterior análisis, lo que nos permitiría conocer el nivel de seguridad que posee la obra ante la acción de un evento natural como las intensas lluvias. Se tomarán algunas referencias del comportamiento de instalaciones similares a nivel internacional, para definir la información requerida para aplicar el procedimiento.

a). Valorización de los factores técnicos (VFT)

La entidad responsable es el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) que de acuerdo a los criterios establecidos ha realizado la revisión de sus registros de operación y comportamiento de la estabilidad física hasta el año actual, dichas condiciones técnicas se comparan con las establecidas en las propuestas del procedimiento, de tal manera de identificar si existían desviaciones. En el Anexo 3 se presenta la evaluación de los factores técnicos de la instalación.

Según la Ecuación 1 se calculan los factores técnicos:

$$\text{VFT} = 29a + 29b + 16c + 10d + 5e + 5f + 2g + 2h + 2i = 58$$

Dicho resultado numérico refleja los factores técnicos del depósito de colas que podrían incidir en la respuesta del mismo si un evento hidrometeorológico muy fuerte ocurriera en la etapa de post cierre.

b). Índice de Medidas de Cierre y Post Cierre con incidencia en la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho (IMC1 y IMPC1)

En este punto del análisis, se tiene como información que el Grupo Empresarial Cubaníquel, en los compromisos emitidos para la aprobación del cierre de la presa de

colas indicó como medidas de control para el cierre y post cierre: secado de la laguna de agua clara, estabilización de taludes y la realización de un programa de difusión.

Teniendo en cuenta el procedimiento, del listado de medidas de control comprometidas, el Evaluador debe seleccionar aquellas que puedan reducir el riesgo de liberación de colas al medio ambiente en sus componentes de probabilidad de ocurrencia y severidad de consecuencias. En este caso para **controlar** la probabilidad de ocurrencia de la liberación de colas, en base al análisis de sus especialistas, la entidad responsable consideró que la Estabilización de Taludes tendrá una efectividad del 90% y el Secado de la laguna un 60%, por tanto realizó la siguiente evaluación:

Tabla 18. Nivel de control del riesgo

	Nivel de Control del Riesgo con la ejecución de la Medida				
	100%-81%	80%-61%	60%-21%	20%-0%	
	Índice de la Medida de Control				
Medidas de Cierre	0,5	0,65	0,8	0,95	Índice seleccionado
Estabilización de taludes	x				0,5
Secado de laguna		x			0,65

$$IMC1 = \frac{(0,5 + 0,65)}{2} = 0,58$$

Resultando del Índice de Medidas de Cierre: $IMC1 = 0.58$

c). Condición de la Instalación (Factores Técnicos x IMC1)

Con los valores obtenidos en la valorización de los factores técnicos y en la determinación del IMC1 y IMPC1, se ha calculado la Condición de la Instalación:

$$CI = VFT \times IMC1 = 33$$

Como indica la metodología, el valor cuantitativo obtenido se lo ingresó en la Tabla 19 para obtener el resultado cualitativo:

Tabla 19. Resultados del nivel de valorización de la condición de la instalación.

Nivel Valorización	Resultados de la fórmula (CI)
80-100	MUY ALTO
60-79	ALTO
40-59	MEDIO
20-39	BAJO
0-19	MUY BAJO

Resultando del Nivel de Valorización de los Factores Técnicos: BAJO

3.1.6. Nivel de la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho

Finalmente, con los niveles cualitativos de ocurrencia del evento hidrometeorológico (ALTO) y de la condición de la presa de colas (BAJO), el evaluador ingresó a la Tabla 20, para la obtención del nivel de la Probabilidad de ocurrencia del Hecho:

Tabla 20. Obtención del nivel de la Probabilidad de ocurrencia del Hecho:

Condición de la Instalación (Factores Técnicos x IMC1)						
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Muy alto		Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada
Nivel de Probabilidad Ocurrencia del	Alto	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja
	Medio	Probabilidad Muy Alta	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja
	Bajo	Probabilidad Alta	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja	Probabilidad Baja	Probabilidad Muy Baja
	Muy Bajo	Probabilidad Moderada	Probabilidad Moderada	Probabilidad Baja	Probabilidad Muy Baja	Probabilidad Muy Baja

Nivel de probabilidad de ocurrencia de un hecho: MODERADA

Por tanto la probabilidad de liberación de colas de la presa de colas inactiva de Moa durante el post cierre es moderada.

3.2. Análisis de la Severidad de las Consecuencias

Análisis del nivel de severidad de las consecuencias en la parte social, medioambiental y en la parte económica:

3.2.1. Nivel de Severidad de las Consecuencias a la parte social

La determinación de la severidad de las consecuencias a la parte social se realiza mediante el análisis de las características de los habitantes y la incidencia de las medidas de control:

a. Características (SCps')

La presa inactiva de colas limita hacia el sur con la comunidad Armando Mestre. En dirección este se ubica la Comunidad 5 de diciembre, donde han construido viviendas en la parte superior de la presa de colas. El sector norte de la presa limita con fincas destinadas al uso agrícola. En los estudios realizados por Lezcano 2018 se declara el grado de vulnerabilidad existente en los ciudadanos asentados encima de la presa de colas.

En base a lo descrito en la Tabla 6 y de acuerdo a las características específicas de la Comunidad 5 de diciembre, la entidad responsable realizó el análisis para el llenado de la Tabla 21.

Tabla 21. Resultado del análisis de severidad de las consecuencias en la Parte Social.

VARIABLES					
Intensidad (I)	Proximidad (Pr)	Fragilidad(F)	Daño a la Salud (S)	Recuperabilidad (RE)	Capacidad de Respuesta (C.Re)
5	3	2	5	5	5

En la variable Intensidad, referida al grado potencial de afectación, se ha seleccionado el nivel Muy Alto (5), la variable Proximidad, ha sido calificada con un valor Muy Alto (5),

debido a que la población se encuentra muy cerca de la presa y se verifican algunas construcciones encima de la presa.

Para la variable Fragilidad, se ha realizado varias encuestas a la población de y se obtuvo como resultado que los niños y ancianos, corresponden un 10% de la población total, por tanto, el valor seleccionado fue Medio (3).

En el caso de la variable de Daño a la Salud, en base a experiencias similares donde la liberación de relaves impacto en la población civil, se ha seleccionado el nivel Muy Alto (5), considerando que si llegará a ocurrir una liberación de relaves sobre la Comunidad 5 de Diciembre, habría la posibilidad de registrar heridos y muertos.

La variable Recuperabilidad ha sido valorada con un nivel Muy Alto (5), manteniendo el criterio de la variable de Daño a la Salud, es decir, la posibilidad de registrar muertos por la liberación de relaves, permite indicar que se trataría de un escenario irrecuperable.

Finalmente, en la variable Capacidad de Respuesta, si bien la empresa minera se comprometió dentro de sus medidas de control realizar un programa de difusión, a la fecha de la evaluación de riesgos no se ha iniciado el mismo, por tanto se valoriza Muy Alto (5), al no tener la población ningún tipo de información ni un sistema de alerta.

Una vez completada la Tabla 21 se procedió al cálculo empleando la Ecuación 4:

$$\begin{aligned} SCps' &= I + Pr + F + S + RE + C.Re \\ SCps' &= 5 + 5 + 3 + 5 + 5 + 5 = 28 \end{aligned}$$

b. Índice de Medidas de cierre con incidencia en la severidad de las consecuencias a las personas (IMC2)

De igual manera que se realizó el análisis de las medidas de cierre en la etapa anterior, la entidad responsable ha revisado las medidas de control comprometidas para determinar cuál de ellas aporta a reducir la severidad de las consecuencias en la comunidad 5 de diciembre caso de que ocurriera una liberación de colas en la etapa de post cierre.

La medida de control identificada en este caso, es el Programa de Difusión, la entidad responsable considera que cuando este se ejecute la eficacia en el control de la severidad de las consecuencias a las personas será un 70%, por tanto: ver Tabla 22.

Tabla 22. Nivel de control del riesgo con la ejecución de las medidas de cierre

Nivel de Control del Riesgo con la ejecución de la Medida					
100%-81%	80%-61%	60%-21%	20%-0%		
Índice de la Medida de Control					
Medidas de Cierre	0,5	0,65	0,8	0,95	Índice seleccionado
Programa de difusión		x			0,65

Resultado del Índice de Medidas de Cierre (IMC2) = 0.65

c). Nivel de Severidad de las Consecuencias a las personas (SCps)

Con los valores determinados de las características comunidad 5 de diciembre (SCpe') y de la incidencia de las medidas de control propuestas (IMC2 y IMPC2), se empleó la Ecuación 6:

$$SCps' = SCps' \times (IMC2 \times IMPC2)$$

$$SCps = 28 \times 0.65 = 18$$

Finalmente, con el valor cualitativo se ha ingresado a la Tabla 7 para determinar el Nivel de Severidad de las Consecuencias en las Personas:

Tabla 23. Resultados del nivel de severidad en las personas

Resultados de la fórmula SCps	Nivel de Severidad de las Consecuencias
25 - 30	MUY ALTA
20 - 24	ALTA
15 - 19	MODERADA
10 - 14	BAJA
5 - 9	MUY BAJA

Nivel de la severidad de las consecuencias en las personas: **moderada**

Nótese que si la entidad responsable no hubiese considerado la ejecución eficiente de alguna medida de control para reducir la severidad de las consecuencia a la parte social de la de la comunidad 5 de diciembre, el resultado final hubiese correspondido únicamente al análisis de sus características, es decir el valor 28, por tanto al ingresar a la Tabla 18 se hubiese obtenido un nivel de severidad de las consecuencias Muy Alta y no Moderada como es el caso.

3.3. Nivel de Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente

Teniendo en cuenta la Figura 22, para el Nivel de la Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente, la entidad responsable ha realizado el análisis tanto en los componentes ambientales involucrados como en las medidas de cierre y post cierre comprometidas.

a. Variables en los componentes ambientales (SCma')

Para este caso, considerando el área de influencia, la entidad responsable ha determinado que los siguientes componentes ambientales podrían ser afectados en caso de ocurrir la liberación de colas en el post cierre: ver Tabla 24

Tabla 24. Proceso de selección de las componentes ambientales

		VARIABLES					
COMPONENTES AMBIENTALES	APLICA (Si/No)	Extensión (E)	Duración (D)	Reversibilidad (Rev)	Intensidad (I)	Relevancia Ambiental (Rel)	SCma'
Calidad del Aire	no aplica						-
Suelo (Edafología)	aplica						
Agua Superficial	aplica						
Agua subterránea	No aplica						-
Flora y Fauna	aplica						
Áreas residenciales	aplica						

$$\text{Scma}' = E + D + \text{Rev} + I + \text{Rel}$$
$$\text{Scma} = \text{Máximo (Scmá)}$$

Una vez identificados los componentes ambientales, la empresa minera procede al análisis de cada uno de ellos de acuerdo a las variables y criterios de la Tabla 9: a continuación, a modo de ejemplo, se expone el análisis realizado con el componente suelo:

- Suelo

En la variable Extensión, para el componente del suelo, se ha calificado con el nivel Medio (3), debido a que en caso de ocurrir la liberación de relaves, por el análisis del posible recorrido de las colas liberadas según la topografía del área.

El análisis realizado por la entidad responsable, indica que para el caso de la variable Duración, el valor es Medio (3), es decir que su permanencia en el suelo podría ser entre 1 y 3 años.

De igual forma en el caso de la variable Reversibilidad se ha indicado que una vez impacto el suelo con las colas, por las características del mismo, la consecuencia sería Irreversible (5).

En la variable Intensidad, se ha considerado que existiría un alto grado de alteración al suelo por lo que se ha seleccionado el nivel Alto (4).

Finalmente, en la variable Relevancia Ambiental, se ha seleccionado el valor medio (3), debido a que el suelo en la región, al ser dedicado a la actividad constructiva no tiene restricciones en su intervención.

Se ha realizado, similar análisis para los otros componentes ambientales, como resultado se tuvo completando la Tabla 25

Tabla 25. Resultados de las evaluaciones de las componentes ambientales

COMPONENTES AMBIENTALES	APLICA (Si/No)	VARIABLES					
		Extensión (E)	Duración (D)	Reversibilidad (Rev)	Intensidad (I)	Relevancia Ambiental (Rel)	SCma' (i)
Calidad del Aire	no aplica						-
Suelo (Edafología)	aplica	3	3	4	5	3	18
Agua Superficial	aplica	3	4	4	5	5	21
Agua subterránea	No aplica						-
Flora y Fauna	aplica	3	3	4	5	5	50
Áreas residenciales	aplica		3	5	4	5	18

$$SCma'(i) = E + D + Rev + I + Rel$$

$$SCma'(suelo) = 0 + 18 + 21 + 0 + 20 + 18$$

$$SCma' = \text{Max } (SCma'(i))$$

$$SCma = \text{Max } (18, 21, 20, 18) = 21$$

Nivel de la Severidad de las Consecuencias en el Medio Ambiente: 21

El valor resultante es el mayor obtenido de todos los componentes ambientales, en este caso el valor obtenido en el análisis del componente Suelo.

b). Índice de Medidas de cierre con incidencia en la severidad de las consecuencias al medio ambiente (IMC3)

Al igual que se realizó para el análisis de los IMC y IMPC que inciden a la Probabilidad de Ocurrencia del Hecho y a la Severidad de las Consecuencias a la parte social, la



entidad responsable ha efectuado la evaluación de la efectividad de sus medidas de control que podrían controlar y reducir la severidad de las consecuencias al medio ambiente en sus componentes. Ha considerado que la medida que podría controlar la severidad de la consecuencia en el medio ambiente es la estabilización de taludes en un 70%, por tanto: ver Tabla 26.

Tabla 26. Nivel de control del riesgo con la ejecución de las medidas

Nivel de Control del Riesgo con la ejecución de la Medida					
Índice de la Medida de Control					
Medidas de Cierre	100%-81%	80%-61%	60%-21%	20%-0%	Índice seleccionado
Estabilización de taludes	0,5	0,65	0,8	0,95	0,65

Resultados del Índice de las Medidas de Cierre (IMC3) = **0.65**

c). Nivel de Severidad de las Consecuencias al medio ambiente (SCma)

Con los valores determinados en el análisis de los componentes ambientales y la incidencia de las medidas de control comprometidas se ha determinado el nivel de Severidad de las Consecuencias al Medio Ambiente con la Ecuación 10:

$$SCma = SCma' \times IMC3$$

$$SCma = 21 \times 0.65 = 14$$

Finalmente, con la finalidad de obtener el valor cualitativo resultante, se ha empleado la Tabla 10:

Nivel de la severidad de las consecuencias en el medio ambiente: **moderada**

3.4. Análisis de la Severidad de las Consecuencia a la Parte Económica

El enfoque para el análisis de la Severidad de las Consecuencias a la Parte Económica es similar al procedimiento planteado para el caso de la afectación a la parte social y el medio ambiente. Ver Figura 23.

a). Análisis de la Severidad de las Consecuencia a la Parte económica

En el análisis de la Severidad de las Consecuencias a la parte Económica, se debe tener en cuenta el material almacenado en la presa de colas, su cantidad, calidad y el nivel de rentabilidad de la reutilización de las colas. Ver Tablas 11 y Tabla 12.

Variables en los Componentes de la Parte Económica (SCpe')

Las variables de la parte económica se evalúan de forma jerárquica según los rangos propuestos de la Tabla 12. La evaluación de las variables se registra en la Tabla 27.

Tabla 27. Evaluación de las variables

VARIABLES		
Actividad económica (AE)	Acceso al mercado laboral (AML)	Nivel de ingresos (NI)
5	5	5

Tabla 28. Evaluación del impacto económico

IMPACTO ECONÓMICO (IE)		
A nivel territorial	A nivel regional	A nivel nacional
-	-	5

$$SCpe'i = AE + AML + NI \times IE$$

$$SCpe'i = 5 + 5 + 5 \times 5$$

$$SCpe'i = 75$$

b. Índice de Medidas de Cierre que afecta la Severidad de las Consecuencias a la parte económica (IMC4 IMPC4)

De igual manera que se realizó el análisis de las medidas de cierre en la etapa anterior, la entidad responsable ha revisado las medidas de control comprometidas para determinar cuál de ellas aporta a reducir la severidad de las consecuencias en la Comunidad 5 de Diciembre caso de que ocurriera una liberación de colas en la etapa de post cierre.

La medida de control identificada en este caso, es el Programa de Difusión, la la entidad responsable considera que cuando este se ejecute la eficacia en el control de la severidad de las consecuencias a las personas será un 70%, por tanto:

Tabla 29. Nivel de control del riesgo con la ejecución de la Medida

Nivel de control del riesgo con la ejecución de las medidas					
Índice de la medida de control					
Medidas de Cierre	0,5	0,65	0,8	0,95	Índice seleccionado
Programa de difusión				X	0,95

Resultado del Índice de Medidas de Cierre (IMC4) = 0.95

c). Nivel de Severidad de las Consecuencias a la parte económica (SCpe)

Con los valores determinados de las características de económicas de las colas viejas (SCpe') y de la incidencia de las medidas de control propuestas (IMC4 Y IMPC4), se empleó la Ecuación 13:

$$\begin{aligned}SC_{pe}' &= SC_{pe}' \times (IMC4 \times IMPC4) \\ SC_{pe}' &= 75 \times 0.95 = 71.25\end{aligned}$$

Finalmente, con el valor cualitativo se ha ingresado a la Tabla 14 para determinar el Nivel de Severidad de las consecuencias en la parte económica:

Nivel de la severidad de las consecuencias en parte económica: **alta**

3.5. Evaluación del Nivel de Riesgo

Una vez determinado los niveles de Probabilidad de Ocurrencia de la liberación de colas y los niveles de la Severidad de las Consecuencias en la parte social, medio ambiente y la parte económica del área de estudio, se ha procedido a determinar el nivel de riesgo. Para esto, con los resultados anteriores, se ha ingresado a la matriz de riesgo (Figura 15) considerando de manera independiente cada componente de consecuencia, es decir, un ingreso a la matriz con el resultado de la severidad de las consecuencias a la parte social para obtener el nivel de Riesgo (PS), un ingreso a la matriz con el resultado de la severidad de las consecuencias al medio ambiente para obtener el nivel de Riesgo (MA) y otro ingreso a la matriz con el resultado de la severidad de las consecuencias a la parte económica para obtener el nivel de Riesgo (PE):

3.6. Nivel de Riesgo a la Parte Social:

Los resultados de la evaluación son:

- Probabilidad de Ocurrencia: Moderada
- Severidad de las Consecuencias: Moderada.

Ingresando a la matriz de riesgos, este resulta ser:

Tabla 30. Resultados de la evaluación del riesgo en la parte social

		Severidad de las Consecuencias				
		Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Probabilidad de Ocurrencia del Hecho	Muy alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
	Alta	Muy Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
	Moderada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
	Baja	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Muy baja	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

Por tanto, el resultado de la evaluación siguiendo la metodología indica un riesgo a la parte social por liberación de colas a causa de lluvias intensas en la presa inactiva de colas:

Nivel riesgo en la parte social (PS)

MEDIO

3.7. Nivel de Riesgo al Medio Ambiente:

Para el caso del riesgo al medio ambiente por liberación de colas a causa de lluvias intensas en depósito de colas la evaluación realizada indicó el siguiente resultado:

- Probabilidad de Ocurrencia: Moderada
- Severidad de las Consecuencias: Moderada.

Ingresando a la matriz de riesgos, este resulta ser:

Tabla 31. Severidad de las consecuencias medio ambientales

Nivel riesgo (MA)

MEDIO

		Severidad de las Consecuencias				
		Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Probabilidad de Ocurrencia del Hecho	Muy alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
	Alta	Muy Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
	Moderada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
	Baja	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Muy baja	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

3.8. Nivel de Riesgo a la Parte Económica:

- Probabilidad de Ocurrencia: Alta

- Severidad de las Consecuencias: Alta.

Ingresando a la matriz de riesgos, este resulta ser:

Tabla 32. Severidad de las consecuencias económicas

		Severidad de las Consecuencias				
		Muy alta	Alta	Moderada	Baja	Muy baja
Probabilidad de Ocurrencia del Hecho	Muy alta	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Alto	Medio
	Alta	Muy Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
	Moderada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo
	Baja	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
	Muy baja	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

Para el caso del riesgo a la parte económica por liberación de colas a causa de lluvias intensas en la presa de colas la evaluación realizada indicó el siguiente resultado:

Nivel riesgo (PE)

ALTO

La existencia de un alto grado de incertidumbre con respecto al nivel de la estabilidad física, química e hidrológica de la presa de colas inactiva de Moa, ante la acción de diferentes peligros naturales o antrópicos requiere de un estudio geotécnico y social de las comunidades aledañas, para lograr aportar una evaluación más ajustada a las condiciones existentes en la presa de colas inactiva de Moa como pasivo ambiental minero.

3.9. Plan de gestión de riesgos

El plan de gestión de los riesgos para la presa de colas inactiva de Moa como pasivo ambiental debe ser revisado y actualizado periódicamente a medida que avance el proceso de cierre y post cierre de la obra. El mismo se basa en la propuesta de medidas de prevención, mitigación o corrección de los impactos a generarse por la liberación de las colas al medio ambiente por la ocurrencia de intensas lluvias. Ver Anexo 7.

3.9.1. Riesgo residual

La entidad responsable obtuvo como resultado de esta segunda evaluación, el nivel del riesgo residual (evaluado 48 años después del cierre de operación) para el caso de presentarse una liberación de colas durante el período de post cierre, sobre la base de un alto nivel de efectividad de las medidas aplicadas. Sus nuevos resultados fueron:



Nivel de riesgo (**Rr**)

BAJO

3.10. Conclusiones parciales

1. La aplicación del procedimiento a la presa de colas inactiva de Moa como pasivo ambiental minero, permitió evaluar los riesgos socioeconómicos y ambientales ante la liberación de colas al medio por la acción de lluvias intensas.
2. Se logra determinar que los riesgos sociales y medioambientales califican como medios, los económicos como altos y el riesgo residual se determina como bajo.
3. El plan de medidas propuesto garantiza la prevención, mitigación o corrección de impactos negativos esperados ante la liberación de colas al medio ambiente.

CONCLUSIONES

1. La caracterización geo-ambiental del pasivo minero ambiental de la presa de colas inactiva de Moa favorece el incremento de la vulnerabilidad de la misma, ante la acción de peligros naturales o antrópicos producto a la degradación existente en esta estructura.
2. Se identifica el riesgo de liberación de colas al medio ante el peligro por lluvias intensas, por la alta vulnerabilidad física de la presa de colas inactiva de Moa.
3. La evaluación de los riesgos sociales, medio ambientales y económicos, en pasivos ambientales mineros como las presas de colas, permitió:
 - Diseño y aplicación de un procedimiento para la evaluación de los riesgos en la presa de colas inactiva de Moa, los cuales califican como: los riesgos sociales y medioambientales como medios, los económicos como altos y el riesgo residual se determina como bajo.
 - El plan de medidas propuesto garantiza la prevención, mitigación o corrección de impactos negativos esperados ante la liberación de colas al medio ambiente.



RECOMENDACIONES

1. Aplicar el procedimiento a las presas de colas que se encuentran en fase de apertura y de cierre en el territorio de Moa.
2. Valorar a través de investigaciones detalladas la probabilidad de existencia de minerales de tierras raras en las colas de la presa inactiva de Moa.
3. Entregar a la Oficina Nacional de Recursos Minerales y a la dirección del CITMA el presente procedimiento para su valoración como herramienta regulatoria de los proyectos de las presas de colas.

BIBLIOGRAFÍA

1. DS 132. CHILE. Reglamento de Seguridad Minera. Ministerio de Minería, Santiago, Chile, (2004.)
2. FONSECA, E.; ZELEPUGIN V.N. y HEREDIA M. (1985). Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19: 321-329.
3. FONSECA, R., 2004. “Uso del Vetiver grass para la rehabilitación de sitios mineros en Chile: Resultados Preliminares”. (ed) Antonio Rabat Sur 6165. Santiago de Chile: Fundación Chile.
4. FOURIE, A.B., BLIGHT, G.E. y PAPAGEORGIOU, G., 2001. Static liquefaction as a possible explanation for the Merriespruit tailings dam failure. *Canadian Geotechnical Journal*, 38: 707–719.
5. FOURIE, A.B., et. al. (2003). “Static liquefaction as a possible explanation for the Merriespruit tailings dam failure”. *Canadian Geotechnical Journal*, 38: 707-719
Gallipoli y S.J. Wheeler (eds). *Unsaturated Soils Advances in Geoengineering*. Taylor & Francis, London.
6. GRAY D.H. et. al. (1996). “*Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization .A practical guide for soil erosion control*”. John Wiley and Sons, 378 p.
7. GREEN, D. (2001). “*Forestación de depósitos de relave abandonados presentación de caso: Depósito de relave ácido en alta montaña zona central de Chile*”. Santiago, Universidad de Chile. 156 p.
8. GUARDADO, R. y CARMÉNATE, J. (1996). “Evaluación ingeniero geológica de las áreas con peligros y riesgos geoambientales de la ciudad de Moa. *Minería y Geología* 12(2):45-55.
9. GUARDADO, R. y RIVERÓN, A.B. (1997). “Evaluación ingeniero geológica del territorio de Moa con fines de microzonación sísmica”. *Minería y Geología*, 41(2):
10. *Guide to the Management of Tailings Facilities* (MAC 1998). Canada, 1998.
11. HARDER, L.F. y STEWART, J.P. (1996). Failure of Tapo Canyon Tailings Dam. J. of Performance of Constructed Facilities. *ASCE*, 10(3): 109-114.

12. HERNÁNDEZ, T. (2015). "*Sistema de gestión de riesgos por fallos en la presa de colas de la empresa comandante Pedro Sotto Alba*".
13. HERNÁNDEZ, T. (2015). "*Sistema de gestión de riesgos por fallos en la presa de colas de la empresa comandante Pedro Sotto Alba*".
14. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. (2010) "*Funcionamiento y mecanismos de rotura en la presa de colas de la empresa Cdte. Pedro Sotto Alba*, Reporte Técnico, Moa, Cuba.
15. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. (2010) "*Funcionamiento y mecanismos de rotura en la presa de colas de la empresa Cdte. Pedro Sotto Alba*, Reporte Técnico, Moa, Cuba.
16. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. (2010). "Rehabilitación de las presas de colas de la mina Moa Nickel SA, como medio de estabilización de taludes y de cierres de minas". *Memorias del III Simposio Internacional Restauración Ecológica*. Santa Clara, Cuba. Septiembre 13-19, ISBN 978-959-250-600-8.
17. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. (2010). "Rehabilitación de las presas de colas de la mina Moa Nickel SA, como medio de estabilización de taludes y de cierres de minas". *Memorias del III Simposio Internacional Restauración Ecológica*. Santa Clara, Cuba. Septiembre 13-19, ISBN 978-959-250-600-8.
18. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. (2011). "*Aplicación de la Bioingeniería al cierre de la presa de colas de la ECPSA*", Proyecto de cierre, Moa, Cuba.
19. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. (2011). "*Aplicación de la Bioingeniería al cierre de la presa de colas de la ECPSA*", Proyecto de cierre, Moa, Cuba.
20. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. (2012). "*Empleo de la Vetiveria Zizanoides para el control de la erosión en la presa de colas de la ECPSA*", Proyecto de cierre.
21. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. (2014). "Gestión de Riesgos por
22. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. (2014). "Gestión de riesgos por deslizamientos en presas de colas". *IV Congreso de desastres*, Habana, Cuba.
23. HERNÁNDEZ, T. y GUARDADO, R. 2014. "La bioingeniería en la estabilización de presas de colas de la industria minero metalúrgica en Cuba". *Revista Minería y Geología*, 30(4).



24. HERNÁNDEZ, T. y ULLOA, M. (2014). "Impacto ambiental de la ampliación de una presa de colas de la industria cubana del níquel". *Revista Minería y Geología*, 30 (3).
25. HERNÁNDEZ, T., y GUARDADO, R. (2010) "Aplicación de la Bioingeniería al Control de la Erosión y la Sedimentación". *Memorias del III Simposio Internacional Restauración Ecológica*. Santa Clara, Cuba. Septiembre 13-19, ISBN 978- 959-250600-8.
26. HORTELANO, A. y CASAS, A. (2003). "*Presas y patrimonio. Situación legal y práctica*", (ed) Barcett y Olloth, España, 23-36.
27. ICOLD. (1989). "Tailings Dam Safety Guidelines", Bulletin 74, *Committee on Mine and Industrial Tailings Dams*, Paris: Int. Commission on Large Dams.
28. ICOLD. (1995). "*Tailings Dam y Seismicity - Review y Recommendations*".
29. ICOLD. (1996). "A Guide to Tailings Dams and Impoundments – Design, construction, use and rehabilitation". Bulletin 106. *Joint publication by International*
30. ICOLD. (1999). "Guidelines (CDA 1999)". *International Commission on Large Dams*.
31. ICOLD. (2000). "*World Information Service on Energy, Uranium Project, Cronología de las fallas más importantes en presas de relaves (desde 1960)*".
32. ICOLD. (2001). Bulletin 121: Tailing dams. *Risk of dangerous occurrences. Lessons learnt from practical experiences*. Paris
33. ICOLD. (2003). "Bulletin on Risk Assessment in Dam Safety Management". *International Commission on Large Dams*.
34. ICOLD. "Tailings dams risk of dangerous occurrences. *Lessons learnt from practical experiences*". Bulletin 121.
35. ITURRALDE-VINENT, M.A. (1996). Geología de las ofiolitas de Cuba. En: IturraldeVincent, M. (ed). *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. IGCP Project 364. Special contribution. (1): 83-120.



36. LEY No. 75/1994 "*Ley de la Defensa Nacional*", de 21 de diciembre. Prieto Valdés Marta; Pérez Hernández, Lissette. 2005. Selección Legislativa de Derecho Constitucional Cubano. Editorial Félix Varela. La Habana. Cuba.
37. LEY No. 81/1997 "*Ley del Medio Ambiente*", de 11 de julio. Gaceta Oficial de la República de Cuba, Edición Extraordinaria. La Habana.
38. LÓPEZ, A. (1996). "*Las Presas Españolas en Arco de los Siglos XVI y XVII. Una innovación revolucionaria*". Universidad Autónoma de Madrid.
39. MARKLAN, A. y EURENIUS, J. (1976). "*Stability investigations of an existing tailing dam. 12th international congress on large dams*". Mexico: Commission Internationale de Grandes Barrages, 407-417.
40. Oblasser & Chaparro Avila (2008) Conceptualización de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM)
41. OLALLA, C. y CUELLAR, V. (2001). Failure mechanism of the Aznalcollar Dam, Seville, Spain. *Geotechnique*, 51(5): 399-406.
42. OLDECOP, L. (2004). "Influencia de factores climáticos en la estabilidad de las presas de colas". *Jornada "Geotecnia e Ingeniería Sísmica aplicadas a la Minería"*. Instituto de Investigaciones Antisísmicas de Argentina.
43. OLDECOP, L. et al. (2008). "*Funcionamiento hidráulico, estabilidad y mecanismos de rotura de presas de relaves mineros*". Instituto de Investigaciones Antisísmicas.
44. OLDECOP, L. et. al. (2010). "*Comportamiento de colas mineras en climas áridos*". *Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica.*, Mendoza, Argentina: CAMSIG, 1-8.
45. OLDECOP, L. y RODRÍGUEZ, R. (2008). "*Mecanismos de fallas de las presas de residuos mineros*".
46. OLIVA, G. (1989). "*Nuevo Atlas Nacional de Cuba*". Instituto de Geografía, ACC.
47. ORDOÑEZ, A. (1984). "*Canchas de relaves de concentradoras mineras. Informe Final*". Voll, Lima, Perú.
48. OROZCO, G. y RIZO, R. (1998). Depósitos de zeolitas naturales de Cuba. *Acta Geológica Hispánica*, 33 (1-4): 335-349.



49. PIÑERO, J.M. (2001). *"Guía técnica para la elaboración de los planes de emergencia para presas"*, Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y calidad de las Aguas. Subdirección General de Gestión del Dominio Público Hidráulico. Madrid.
50. PONJUAN, A. y RODRÍGUEZ, R. (1981). *"Los procesos metalúrgicos utilizados en la industria del níquel en Cuba"*. La Habana :Editorial Pueblo y Educación.
51. PROENZA, J. (1998). *"Mineralización de cromitas en la faja ofiolítica Mayarí-*
52. QUINTANA, H. (1998). *"Diques de estériles"*. *Industria y Minería*, 33: 52-56.
53. RODRÍGUEZ, A. (1998). *"Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica"*. *Revista Minería Y Geología*, 12 (3).
54. RODRÍGUEZ, R. (2002). *Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba)"*, (ed) Gestión residuos industriales.
55. RODRÍGUEZ, R. (2011) b. *"Transformaciones de pasivos ambientales mineros (PAM) en activos mineros, ambientales o sociales (AMAS)"*. *IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. GEOCIENCIAS 2011*, 4 al 8 de abril, La Habana, Cuba.
56. RODRÍGUEZ, R. et. al. (2009). *"Los grandes desastres medioambientales producidos por la actividad minero-metalúrgica a nivel mundial: causas y consecuencias ecológicas y sociales"*. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*. 12 (24): 7-25.
57. RODRÍGUEZ, R. y GARCÍA, A. (2006). *"Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente"*. Madrid: Editorial Instituto Geológico y Minero de España, 1-744.
58. ROGGE, J.R. (1992). *"Una agenda de investigación para el manejo de desastres y emergencias"*. PNUD-UNDRO, Universidad de Minitoba.
59. RUBÍN, M. (2003). *"Seguridad de presas. Pasado, presente y futuro"*. Madrid, España: (ed) Zeltounim.



60. SERRANO, A. (2011). " *Desarrollo de una herramienta completa de análisis y evaluación de riesgos en seguridad de presas*". Universidad Politécnica de Valencia.
61. SUÁREZ, J. (1998). " *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*". Universidad Industrial de Santander. (ed) Ingeniería de Suelos Ltda. Bucaramanga.
62. SUÁREZ, J. (2002). "La Bioingeniería en el control de erosión en ambientes tropicales". Especificaciones para la construcción de obras de bioingeniería". *Simposio Latinoamericano de Control de Erosión*, Bucaramanga, (ed) Ingeniería de Suelos Ltda. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
63. UNDRO. (1979 y 1983). "Natural Disasters and Vulnerability Analysis". *Report of Experts Group Meeting, Geneva*.
64. UNDRO. (1990). " *Preliminary Study on the Identification of Disaster-Prone Countries Based on Economic Impact*. New York/Geneva: United Nations Disaster Relief Organization.
- Universidad Nacional de San Juan, Argentina.
- Universidad Nacional de San Juan. Argentina.
65. USCOLD. (1989). " *McCoy Mine Tailings Dam*", USCOLD Newsletter, U.S.
66. USCOLD. (1992). " *Observed Performance of Dams During Earthquakes*", Committee on Earthquakes, U.S. Committee on Large Dams, Denver, Colorado.
67. USCOLD. (1994). " *Tailings Dam Incidents*", Committee on Tailings Dams, U.S.
68. VENEGAS, F. C. (2008). " *Análisis de desarrollo tecnológico en disposición de residuos mineros provenientes de procesos extractivos de cobre*". Tesis Maestría. Universidad de Serena, Chile.
69. VENEGAS, F. C. (2011). " *Respuesta sísmica recientes en balsas de relaves chilenas y presas de materiales sueltos*". Tesis de Maestría, Escuela de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.



70. VINARDELL, R (2016).).*“Modelación de escenarios de seguridad en la presa de colas de la empresa comandante Pedro Sotto Alba”*.
71. ZABALA, F. et al. (2010). *“Funcionamiento hidráulico, estabilidad y mecanismos de rotura de presas de relaves mineros”*. Instituto de Investigaciones Antisísmicas.
72. ZANDARÍN, M.T., et. al. (2008). “Stability of a Tailing Dam Considering the Hydromechanical Behaviour of Tailings and Climate Factors”. D.G. Toll, C.E. Augarde, D.
73. ZANDARÍN, M.T., OLDECOP. L. A. RODRÍGUEZ, R. and ZABALA, F. (2009). “The role of capillary water in the stability of tailings dams”. *Engineering Geology*, 105:



ANEXOS



Anexo 1. Riesgos Identificados para Presa de Colas.

INSTALACIÓN MINERA	CODIFICACIÓN		RIESGOS	RECEPTORES
Presa de colas (PC)	PC1	PC1. PS	Liberación de colas a causa de un sismo.	Parte Social
		PC1. MA		Medio Ambiente
		PC1. PE		Parte Económica
	PC2	PC2. PS	Overtopping a causa de lluvia intensa y/o crecida.	Parte Social
		PC2. MA		Medio Ambiente
		PC2. PE		Parte Económica
	PC3	PC3 PS	Contaminación atmosférica a causa de viento.	Parte Social
		PC3 MA		Medio Ambiente
		PC3 PE		Parte Económica
	PC4	PC4 PS	Liberación de colas a causa de piping	Parte Social
		PC4 MA		Medio Ambiente
		PC4 PE		Parte Económica

Anexo 2. Ejemplo de la estructura de la tabla para la evaluación de Factores Técnicos¹

Valorización/ Factores		0	0,25	0,5	0,75	1
Factores Técnicos	a	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año)	Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año)	Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por mas de un año. No existe control o monitoreo
	b	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año)	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por mas de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo
	c	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año)	Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año)	Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por mas de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo
	d	Cumple con niveles máximo permitidos. Distribución	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año y	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el	Desviaciones constantes por mas de un año y afectan a todo el muro y Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control

Fuente: Elaboración propia.

Se ha establecido un rango de valorización para evaluar cada factor técnico entre 0 y 1, donde el valor 1 significa que la operación de la instalación ha sido inadecuado y por lo tanto se encuentra en un estado crítico y el valor 0 es indicativo de una operación dentro de los parámetros de diseño y las buenas prácticas operacionales, por lo que la instalación se encuentra en un buen estado.



Anexo 3. Factores Técnicos para Depósitos de colas. Liberación de Relaves a Causa de un Sismo.

	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
a	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño (cota coronamiento - cota cola contacto con el muro).	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año)	Registro continuo. Desviaciones muy Frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Registro solamente esporádico con desviaciones. Desviaciones constantes por más de un año. No existe control o monitoreo.
b	Valor mínimo medido inferior al valor de diseño de revancha Total (cota coronamiento - cota nivel de aguas claras).	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año. Registro solamente esporádico con Desviaciones. No existe control o monitoreo.
c	Contenidos de finos en arena del muro del tranque sea >20% (bajo #200).	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año).	Registro continuo. Desviaciones muy Frecuentes (> a 4 por año).	Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.



	Valorización / Factores	0	0,25	0,5	0,75	1
d	Niveles piezométricos en el muro: valores de registros altos sistemáticos en el tiempo (ubicación distribuida arealmente).	Cumple con niveles máximo permitidos. Distribución areal adecuada.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año y concentradas en un sector).	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Registro esporádico. Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro). Distribución areal adecuada.	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo. O no existe una adecuada ubicación de los puntos de monitoreo.
e	Densidad relativa de compactación del material del muro menor al diseño.	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año y concentradas en un sector)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan todo el muro)	Registro esporádico. Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.



f	Ángulo del talud de aguas abajo mayor al talud de diseño.	Ningún evento registrado	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año)	Registro esporádico. Desviaciones extensivas (> a 4 por año).	Desviaciones constantes por más de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.
g	Laguna fuera de su posición de diseño (*considerar solo en caso de muro de arena).	Ningún evento registrado en los últimos 5 años.	-	-	-	Evento registrado en los últimos 5 años.
h	Afloramientos de agua en el pie del muro no recogidos por el dren, Agua del dren enturbada.	Ningún evento registrado por año.	-	-	-	Más de un evento por año en el período de análisis y dos o más eventos en año consecutivos.
Valorización / Factores		0	0,25	0,5	0,75	1
i	Valor mínimo medido del ancho de coronamiento de diseño inferior al requerido.	Ningún evento registrado.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (> a 4 por año y concentradas en un sector)	Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año y afectan	Registro esporádico. Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro).	Desviaciones constantes por más de un año y afectan a todo el muro y registro solamente esporádico con desviaciones. No existe

				todo el muro).		control o monitoreo.
--	--	--	--	----------------	--	----------------------

Nota: El valor de referencia 4 es en relación a los informes trimestrales que se entrega al SERNAGEOMIN (E700).

Muro de empréstito: $VTF = 29a + 29b + 16c + 10d + 5e + 5f + 2g + 2h + 2i$

Anexo 4. Características para el análisis de la Severidad de las Consecuencias en la parte social.

		Rango				
		MUY BAJO (1)	BAJO (2)	MEDIO (3)	ALTO (4)	MUY ALTO (5)
Características o variables	Intensidad (I)	No tiene potencial de afectar zonas residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	Tiene potencial de afectar una de las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	Tiene potencial de afectar dos de las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	Tiene potencial de afectar tres de las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.	Tiene potencial de afectar todas las siguientes zonas; residenciales, ceremoniales, recreativas o productivas.
	Proximidad (Pr)	Instalación minera emplazada fuera de asentamientos o lugares con actividades antrópicas.	-	Instalación minera emplazada a colindante con asentamiento y/o lugares con actividades antrópicas.	-	Instalación minera emplazada en medio de asentamiento .
	Fragilidad (F)	0 - 5 %	6 - 10 %	11 - 20 %	21 - 30 %	> 30%



		Rango				
		MUY BAJO (1)	BAJO (2)	MEDIO (3)	ALTO (4)	MUY ALTO (5)
	Daño a la Salud (S)	No existe un potencial de afectación a la salud.	Existe potencial de afectación, pero con molestias en la salud que pueden desaparecer por sí solas y en pocos minutos (por ejemplo náuseas provocadas por malos olores que duren poco tiempo).	Existe un potencial de afectación a la salud, que no dejando secuelas, sí implica la necesidad de asistencia médica para recuperarla en pocas horas .	Existe un potencial de afectación a la salud que dejará secuelas por más de un día (sin secuelas crónicas), y que requiere de tratamiento u observación médica.	Existe un potencial de afectación a la salud que causará secuelas crónicas o la muerte .
	Recuperabilidad (RE)	Inmediato (Durante la semana en que ocurre el Hecho).	Corto Plazo (Durante 2da a 4ta semanas de ocurrido el Hecho).	Mediano Plazo (Durante el mes 2do y hasta 12vo de ocurrido el Hecho).	Largo Plazo (Durante el mes 13vo y 24vo de ocurrido el Hecho).	Irrecuperable (No existe recuperación).
	Capacidad de Respuesta (C.Re)	Existencia de Sistema de Alerta y Totalmente Capacitados.	Existencia de Sistema de Alerta temprana sin capacitación de la población.	Existencia de Sistema de Alerta temprana y parcial capacitación de la población.	No existencia de Sistema de Alerta e información general de la población.	No existencia de Sistema de Alerta temprana ni información a la población.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Variables para el análisis de la Severidad de las Consecuencias en los Componentes Ambientales.

		Rango				
		MUY BAJO (1)	BAJO (2)	MEDIO (3)	ALTO (4)	MUY ALTO (5)
Variables	Extensión (E)	Puntual: cuando la consecuencia se manifiesta en el entorno inmediato a la fuente generadora.	Parcial: cuando la consecuencia tiene implicancias que abarcan una superficie menor a una subcuenca.	Local: cuando la consecuencia se manifiesta abarcando una superficie igual a una subcuenca.	Extenso: cuando la consecuencia se manifiesta abarcando la superficie equivalente o mayor a una subcuenca.	Regional: cuando la consecuencia tiene implicancias regionales.
	Duración (D)	Temporal: hasta 6 mes después de verificado el hecho.	Corto plazo: entre 6 meses y 1 año.	Mediano plazo: entre 1 y 3 años.	Largo plazo: entre 3 y 5 años	Permanente: duración superior a 5 años.
	Reversibilidad (Rev)	Reversible: la consecuencia se revierte en forma natural una vez finalizada la acción que lo genera.	Reversibilidad Baja: la consecuencia no se revierte de manera natural después de finalizada la acción que lo genera, pero puede ser revertido en algunos aspectos y de manera transitoria, mediante acciones correctoras	Parcialmente reversible: la consecuencia no se revierte de manera natural después de finalizada la acción que lo genera, pero puede ser revertido al menos parcialmente, mediante acciones correctoras.	Potencialmente Reversible: la consecuencia no se revierte de manera natural después de finalizada la acción que lo genera, pero puede ser revertido en algunos aspectos específicos, mediante acciones correctoras.	Irreversible: la consecuencia no se revierte en forma natural al finalizar la acción que lo genera y tampoco puede ser revertido mediante acciones correctoras.



		Rango				
		MUY BAJO (1)	BAJO (2)	MEDIO (3)	ALTO (4)	MUY ALTO (5)
	Intensidad (I)	Muy Bajo: grado de alteración mínima en que el componente ambiental se mantiene en su línea base.	Bajo: grado de alteración en que el componente ambiental se modifica de baja forma en su línea base.	Medio: grado de alteración moderado que implica cambios parciales en la línea base del componente.	Alto: grado de alteración mayor que implica una eventual eliminación del componente ambiental o un cambio relevante de su línea base.	Muy Alto: grado de alteración mayor que implica la eliminación del componente ambiental o el cambio total de su línea base.
	Relevancia Ambiental (Rel) *	El componente ambiental está abundantemente representado y/o no posee restricciones que condicionan su intervención.	-	El componente ambiental posee una representatividad aceptable y/o no posee restricciones que condicionan su intervención.	-	El componente ambiental tiene escasa representatividad o tiene restricciones que condicionan su intervención.

* Notas sobre la variable Relevancia Ambiental (Rel):



Anexo 6. Evaluación de los factores técnicos de la presa de colas

Valorización /factores	0	0,25	0,5	0.75	1	VALOR DE SELECCIÓN
a			Registro continuo. Desviación es muy frecuente (>a 4 por año)			0,5



b				Registro continuo. Desviaciones muy frecuentes (> a 4 por año).			0,5
c						Desviaciones constantes Por más de un año. Registro solamente esporádico con desviaciones. No existe control o monitoreo.	1



d					Registro esporádico Desviaciones extensivas (> a 4 por año y afectan todo el muro). Distribución adecuada.		0,75
e			Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año y concentradas en un sector)				0,25



f			Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año).			.	0,25
g			-	-	-	Evento registrado en los últimos 5 años.	1
		Ningún evento registrado por año.	-	-	-		0



i	.	Registro continuo. Desviaciones frecuentes (1 a 4 por año y concentradas en un sector).				0,25
---	---	---	--	--	--	------

Anexo 7. Plan de gestión de riesgos.

No.	Medidas de prevención, mitigación o corrección de impactos
1	Definir el cierre y post cierre de la presa de colas como un proyecto.
2	Mantener la inspección visual y el monitoreo instrumental.
3	Construir un muro perimetral al pie de la presa como barrera para desviar las colas liberadas hacia el sector este de la presa.
4	Construir un cercado perimetral en la presa de colas.
5	Recuperar las tuberías de drenaje que están obstruidas por los sedimentos



6	La Dirección de Planificación Física de Moa debe gestionar la retirada de las viviendas construidas dentro del vaso de la presa
7	Realizar un proceso de capacitación de los ciudadanos de las comunidades cercanas y los trabajadores del sector empresarial que se encuentran en riesgo de existir una liberación de las colas
8	Diseñar un Plan de Gestión de Riesgos detallado que sea controlado y supervisado por el Centro de Gestión de Riesgos Municipal
9	Realizar un sistema de difusión periódico que actúe sobre la disminución de la vulnerabilidad de las comunidades y el sector empresarial.
10	Establecer sistemas de monitoreo de las pequeñas grietas que se produzcan
11	Realizar reparaciones de taludes agrietados o con deslizamientos
12	Reconstruir los sectores colapsados de la presa de colas
13	Gestionar la reparación de la avería de la tubería del acueducto que daña la estructura del dique
14	Cambiar el área de descarga de las colas hacia otro sector
15	Realizar canalizaciones interiores para encauzar las aguas del escurrimiento.
16	Aplicación de métodos de protección vegetal, mecánico, químico y mixto.



17	Realizar perforaciones para realizar estudios geotécnicos
18	Construir muros de contención para desviar las colas hacia zonas menos vulnerables
19	Situar señales de aviso e informativas de los peligros existentes
20	Realizar simulacros de averías
21	Realizar ajustes al diseño del proyecto