



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

**INCORPORACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES EN LA EVALUACIÓN DE  
PROYECTOS MINEROS PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL  
POSTCIERRE DE FAENAS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS**

**CARLOS IVÁN GONZÁLEZ CHANDÍA**

**PROFESOR GUÍA:  
MANUEL REYES JARA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
BENJAMÍN GALDAMES CHÁVEZ  
GONZALO MONTES ATENAS**

SANTIAGO DE CHILE  
2016

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE:** Ingeniero Civil de Minas  
**POR:** Carlos Iván González Chandía  
**FECHA:** 30/08/2016  
**PROFESOR GUÍA:** Manuel Reyes Jara

## **INCORPORACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS MINEROS PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DEL POSTCIERRE DE FAENAS**

En Chile, la minería se constituye como una de las actividades económicas más invasivas para el medio ambiente, por lo que, para minimizar los impactos negativos, existe una ley que regula el cierre de faenas (Ley 20551) y un conjunto de metodologías creadas por el SERNAGEOMIN para orientar a las empresas en la elaboración de sus planes de cierre. La ley incluye una etapa de postcierre para el monitoreo y mantención de las medidas de cierre, sin embargo, no existe una metodología para la planificación y gestión del postcierre. Esto implica un problema para las empresas, ya que pueden incurrir en costos innecesarios o subvalorar el postcierre al no considerar las actividades suficientes. Por otro lado, SERNAGEOMIN, como ente fiscalizador, podría aprobar planes con fondos insuficientes para el postcierre o débil desarrollo de su planificación y gestión a perpetuidad.

Este trabajo propuso una metodología para la creación de planes de postcierre para complementar los planes de cierre. Para ello, fue necesario revisar protocolos existentes de planes de cierre de faenas mineras del SERNAGEOMIN y extranjeros, sistemas de clasificación de sitios contaminados y técnicas de evaluación de riesgos. Luego, utilizando los conceptos de evaluación y gestión de riesgos, costos y calidad en los proyectos, se estableció la información mínima para crear, planificar, organizar y gestionar las actividades del postcierre, evaluar sus costos e integrarlo a la etapa de evaluación de proyectos mineros.

El resultado de este proceso fue una propuesta metodológica que guía e informa al usuario acerca de la información necesaria para la planificación, evaluación y gestión de planes de postcierre. El proceso se inicia con un sistema de clasificación de peligros potenciales futuros de los residuos y remanentes mineros y sus medidas de cierre, a partir de los cuales se planifican las actividades de postcierre considerando aspectos medioambientales. El total del puntaje obtenido del sistema de clasificación de sitios contaminados tiene un 70% del peso en peligros potenciales que pueden prevenirse y un 30% en aspectos de mitigación de estos en cierre y postcierre, lo cual implica que el resultado depende más del establecimiento de objetivos que, antes y durante la operación, disminuyan los riesgos de potenciales impactos ambientales antes que la creación de más y mejores medidas postcierre, cuya consecuencia es un aumento en los costos y riesgos asociados a esta etapa. Además, la metodología planteada en este trabajo tiene en cuenta nueva información que en la planificación actual de los planes de cierre no se había considerado, lo cual aumenta los costos del postcierre en al menos un 50%, pero a su vez, puede disminuir la incertidumbre y el riesgo en la ejecución de esta etapa en un porcentaje similar.

Esta propuesta, constituye un importante apoyo que prioriza la investigación y remediación de futuros sitios contaminados por la minería. Plantea una mejora a la planificación y gestión del cierre al complementarlo con la propuesta metodológica del postcierre. Además, entrega la capacidad técnica y económica, para afrontar cambios o evoluciones en los planes de cierre y asimilarlos, actualizando estimaciones de costos y logrando una gestión más transparente y autosostenible de la etapa postcierre; no obstante, se recomienda proponer herramientas que midan el avance físico de esta etapa durante su ejecución, controlando costos y calidad, para hacer un buen uso de los recursos. Asimismo, se debe buscar un método para integrar la variable ambiental a la valorización del modelo de bloques minero, facilitando la cuantía del impacto ambiental y los análisis de incertidumbre y riesgo en la evaluación de proyectos.

**ABSTRACT OF THESIS SUBMITTED TO OPT TO  
THE DEGREE OF:** Mining Engineer  
**BY:** Carlos Iván González Chandía  
**DATE:** 30/08/2016  
**GUIADANCE PROFESSOR:** Manuel Reyes Jara

## **INCORPORATION OF ENVIRONMENTAL ASPECTS IN THE EVALUATION OF MINING PROJECTS FOR PLANNING AND MANAGEMENT OF POST-CLOSURE OF MINING OPERATIONS**

In Chile, mining is one of the more invasive environmental economic activities, so as to minimize the negative impacts, there is a law regulating mine closure (Law 20551) and a set of methodologies created by SERNAGEOMIN to guide companies in developing of their closure plans. The law includes a postclosure stage for monitoring and maintenance of closing measures. However, there is no methodology for planning and management of postclosure. This implies a problem for companies because they can incur in unnecessary costs or underestimate the postclosure by not considering enough activities. On the other hand, SERNAGEOMIN, as auditor, could approve postclosure plans with insufficient funds or weak development planning and management in perpetuity.

This paper proposed a methodology for creating postclosure plans to complement closure plans. For that, it was necessary to review protocols of existing SERNAGEOMIN and foreign closure plans, classification systems of contaminated sites and risk assessment techniques. Then, using the concepts of assessment and risk management, cost and quality in projects, the minimum information was established to create, plan, organize and manage the activities of the postclosure, evaluate their costs and integrate it to the evaluation stage of mining projects.

The result of this process was a methodology that guides and informs the user about the information needed for planning, evaluation and management of postclosure plans. The process starts with a classification system for future potential hazards of wastes and mining remnants and closure measures, from which postclosure activities are planned considering environmental aspects. The total obtained scores of the classification system of contaminated sites has a 70% weight in potential hazards that can be prevented and 30% in aspects of mitigation of these in closure and postclosure, this means that the result depends more on the establishment of objectives that (before and during operation) reduce the risks of potential environmental impacts before creating more and better postclosure measures, because the consequence of this is an increase in the costs and risks associated with this stage. In addition, the methodology proposed in this paper takes into account new information that current planning of the closure plans had not been considered, this increases the costs of postclosure by at least 50%, but in turn, may decrease uncertainty and risk in the implementing of this stage by a similar percentage.

This proposal is an important support for project planning that prioritizes the investigation and remediation of future contaminated mining sites. There is an improvement in the planning and management of the closure to complement it with the methodology of postclosure. This proposal also integrates the technical and economic capacity to deal with changes or evolutions in the closure plans and assimilate them, updating cost estimates and achieving a more transparent and self-sustainable management of the postclosure. However, it is recommended to propose tools that measure the physical progress of the postclosure stage during its execution, by controlling costs and quality to make good use of the resources. Also, it is recommended to find a method to integrate the environmental variable quantitatively to the block in a mining block model valuation to facilitate the calculation of the amount of environmental impact and uncertainty and risk analysis in projects evaluation.

## Agradecimientos

Quisiera agradecer a mis abuelos Carlos y Eliana, mi tío Ricardo y mi tía Carla, sus incontables muestras de apoyo, preocupación y compañía durante todos estos años hicieron posible que yo tuviese el valor para afrontar el reto universitario y cumplirlo con éxito. Siempre estaré con ustedes cuando me necesiten, así como siempre los tuve a ustedes cuando los necesité. Jamás me olvidaré quién soy ni de dónde vengo, esa es la enseñanza que siempre me han dejado y el valor con el cual enfrento día a día mi vida, mi estandarte de guerra. Quiero recordar y agradecer a mi padre y madre quienes, a pesar de encontrarse lejos, siempre tuvieron una palabra de apoyo y me ayudaron económicamente en mi vida universitaria. A mis tíos Marco y Raquel, y a mis primas Fabiola y Raquelita... simplemente excelentes en todo sentido, gracias por estar allí cuando más lo necesité, por preocuparse a tal punto que me sentía casi como un hermano de las chiquillas. A mi primo Mauricio, una persona sabia, un consejero, quien con una linda familia (Paulina y Agustín) supieron entregarme ánimos y contagiar su alegría y ganas de salir adelante.

Quiero agradecer con un profundo cariño a la familia Rojas Cifuentes, quienes por muchos años se convirtieron casi en una segunda familia para mí. Quizás con las palabras que escribo me quedo corto en comparación a todos los momentos lindos que viví con ustedes, pero en mi corazón siempre habrá un espacio para aquella gran y hermosa familia que me supo acoger. Muchas gracias por todo. Y también gracias al resto de la familia Rojas que también recuerdo con cariño y con quienes viví momentos muy divertidos y valiosos.

Agradecer a mis profesores de la comisión: Manuel, Benjamín y Gonzalo, quienes desde el primer momento me apoyaron sin dudar y ayudaron a resolver mis dudas, siempre preocupándose con la mejor disposición. También al profesor Yarmuch, quien escuchó mis inquietudes y pudo aconsejarme.

También quisiera agradecer a lo mejor de mí, a lo que he podido cultivar y conservar con el tiempo, a lo más asombroso que me ha pasado, que son mis amigos, a quienes he tenido el placer y la suerte de conocer durante mi vida en el colegio y en la universidad. En primer lugar, a Lalita, mi amiga de infancia, quien me da ánimos y energías cada vez que nos vemos. Al "Club de Caballeros": Paulina, Rocío, Thetis, Alexander, Ariel, Javier Cárcamo, Javier Villalobos, Mauricio, Sebastián, Rubén y a mi amigo de infancia Gabriel (ustedes son demasiado importantes para mí, demasiado). A mis amigos de la universidad: Andrés Jiménez (gracias por tu alegría y apoyo cada vez que nos vemos), Juan Pablo Bello, Carlos Carrasco, Felipe Barrios, Martín Valenzuela, Cristian Martínez, Fabián Manríquez, Duque, JC, James, Felipe Osses, Osvaldo, Patito y Rachid, en especial quisiera recordar a Floyd y Nadia (increíbles), Miguel (gracias por ir a verme), Pancho (mi padrino, te quiero, gracias por tu amistad), Patricio Vergara (preocupado, incondicional, motivador hasta el último momento, gracias), César (enseñanzas, consejos, apoyo y ánimos, todo eso recibo de ti cada vez que te veo, de verdad muchas gracias), Ignacio Moscoso (el amigo que debí conocer mucho tiempo antes, gracias por todas las conversaciones que hasta hoy se repiten) y finalmente a Luis (el hermano que me hubiese gustado tener, gracias a ti y a la Nathy, no tengo palabras)

Finalmente quisiera agradecer a tres mujeres que sin tener relación alguna entre ellas y sin saberlo me han entregado la fortaleza y la sabiduría para lograr lo que yo quiera. Primero a mi segunda mamá, Sylvia, quien es la persona que me enseñó a llevar una sonrisa en mi rostro y me ayudó a renacer (eres una mujer excelente y jamás te olvidaré). En segundo lugar, a mi polola Andrea, una amiga poderosa quien cada mañana y noche (sin olvidarlo y sin descansar) me da ánimos para cumplir mis metas y me recuerda que sí puedo. Y finalmente, a la mujer más importante de mi vida, mi hermana, a quien dedico todo mis triunfos, logros y esfuerzos desde el día en que nació.

## Tabla de contenido

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | INTRODUCCIÓN.....  | 1  |
| 1.1   | MOTIVACIÓN.....  | 2  |
| 1.2   | OBJETIVOS.....   | 3  |
| 1.2.1 | OBJETIVO GENERAL.....  | 3  |
| 1.2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....   | 3  |
| 1.2.3 | ALCANCES.....  | 3  |
| 2.    | MARCO TEÓRICO.....   | 4  |
| 2.1   | ETAPAS DE DESARROLLO DE UN PROYECTO MINERO.....                    | 4  |
| 2.2   | ANTECEDENTES EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS MINEROS.....            | 5  |
| 2.3   | GESTIÓN DE RIESGO Y CALIDAD EN PROYECTOS.....                      | 7  |
| 2.3.1 | GESTIÓN DE CALIDAD.....  | 10 |
| 2.3.2 | MEJORAMIENTO CONTINUO: CICLO DE DEMING.....                        | 11 |
| 2.3.3 | ANÁLISIS PEPSC Y RECURSOS DE PRODUCCIÓN.....                       | 11 |
| 2.4   | CIERRE Y POSTCIERRE DE FAENAS MINERAS.....                         | 12 |
| 2.4.1 | LEY DE CIERRE DE FAENAS MINERAS (LEY 20551).....                   | 12 |
| 2.4.2 | POSTCIERRE DE FAENAS MINERAS.....                                  | 13 |
| 2.4.3 | ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS DE LA ETAPA POSTCIERRE.....            | 16 |
| 2.4.4 | GARANTÍAS DE CIERRE Y FONDO POSTCIERRE.....                        | 19 |
| 2.5   | RESIDUOS Y REMANENTES MINEROS.....                                 | 22 |
| 2.6   | DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA BASE.....                                  | 24 |
| 2.7   | ÁREA DE INFLUENCIA DE RESIDUOS Y REMANENTES MINEROS.....           | 24 |
| 2.7.1 | DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA.....                             | 25 |
| 2.7.2 | RECEPTORES POTENCIALES UBICADOS DENTRO DEL ÁREA DE INFLUENCIA..... | 26 |
| 2.8   | SITUACIÓN DE PELIGRO DE LOS RESIDUOS Y REMANENTES MINEROS.....     | 28 |
| 2.9   | EVALUACIÓN DE RIESGOS AL CIERRE Y POSTCIERRE.....                  | 30 |
| 2.9.1 | EVALUACIÓN DE RIESGOS AL CIERRE.....                               | 30 |
| 2.9.2 | MEDICIÓN DEL NIVEL DE RIESGO BASE.....                             | 31 |
| 2.9.3 | CONTROL DE RIESGO BASE.....  | 32 |
| 2.9.4 | RIESGO RESIDUAL.....   | 32 |
| 2.9.5 | CONTROL DE RIESGO RESIDUAL.....                                    | 32 |
| 2.9.6 | ESTUDIOS Y PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS.....           | 33 |
| 2.9.7 | RESUMEN PROCESO DE EVALUACIÓN DE RIESGO.....                       | 33 |
| 3.    | DESARROLLO.....  | 34 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.1    | METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA PLANIFICACIÓN DE POSTCIERRE .....  | 34  |
| 3.2    | ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE POSTCIERRE DE FAENAS MINERAS .....   | 40  |
| 3.3    | IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES PARA EL POSTCIERRE .....  | 45  |
| 3.4    | PLAN POSTCIERRE: MEDIDAS DE MONITOREO Y MANTENCIÓN DE RIESGOS RESIDUALES .....   | 47  |
| 3.4.1  | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE ACCESOS .....  | 50  |
| 3.4.2  | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE TALUDES .....  | 50  |
| 3.4.3  | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE APERNADO DE ROCAS .....  | 51  |
| 3.4.4  | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE APERTURAS DE DRENAJE .....   | 51  |
| 3.4.5  | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE RELLENO DE RAJO .....  | 52  |
| 3.4.6  | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE CANALES DE DESVIACIÓN DE AGUAS .....   | 52  |
| 3.4.7  | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE TRANQUES DE RELAVES.....   | 53  |
| 3.4.8  | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE REVEGETACIÓN, GEOSINTÉTICOS, CUBRIMIENTO CON SUELO NATURAL, CUBIERTA Y SELLO O ENCAPSULAMIENTO ..... | 54  |
| 3.4.9  | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE SELLADO DE PIQUES, SOCAVONES Y SUBSIDENCIAS.....   | 54  |
| 3.4.10 | MONITOREO Y MANTENCIÓN DE OBRAS ESTRUCTURALES CIVILES Y OTROS.....   | 55  |
| 3.5    | PLAN ANTE EVENTOS .....  | 56  |
| 3.5.1  | ACCIDENTE/INCIDENTE .....  | 56  |
| 3.6    | REEVALUACIÓN DEL PLAN POSTCIERRE DE FAENAS MINERAS .....   | 57  |
| 3.7    | ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL POSTCIERRE .....   | 58  |
| 3.8    | APLICACIÓN AE-PC.....  | 61  |
| 4.     | EJEMPLO DE UTILIZACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA .....  | 63  |
| 4.1    | ANÁLISIS DEL TRANQUE DE RELAVES CON AE-PC .....  | 63  |
| 4.1.1  | CONTEXTO .....   | 63  |
| 4.1.2  | DESARROLLO DE PREGUNTAS.....   | 64  |
| 4.1.3  | ANÁLISIS DE PUNTAJE OBTENIDO.....  | 82  |
| 4.2    | PROPUESTA PLAN POSTCIERRE DEL ESCENARIO.....   | 83  |
| 4.2.1  | IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE CIERRE .....  | 83  |
| 4.2.2  | IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS POSTCIERRE .....   | 84  |
| 5.     | CONCLUSIONES.....  | 91  |
| 6.     | BIBLIOGRAFÍA.....  | 95  |
| 7.     | ANEXOS.....  | 98  |
| 7.1    | MEDIDAS DE CONTROL DE RIESGOS PARA LA ETAPA DE CIERRE MINERO .....   | 98  |
| 7.1.1  | CONTROL DE ACCESOS .....   | 98  |
| 7.1.2  | CONTROL DE TRANQUES O EMBALSES DE RELAVES.....   | 99  |
| 7.1.3  | CONTROL DE RAJOS ABIERTOS Y CANTERAS .....   | 102 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 7.1.4  | CONTROL DE MINAS SUBTERRÁNEAS .....  | 103 |
| 7.1.5  | CONTROL DE DEPÓSITOS MASIVOS .....   | 104 |
| 7.1.6  | CONTROL DE OBRAS ESTRUCTURALES CIVILES Y OTROS .....   | 107 |
| 7.2    | DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS APLICADAS A MEDIDAS DE CIERRE .....  | 108 |
| 7.2.1  | CONTROL DE ACCESOS .....   | 108 |
| 7.2.2  | CONTROL DE TRANQUES DE RELAVES .....   | 109 |
| 7.2.3  | CONTROL DE RAJOS ABIERTOS Y CANTERAS .....   | 110 |
| 7.2.4  | CONTROL DE MINAS SUBTERRÁNEAS .....  | 111 |
| 7.2.5  | CONTROL DE DEPÓSITOS MASIVOS .....   | 113 |
| 7.3    | ESTUDIOS Y PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS .....  | 114 |
| 7.3.1  | CONTROL DE ACCESOS .....   | 114 |
| 7.3.2  | TALUDES .....  | 114 |
| 7.3.3  | APERNAO DE ROCAS .....   | 117 |
| 7.3.4  | APERTURAS DE DRENAJE .....   | 118 |
| 7.3.5  | RELLENO DE RAJO .....  | 118 |
| 7.3.6  | CANALES DE DESVIACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL .....  | 119 |
| 7.3.7  | TRANQUES DE RELAVES .....  | 119 |
| 7.3.8  | DEPÓSITOS MASIVOS .....  | 121 |
| 7.3.9  | MINAS SUBTERRÁNEAS .....   | 122 |
| 7.3.10 | OBRAS ESTRUCTURALES CIVILES Y OTROS .....  | 123 |
| 7.3    | PREGUNTAS POR SECCIÓN AE-PC .....  | 124 |
| 7.4    | MATERIAL DE APOYO AE-PC .....  | 147 |
| 7.4.1  | FEDERAL CONTAMINATED SITES ACTION PLAN, 2008, PROPOSED HAZARD RANKING....  | 147 |
| 7.4.2  | UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1996, SOIL SCREENING<br>GUIDANCE: TECHNICAL BACKGROUND DOCUMENT ..... | 154 |
| 7.4.3  | RANGOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y PERMEABILIDAD PROPUESTOS .....  | 157 |
| 7.4.4  | POTENCIAL DE ESCORRENTÍA PROPUESTO .....   | 159 |
| 7.4.5  | CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES PROPUESTO .....  | 160 |
| 7.4.6  | ESCALA DE BEAUFORT Y MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS EN EL AIRE .....   | 161 |
| 7.4.7  | MÉTODO BGR .....   | 162 |
| 7.5    | NORMATIVA APLICABLE .....  | 163 |
| 7.6    | CONVERGENCIA DEL CÁLCULO DEL MONTO POSTCIERRE .....  | 169 |

# 1. INTRODUCCIÓN

En minería el impacto ambiental ocurre en todas las etapas de un proyecto, empezando por la exploración y terminando con el cierre de la faena. Sin embargo, la preocupación actualmente se centra en aquellos residuos y remanentes mineros resultantes de la extracción o beneficio de la actividad al finalizar la vida útil de la mina, tales como: pilas de estériles, minerales de baja ley, residuos de minerales tratados por lixiviación, relaves, escorias, minas a rajo abierto y subsidencias, entradas, piques, chimeneas y caserones de minas subterráneas. Dichos residuos y remanentes de faenas mineras cerradas, abandonadas o paralizadas representan un riesgo físico y químico para las personas y el medio ambiente

A raíz de esto, muchos textos se refieren a estos residuos y remanentes como pasivos ambientales mineros (PAM). Sin embargo en la actualidad, Chile no cuenta con una ley que regule los pasivos ambientales de la actividad minera, pero sí con una ley que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras (Ley 20551) junto a una serie de guías creadas por el SERNAGEOMIN, que proponen una metodología para las empresas para llevar a cabo los planes de cierres de faenas, para que al momento del cese de operaciones, se encuentren implementadas y creadas las medidas y condiciones de estabilidad física y química en el lugar que operó la faena. La ley estipula además que el cierre de faenas mineras forma parte de la vida de un proyecto y designa al SERNAGEOMIN como el organismo encargado de fiscalizar y aprobar los planes de cierre. Dentro de la ley se establece la existencia de una etapa de postcierre de faenas mineras en la cual se debe indicar si las medidas de cierre requerirán labores de monitoreo, control y/o mantenimiento con el fin de resguardar la vida, salud y seguridad de las personas y el medio ambiente a posteridad. Para ello, por mandato de la ley debe crearse un fondo postcierre que consiste en un aporte monetario de las empresas (sometidas a procedimiento de aplicación general del SERNAGEOMIN) que debe ser representativo de los recursos necesarios para financiar las actividades y medidas de postcierre. Dicho fondo debe concretarse antes de la entrega del certificado de cierre final y no representa una garantía (por lo tanto, no hay devolución). Sin embargo, dicho aporte libera a la empresa de la responsabilidad de ejecución de las medidas de postcierre, quedando a cargo de estas el SERNAGEOMIN o quien este designe. Aun así, la adjudicación de responsabilidades por el daño ambiental que pudiese generarse por los residuos o remanentes mineros en dicha etapa no se encuentra bien definida hasta el momento.

Actualmente no existe aún una metodología contemplada por el SERNAGEOMIN para el monitoreo y mantención de residuos y remanentes mineros en la etapa postcierre. Si bien en la literatura existe una proposición de lineamientos y bases sobre los cuales construir un programa de monitoreo y mantención, no se especifican los parámetros o aspectos físicos ni químicos en los cuales enfocarse para asegurar la estabilidad en la etapa de postcierre con el fin de evitar daños ambientales a corto, mediano y largo plazo, lo cual implica un vacío a la hora de planificar un plan de cierre que asegure el resguardo de la vida, salud y seguridad de las personas y medio ambiente. Otro problema es la capacidad de influenciar los gastos monetarios en un proyecto, la cual es menor a medida que se avanza en las etapas. En este sentido, cada vez que se completa definitivamente una etapa en minería, los esfuerzos económicos se centran en sacar adelante dicha alternativa; y en el caso del postcierre de faenas mineras, estas responden a cumplir a cualquier precio con las normativas y requerimientos mínimos ambientales para el abandono de una faena, lo cual puede llevar a aumentar los plazos y costos en la implementación del postcierre cuando la probabilidad y la severidad de las consecuencias de una falla en un residuo o remanente minero son muy altas. Existe también un punto débil en el cálculo de los costos que implica el plan de postcierre, ya que el

SERNAGEOMIN propone un cálculo bastante detallado del procedimiento para determinar el monto del fondo postcierre, sin embargo, olvida considerar las actividades de mantenimiento y, también, los costos indirectos en la planificación, es decir, el monto de la mano de obra, materiales y servicios requeridos como apoyo para la efectiva realización de la medida de postcierre, como por ejemplo los servicios de alimentación, aseo, transporte, vigilancia, mantenimiento y otros. Lo cual implica un vacío a la hora de ejecutar las medidas de postcierre y, automáticamente, generando un sobre costo debido a actividades que no fueron evaluadas y obligando a desembolsar montos que no estaban considerados. Finalmente, el SERNAGEOMIN como organismo fiscalizador y a cargo de la aprobación de planes de cierre, debe velar por crear una cultura de calidad que asegure que los objetivos se cumplan una vez se lleve a cabo el plan postcierre, teniendo en cuenta que, una vez en ejecución, ya no se puede volver atrás en la planificación a reparar detalles que se olvidaron considerar en la fiscalización. Es por esto último que existe otro problema muy importante, ya que al no existir una metodología para el postcierre publicada por el SERNAGEOMIN, existen muchas probabilidades de que haya una desinformación acerca de los antecedentes y la información mínima necesaria para evaluar el postcierre al momento de ejecutarse las auditorías por parte de empresas externas o la fiscalización e incluso la aprobación por parte del SERNAGEOMIN.

Este trabajo pretende entregar una propuesta metodológica para la planificación de postcierre dentro de la evaluación del proyecto minero en las etapas tempranas de estudios de perfil y prefactibilidad.

## 1.1 MOTIVACIÓN

El derecho a la vida de todo ser humano es resultado del asegurar su integridad física y psicológica, por lo que se requiere para ello un medio ambiente de calidad tal que permita llevar una vida digna y gozar de bienestar. En este contexto, la Constitución Política de Chile, en el capítulo III “De los derechos y deberes constitucionales”, apartado número 8º, asegura a todas las personas “El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación”, el cual es aquel que no afecta a la naturaleza y la vida de las personas ni su desarrollo. Pero, dada su definición, no es necesario que el daño se produzca, siendo suficiente que se constituya un riesgo para la salud (integridad física y psicológica) de las personas o la naturaleza; sin embargo, la constitución no asegura el derecho a vivir en un medio ambiente exento de toda contaminación, sino que asegura el derecho a vivir en un medio ambiente libre de la contaminación que sea nociva y ponga en riesgo la vida o la salud del hombre y la integridad del ecosistema en el que se ve inmersa su existencia. Por ende, hay que comprender que existen actividades que contaminan pero que no infringen el derecho “asegurado” por la Constitución. Esto ocurre cuando existe una actividad legítima que genera contaminantes que son imposibles de prevenir o eliminar por completo, aunque exista la voluntad y acciones de cuidado para eso. En este contexto, se habla de actividades o proyectos susceptibles de causar impacto ambiental, dentro de los cuales se encuentran los proyectos de desarrollo minero en cualquiera de sus fases.

La industria minera se ha desarrollado gracias a la existencia de recursos minerales en abundancia y calidad, importantes inversiones extranjeras y nacionales, así como un marco económico, político, social y jurídico estable; no obstante, la constante evolución de los procesos hacia la sustentabilidad, establece un equilibrio entre los objetivos económicos, sociales y ambientales de la sociedad, generando una problemática para futuras generaciones en la búsqueda de una satisfacción de sus necesidades, con equidad social y respeto al medio ambiente. En la actualidad, la gestión empresarial ha adoptado criterios de responsabilidad social corporativa a través de la aplicación de buenas políticas y conductas, que tienen especial consideración por

el medioambiente y la seguridad, y que aspiran a satisfacer lo que los diferentes actores involucrados esperan tanto respecto de su comportamiento, como de su contribución en la obtención de un desarrollo sostenible en el largo plazo. Esta responsabilidad social corporativa de las organizaciones conlleva un compromiso en que el objetivo empresarial de creación de riqueza se integra con la formalización de políticas y sistemas de gestión en las áreas económicas, sociales y medioambientales.

En este contexto, el postcierre de faenas mineras es una fase más en el ciclo de los proyectos, en la que pueden generarse impactos negativos de los cuales la empresa debe hacerse cargo junto con los costos que ellos demande. Por lo anterior, surge la importancia de una metodología que regule el postcierre y que responda a la necesidad de considerar la etapa en la planificación e internalizar sus costos por parte de las empresas, de modo que sus residuos y remanentes no afecten a la población y al medio ambiente una vez finalizadas las operaciones, y contribuir al desarrollo sustentable del país, permitiendo planificar las actividades futuras de comunidades que se desarrollan en torno a la minería, abordar como una obligación el control, monitoreo y mantención de residuos y remanentes mineros, y adjudicar responsabilidades por daño ambiental generado.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Entregar una propuesta metodológica para la planificación del postcierre de faenas mineras dentro de la evaluación de proyectos mineros para complementar los planes de cierre.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar una metodología de catastro, análisis y clasificación de residuos y remanentes mineros según su nivel de peligro para el postcierre de faenas.
- Proponer una metodología para planificar actividades de monitoreo y mantención de las medidas de cierre y de aspectos físicos de residuos y remanentes mineros para el postcierre de faenas.
- Analizar la factibilidad de integrar la propuesta de planificación de postcierre a los estudios de perfil, prefactibilidad y factibilidad de proyectos mineros

### 1.2.3 ALCANCES

- La metodología de catastro, análisis y clasificación de residuos y remanentes mineros será solo una herramienta de detección de peligros ambientales, por lo tanto, no considera factores específicos como los de naturaleza tecnológica, socio-económico, político o legal.
- La aplicación de la metodología se centrará en los peligros físicos y no en los químicos, por lo que las actividades de postcierre se centrarán en aspectos que prevengan la ocurrencia de fallas como consecuencia directa de inestabilidad física.
- La metodología no está dirigida a faenas con producción menor a las 5,000 toneladas mensuales
- No se calculará el valor presente neto de un proyecto, ya que los gastos correspondientes a cierre y postcierre de faenas mineras no se aplican a la inversión inicial para la puesta en marcha de la construcción de un proyecto.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ETAPAS DE DESARROLLO DE UN PROYECTO MINERO

Para la definición de este trabajo, es importante localizar el punto de intervención de este dentro de la vida de una mina. A continuación, se presenta en la figura 1 las etapas de un proyecto minero:

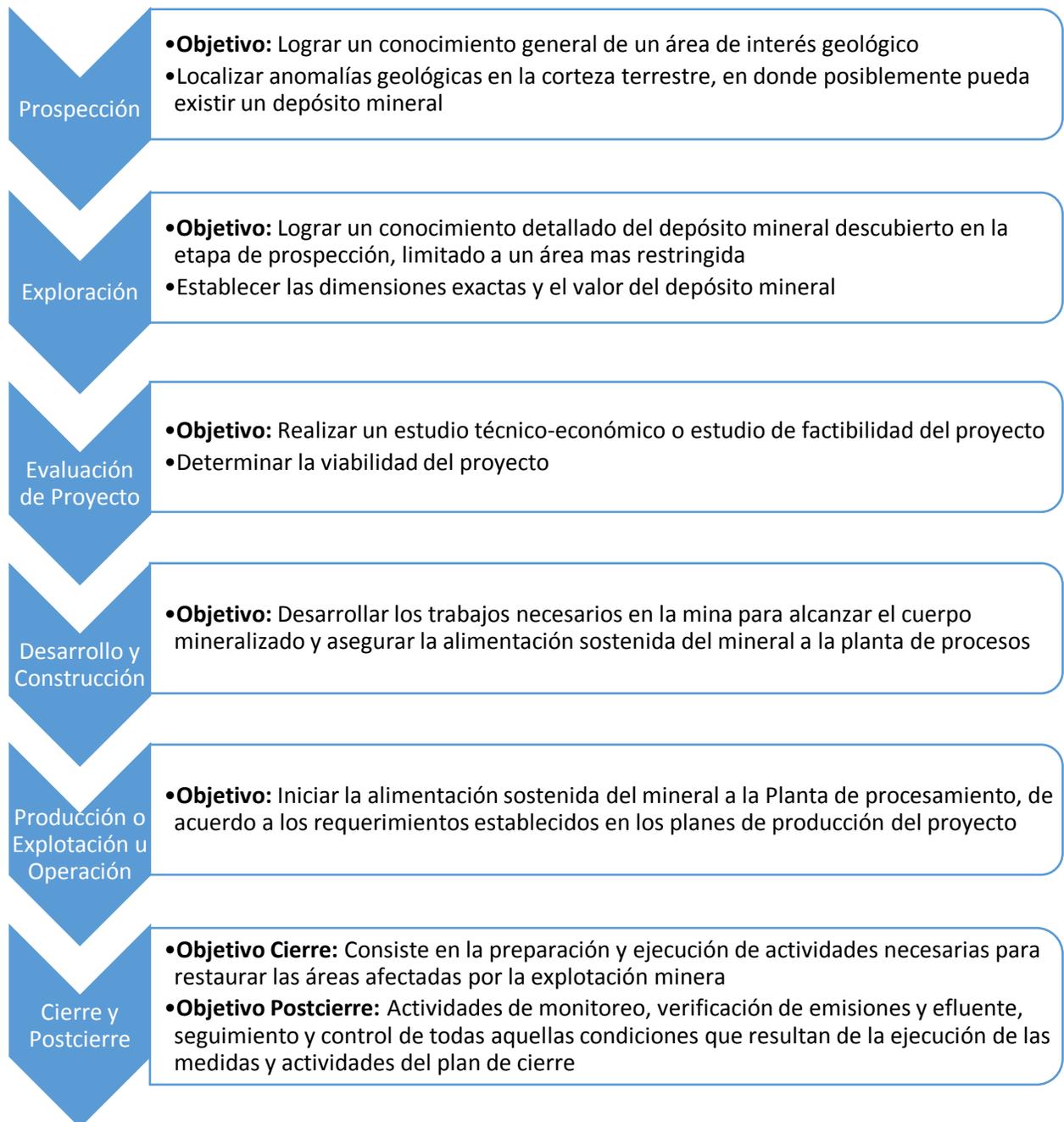


Figura 1: Etapas de un proyecto minero

## 2.2 ANTECEDENTES EN LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS MINEROS

Dentro de la etapa de evaluación de proyecto se pueden distinguir las siguientes etapas:

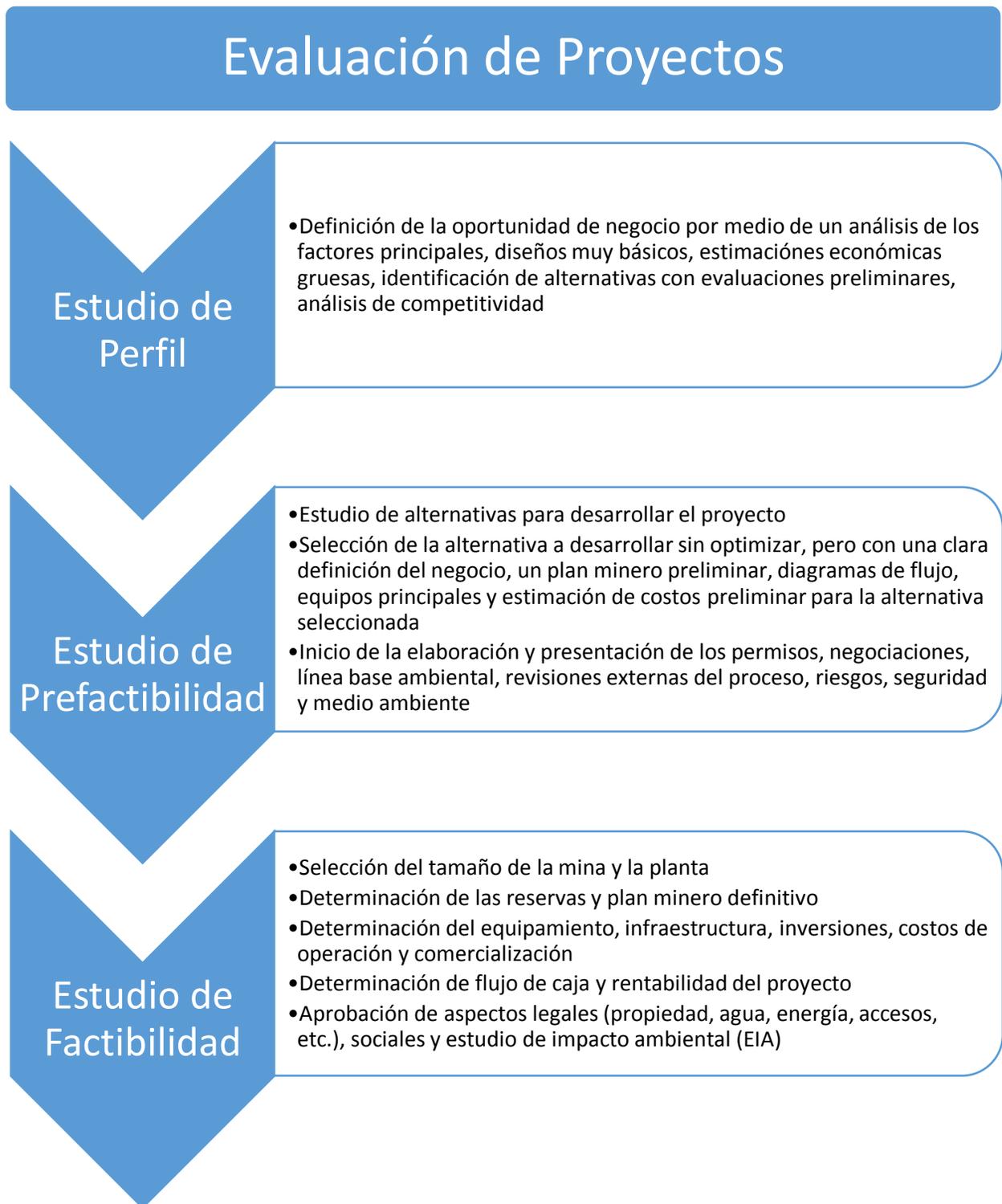


Figura 2: Etapas de evaluación de proyectos

La empresa tomará la decisión de invertir en el proyecto minero solo si el estudio de factibilidad es positivo, para lo cual se debe cumplir como mínimo:

1. Las condiciones políticas e impositivas del país estén claras
2. El resultado económico del estudio de factibilidad sea atractivo bajo diferentes escenarios de precios de los metales contenidos
3. Tiene aprobado el Estudio de Impacto Ambiental
4. Tiene saneada legalmente las propiedades mineras y superficiales

Cabe destacar, que los proyectos pueden fracasar si no se cumplen algunos de los puntos anteriormente enlistados. Sin embargo, puede ocurrir que se apruebe la etapa de factibilidad y aun así fracase el proyecto debido a:

1. Sobre costo (se excede su presupuesto en más de 25%)
2. Retraso en la construcción o puesta en marcha de la operación (3 meses de atraso)
3. No alcanza sus objetivos producción, costos de operación, etc. (se demora más de 1 año en alcanzar el 85% de su capacidad de diseño)
4. Accidentes a personas o bienes

En el ámbito de la industria química y metalúrgica, Morrow (1994) reportó que sólo el 18% de más de 1,000 proyectos muestreados cumplieron con los 3 primeros criterios anteriores.

Según *"The Business Roundtable Construction Committee"* y el *"Knowledge, technology and profit. C. Twigge-Molecey COPPER 2003"*, las causas más comunes de falla en los proyectos se deben en un 70% a un débil desarrollo en fases, cambios de última hora e ignorar información clave. También el informe *"An Assessment of The national Institute of Standards and Technology Building and Fire Research laboratory"* (2010) expuso un gráfico que evidenciaba la posibilidad de influencia sobre costos, programas y diseño versus el nivel de gastos en las distintas etapas de un proyecto, el cual se muestra a continuación:

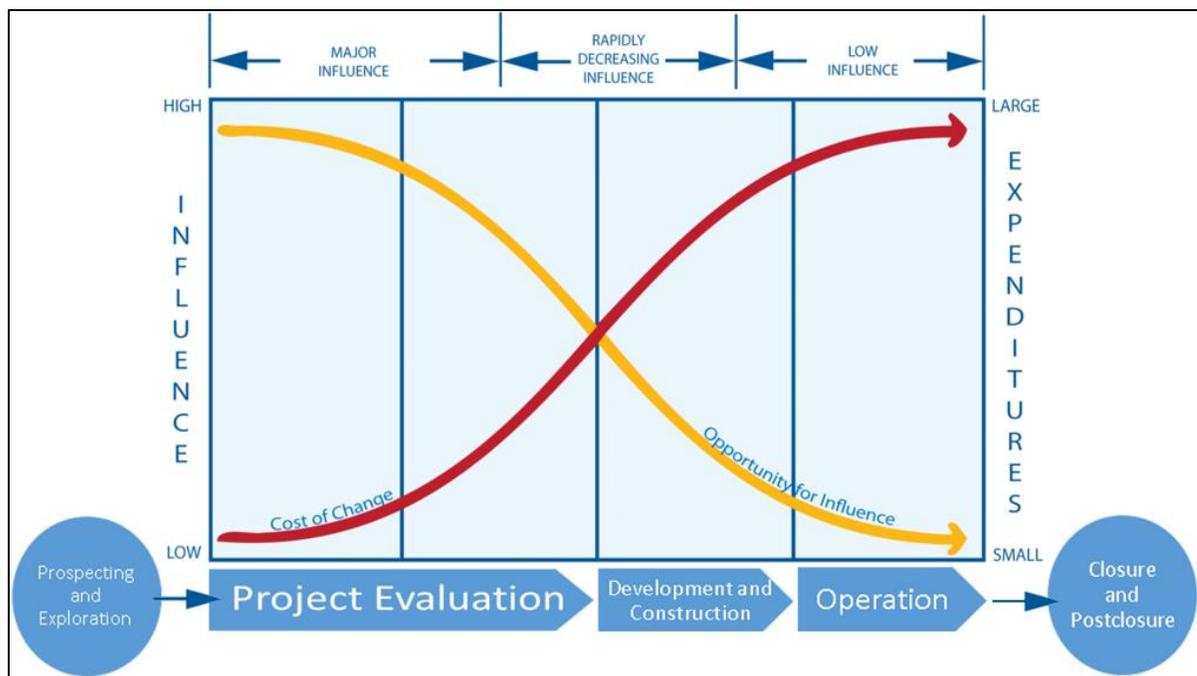


Figura 3: Influencia en los costos en las distintas etapas de un Proyecto minero

## 2.3 GESTIÓN DE RIESGO Y CALIDAD EN PROYECTOS

La gestión de proyectos es la disciplina que busca planear, organizar, asegurar y coordinar recursos y personas para cumplir con los objetivos y criterios de éxito en los proyectos. Los procesos fundamentales de la gestión de proyectos son la planificación, el seguimiento y el control.

Sobre la planificación del proyecto, Kerzner (1995) explica que "si no se planifica, aumenta la incertidumbre durante la ejecución y se producen cambios o modificaciones no previstas inicialmente que producen retrasos, sobrecostos, falta de motivación y desconcierto", es decir, "planificar es tomar decisiones sobre el porvenir". Para Kerzner, las cuatro razones básicas para planificar son:

1. Eliminar o reducir la incertidumbre.
2. Mejorar la eficiencia de la operación.
3. Obtener una mejor comprensión de los objetivos.
4. Dar unas bases para el seguimiento y control del trabajo.

El Proceso de Planificación consta de las siguientes operaciones:

1. Especificar los objetivos
2. Estructurar la planificación en actividades y tareas
3. Establecer una prioridades, secuencia y dependencia entre tareas
4. Estimar la duración de las tareas
5. Definir los recursos disponibles
6. Definir el presupuesto admisible

Al hablar de seguimiento y control, lo que se hace es comparar la planificación inicial con la ejecución real, es decir, con el cumplimiento del plan de trabajo y el presupuesto. En todo proyecto existen riesgos más o menos graves, aparecen problemas, y por esta razón, aunque no se puede prever todos los imprevistos posibles, si es necesario tener un plan de contingencia. Esto va a suponer la realización de cambios y probablemente un nuevo ciclo de planificación y ajuste.

La gestión de los riesgos es una parte integral de la dirección del proyecto, siendo un elemento clave en el proceso de toma de decisiones. Cualquier empresa que vaya a comenzar un nuevo proyecto se enfrenta al reto de invertir dinero en personal, equipamiento e instalaciones, formación, suministros y gastos financieros. Pero el mejor modo de evitar el fracaso del proyecto, que en ocasiones puede llegar a originar la ruina de la organización, es la utilización de ciertas herramientas que permiten gestionar los riesgos y tomar decisiones, en forma eficaz y eficiente, sobre lo que podría suceder a futuro para proteger los objetivos del proyecto.

Como parte de la gestión del riesgo, es preciso definir una política para mantenerlos inherentes dentro de límites definidos y aceptados. Esta política debe estar de acuerdo con la política de riesgos de la organización, de manera que la identificación y el tratamiento de riesgos sea consistente y homogéneo en todos los ámbitos.

El riesgo en los proyectos se define como un evento probable que, si se produce, tendría impacto positivo o negativo sobre los objetivos del proyecto: plazo, costo, alcance y calidad. El primer paso implica siempre un proceso de identificación de los riesgos que pueden afectar al proyecto y documentar sus características.

El proceso debe ser iterativo, con el fin de detectar nuevos riesgos durante todo el ciclo de vida del proyecto y, una vez identificados, deben ser registrados según la siguiente pauta:

1. Lista de Riesgos identificados
2. Causas de los riesgos
3. Lista de posibles respuestas
4. Categorías cualitativas de riesgos actualizadas

El impacto de cada riesgo debe ser evaluado por separado para cada objetivo del proyecto (costo, plazo y alcance / calidad), sin embargo, el análisis cualitativo de cada uno requiere datos objetivos y sin sesgos para que sea creíble. Es necesario priorizar los riesgos, con el fin de organizar y enfocar los esfuerzos en aquellos que puedan afectar negativamente en mayor magnitud al proyecto. Una vez hecho lo anterior, se debe proceder a su tratamiento, seleccionando para cada uno, aquella estrategia de respuesta que tenga mayores posibilidades de éxito, incluyendo el desarrollo de un plan de contingencia que será ejecutado si el riesgo ocurre.

1. Eliminación o evitación: Consiste en eliminar la amenaza eliminando la causa que puede provocarla.
2. Mitigación: Busca reducir la probabilidad o las consecuencias de sucesos adversos a un límite aceptable antes del momento de activación. Es importante que los costos de mitigación sean inferiores a la probabilidad del riesgo y sus consecuencias.
3. Transferencia: La transferencia del riesgo busca trasladar las consecuencias de un riesgo a una tercera parte junto con la responsabilidad de la respuesta
4. Aceptación: Esta estrategia se utiliza cuando se decide no actuar contra el riesgo antes de su activación. La aceptación puede ser activa o pasiva.

Para cada riesgo se deberá nombrar a un responsable de implementar la estrategia elegida según un plan predefinido. No obstante, como consecuencia de esta implementación, pueden aparecer riesgos residuales y secundarios. Estos últimos, deben ser gestionados de igual manera que los primarios, planificando sus respuestas.

En la minería, los objetivos de la gestión de riesgos y calidad implican una planificación de respuestas que reducen progresivamente las incógnitas e incertidumbre; así, mientras más temprano se planifiquen y ejecuten las medidas de cierre y postcierre, mayor es el potencial para reducir el riesgo e incertidumbre, lo que se traduce en una reducción del impacto ambiental y costos finales. A continuación, la figura 4 refleja el nivel de riesgo e incertidumbre a través de las etapas de un proyecto minero en el cual se comparan dos curvas, una roja que representa una mala práctica en la planificación del cierre y postcierre, y una verde que representa las buenas prácticas. La diferencia fundamental radica en la temprana planificación del cierre y postcierre durante la exploración, prefactibilidad y factibilidad.

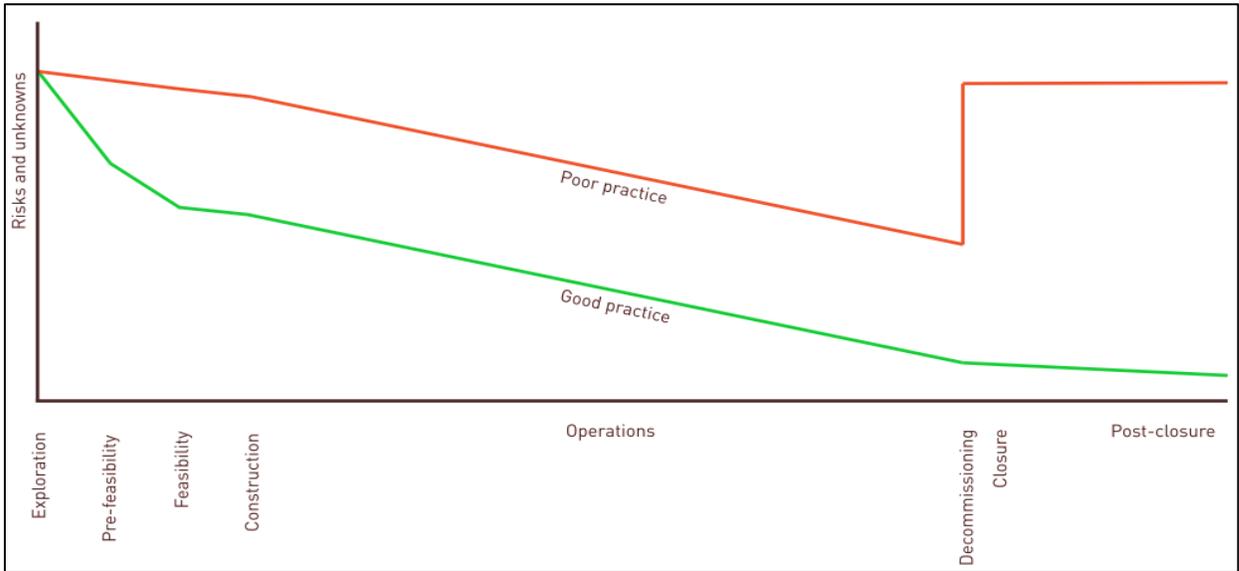


Figura 4: Evolución del riesgo e incertidumbre en la vida de un proyecto minero

En los casos en que el resultado económico del postcierre no es alcanzable, se debe tomar una decisión en conjunto con las autoridades y otras partes interesadas para obtener el máximo beneficio y transformación del capital natural en otras formas de capital (humano, social o financiero) y gestionar para reducir al mínimo todos los impactos negativos. Por otro lado, se debe garantizar durante la vida útil de la mina la reducción al mínimo la dependencia social a la actividad minera, a fin de disminuir las repercusiones socioeconómicas inevitables que se generarán al cierre.

Por otro lado, Chile necesita desarrollar y fortalecer instrumentos de gestión ambiental, que contribuyan a reducir la incertidumbre hacia el inversionista y mejorar la sustentabilidad de los proyectos, tales como normas de emisión y calidad, la Evaluación Ambiental Estratégica, los planes de manejo, planes reguladores y de ordenamiento territorial, y la definición de políticas ambientales y sectoriales que determinen el marco en el cual los proyectos se pueden desarrollar. Esto evitaría el desgaste de los inversionistas tratando de encontrar lugares donde emplazar proyectos y permitiría al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) operar con mayor objetividad y precisión. Tenemos, por ejemplo, la situación en AngloAmerican descrita por Daniele Barberis el 2016 en su blog “Rolling out the Minimum Permitting Requirements”, la cual se puede visualizar en la figura 5.



Figura 5: Comparación de número de permisos para poner en marcha un proyecto minero

### 2.3.1 GESTIÓN DE CALIDAD

Según Dávila (2004):

“La gestión de la calidad es un proceso sistémico de gestión liderado por la dirección superior de la organización, centrado en la calidad, basado en la participación de todos sus miembros, que tienen como objetivo el éxito a largo plazo, que utiliza el método científico para mejorar continuamente el desempeño de los procesos de la organización, con el objeto de alcanzar y en lo posible exceder permanentemente las expectativas de los clientes, para el beneficio de todos los miembros de la organización y de la sociedad”

“La estructura de la organización requiere de un conjunto de sistemas de gestión. Estos últimos pueden definirse como la estructura organizacional, las políticas, los objetivos, las responsabilidades, los procedimientos y los recursos necesarios para responder a los distintos requerimientos dentro de la organización. Siendo la satisfacción al cliente un propósito clave de toda organización, entonces ésta debe contar con un sistema de gestión de la calidad que tenga la capacidad de lograr dicho propósito consistentemente”

La implementación de un sistema de gestión consiste en identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, y que contribuyen a la eficacia y eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos.

Según Dávila (2004), un enfoque para desarrollar e implementar un sistema de gestión de la calidad, comprende diferentes etapas:

1. Determinar las necesidades y expectativas de los clientes y de otras partes interesadas
2. Establecer la política de la calidad y los objetivos de la calidad de la organización
3. Determinar los procesos y las responsabilidades necesarias para lograr los objetivos de la calidad
4. Determinar y proporcionar los recursos necesarios para lograr los objetivos de la calidad
5. Establecer los métodos para medir la eficacia y eficiencia de cada proceso
6. Aplicar dichas medidas para determinar la eficacia y eficiencia de cada proceso
7. Determinar los medios para prevenir no conformidades y eliminar sus causas
8. Establecer y aplicar un proceso para el mejoramiento continuo del sistema de gestión de la calidad

Es importante también proporcionar una base para la estimación del beneficio económico y las herramientas de análisis del sistema de gestión y control de calidad, que en conjunto pueden proporcionar una metodología práctica y sencilla para la solución efectiva de problemas, la realización de mejoras y el establecimiento de controles en las operaciones del proceso y su estabilización.

### 2.3.2 MEJORAMIENTO CONTINUO: CICLO DE DEMING

El mejoramiento continuo consiste en la identificación y eliminación de todo lo que no aporta valor al producto o servicio final dentro del proceso, para proporcionar al cliente lo que requiere y garantizando siempre la seguridad de las personas.

El ciclo de Deming es uno de los aspectos más importante que se debe seguir en la realización de cualquier tipo de actividad humana que pretenda ser eficiente, tanto a nivel empresarial como individual. Se trata definir y aplicar cuatro etapas fundamentales para la realización de cualquier actividad:

1. **Planificar:** consiste en establecer los objetivos de la actividad y determinar los medios y recursos que se van a utilizar para desarrollarla.
2. **Realizar:** se trata de desarrollar y aplicar la actividad según los objetivos y medios planificados. Si es necesario, deberá formarse adecuadamente a las personas que deben hacerlo.
3. **Comprobar:** siempre, después de realizar una actividad planificada se debe verificar dos aspectos principales:
  - a. Si la actividad se ha desarrollado según los planes previstos o ha habido deficiencias, retrasos, etc.
  - b. Si los resultados son los deseados, es decir, con las actividades aplicadas, se han cumplido los objetivos.
4. **Actuar:** una vez verificados ambos aspectos, si no se han cumplido, se deben aplicar las medidas correctivas para:
  - a. Volver a recuperar las actividades de los planes previstos.
  - b. Reconducir las actividades para cumplir los objetivos.

Por otro lado, si se han conseguido los objetivos planificados, se debe capitalizar lo aprendido para que sirva de experiencia en futuros casos o para otras áreas y volver a planificar objetivos más ambiciosos.

### 2.3.3 ANÁLISIS PEPSY Y RECURSOS DE PRODUCCIÓN

La sigla PEPSY involucra los conceptos de Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes de un sistema. Es un modelo que identifica los requerimientos, productos y los agentes involucrados tanto al inicio como al final del proceso. A continuación, se describen sus conceptos:

- **Proveedores:** entidades que proveen entradas al proceso tales como materiales, información y recursos. Las entradas del proceso permiten identificar proveedores.
- **Entradas:** todos los materiales, información y soporte (tangible o intangible) que se necesita para apoyar el proceso.
- **Proceso:** son las actividades o acciones necesarias para convertir las entradas en salidas.
- **Salidas:** corresponden a los resultados tangibles de un proceso.
- **Clientes:** son las entidades o personas para quienes la salida es creada.

## 2.4 CIERRE Y POSTCIERRE DE FAENAS MINERAS

### 2.4.1 LEY DE CIERRE DE FAENAS MINERAS (LEY 20551)

Actualmente, la legislación chilena incluye dentro del ciclo de vida de una mina el cierre y postcierre de faenas, por lo tanto, ambas son relevantes para el éxito de un proyecto minero. Por consiguiente, en los estudios de impacto ambiental (EIA) de las mineras se exige la planificación de dichas etapas, por lo que la influencia de estas en el ciclo de vida de la mina comienza desde la evaluación del proyecto mismo.

Sin embargo, Chile no cuenta con una ley que regule los pasivos ambientales de la actividad minera, pero sí con una ley que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras (ley 20551) junto a una serie de guías creadas por el SERNAGEOMIN, que proponen una metodología para las empresas para llevar a cabo los planes de cierres de faenas, para que al momento del cese de operaciones, se encuentren implementadas y creadas las condiciones de estabilidad física y química en el lugar que operó la faena.

La ley 20551 en vigencia desde el 12/11/2012 tiene como fin regular el cierre de faenas e instalaciones mineras y dentro de los artículos se puede destacar:

#### ❖ **ART. 2° - OBJETO DEL PLAN DE CIERRE**

“El objeto del plan de cierre de faenas mineras es la integración y ejecución del conjunto de medidas y acciones destinadas a mitigar los efectos que se derivan del desarrollo de la industria extractiva minera, en los lugares en que ésta se realice, de forma de asegurar la estabilidad física y química de los mismos, en conformidad a la normativa ambiental aplicable...”

“...El plan de cierre de las faenas de la industria extractiva minera es parte del ciclo de su vida útil...”

“...El plan de cierre de faenas mineras debe ser ejecutado por la empresa minera, antes del término de sus operaciones, de manera tal que al cese de éstas se encuentren implementadas y creadas las condiciones de estabilidad física y química en el lugar que operó la faena...”

#### ❖ **TÍTULO II AUTORIDAD COMPETENTE, ART. 5° - AUTORIDAD COMPETENTE Y FUNCIONES**

“El servicio<sup>1</sup> es el órgano de la administración del estado encargado de revisar y aprobar sectorialmente los aspectos técnicos de los planes de cierre”, además se señala que el servicio debe:

“g) Preparar guías metodológicas para la elaboración de los proyectos de planes de cierre...”

#### ❖ **TÍTULO XIV DE LA ETAPA DE POST CIERRE, ARTÍCULO 57° - EFECTOS DEL APORTE AL FONDO**

“La entrega íntegra de los recursos y la consecuente obtención por parte de la empresa minera del certificado de cierre final a que alude esta ley liberará a la empresa minera de la responsabilidad por la implementación de las medidas de post cierre. La ejecución de las medidas de post cierre serán efectuadas con cargo al Fondo, por el Servicio o quien éste designe, de acuerdo a la ley. Ejecutadas que fueren las acciones asociadas al postcierre, el Servicio emitirá una resolución fundada que declarará el cumplimiento del mismo”

---

<sup>1</sup> SERNAGEOMIN

La ley y las medidas expuestas en las guías metodológicas del SERNAGEOMIN tienen como objetivo:

- a) Resguardar la vida, salud y seguridad de las personas y del medio ambiente.
- b) Mitigar los efectos negativos de la industria.
- c) Evitar el abandono de faenas mineras después del cese de las operaciones.
- d) Asegurar la estabilidad física y química de los lugares en que se desarrolle la actividad minera.
- e) Establecer garantías para el cierre efectivo de las faenas e instalaciones mineras.
- f) Crear un fondo postcierre para el monitoreo de faenas cerradas.

Es importante destacar el primer punto de la lista, ya que hace referencia al objetivo final de todas estas leyes y guías mencionadas hasta el momento, que es resguardar el derecho a la vida del ser humano y el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación mencionado al comienzo. Y, además, no se puede dejar pasar las consecuencias que implica el último punto de la lista. Después del cierre de una faena o instalación minera, se debe indicar si los residuos o remanentes requerirán labores de monitoreo, control y/o mantenimiento durante una etapa de postcierre con el fin de resguardar la vida, salud y seguridad de las personas y el medio ambiente. Para ello, por obligaciones de la ley, debe crearse un fondo post cierre que consiste en un aporte monetario de las empresas (sometidas a procedimiento de aplicación general) que debe ser representativo de los recursos necesarios para financiar las actividades y medidas de post cierre. Dicho fondo debe concretarse antes de la entrega del certificado de cierre final y no representa una garantía (por lo tanto, no hay devolución). Sin embargo, el aporte libera a la empresa de la responsabilidad de ejecución de las medidas de postcierre, quedando a cargo de estas el SERNAGEOMIN o quien este designe, y, además, la misma obtención del certificado de cierre, también libera a la empresa de la responsabilidad de daño ambiental generado por los residuos o remanentes mineros durante el postcierre.

## 2.4.2 POSTCIERRE DE FAENAS MINERAS

Al momento del cese de operaciones, por ley, deben encontrarse implementadas y creadas las condiciones de estabilidad física y química en el lugar que operó la faena, es decir, debe haberse ejecutado el plan de cierre. Posterior a esto, se inicia una etapa de postcierre, la cual comprende actividades de monitoreo y verificación de emisiones y efluentes y, en general, el seguimiento y control de todas aquellas condiciones que resultan de la ejecución de las medidas y actividades del plan de cierre, para garantizar en el tiempo la estabilidad física y química del lugar, así como el resguardo de la vida, salud, seguridad de las personas y medio ambiente, de acuerdo a la ley. Durante el postcierre de faenas se realizan principalmente dos tipos de actividades:

1. **Monitoreo:** Actividades diseñadas para demostrar que se han cumplido las condiciones de estabilidad de cierre de faenas.
2. **Mantenimiento:** Medidas preventivas y correctivas diseñadas para reparar o modificar medidas de cierre cuando el monitoreo demuestra que no se cumplen las condiciones de estabilidad.

Durante este período, es importante además realizar un seguimiento de componentes ambientales durante mínimo 5 años, con el fin de analizar la respuesta de las medidas de cierre en el largo plazo y evaluar la necesidad de continuar con las actividades de mantenimiento preventivo o correctivo y monitoreo. Las consecuencias de fenómenos de inestabilidad física y química pueden ser variadas y dependen del área de influencia del residuo o remanente minero:

- a) Riesgo para la seguridad y salud de la población, por la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos.
- b) Efectos adversos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.
- c) Reasentamiento de comunidades humanas o alteración de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.
- d) Efectos adversos a las poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y glaciares, así como el valor ambiental del territorio, si los residuos o remanentes están localizados en o próximo a estos.
- e) Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico.
- f) Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

En la figura 6, es posible visualizar en un diagrama la etapa de postcierre de faenas mineras dentro de la vida de una mina. Si bien, el postcierre es la última etapa, no significa que deba ser considerada o planificada al final de la vida útil de un proyecto. Actualmente, esta última etapa se considera como parte del cierre, por lo tanto, debe ser evaluada y planificada para obtención de permisos sectoriales y su aprobación por parte del SERNAGEOMIN y del SEA (Servicio de Evaluación Ambiental) antes de la construcción del proyecto. Posterior a esto, durante la operación debe ser actualizada y auditada cada 5 años por un empresa externa y fiscalizada por el SERNAGEOMIN antes de la entrega del certificado de cierre final. Hoy en día, tanto el cierre como el postcierre son evaluados y planificados en la etapa de evaluación de proyectos, lo cual puede ser visualizado en la figura 7

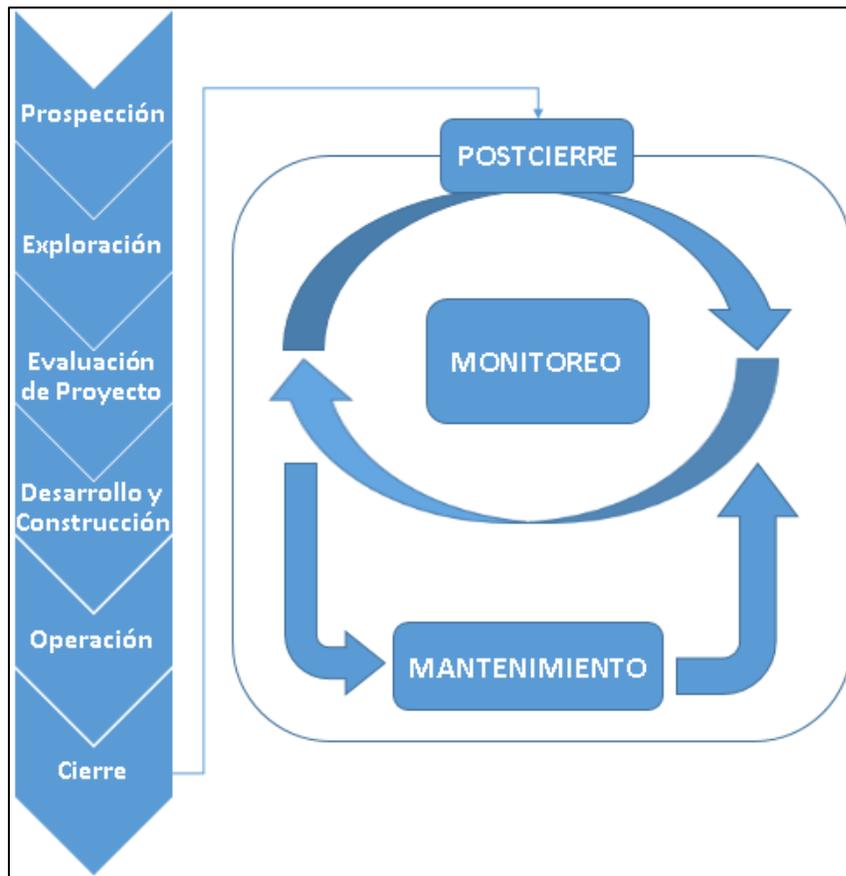


Figura 6: Etapa de postcierre de un proyecto minero

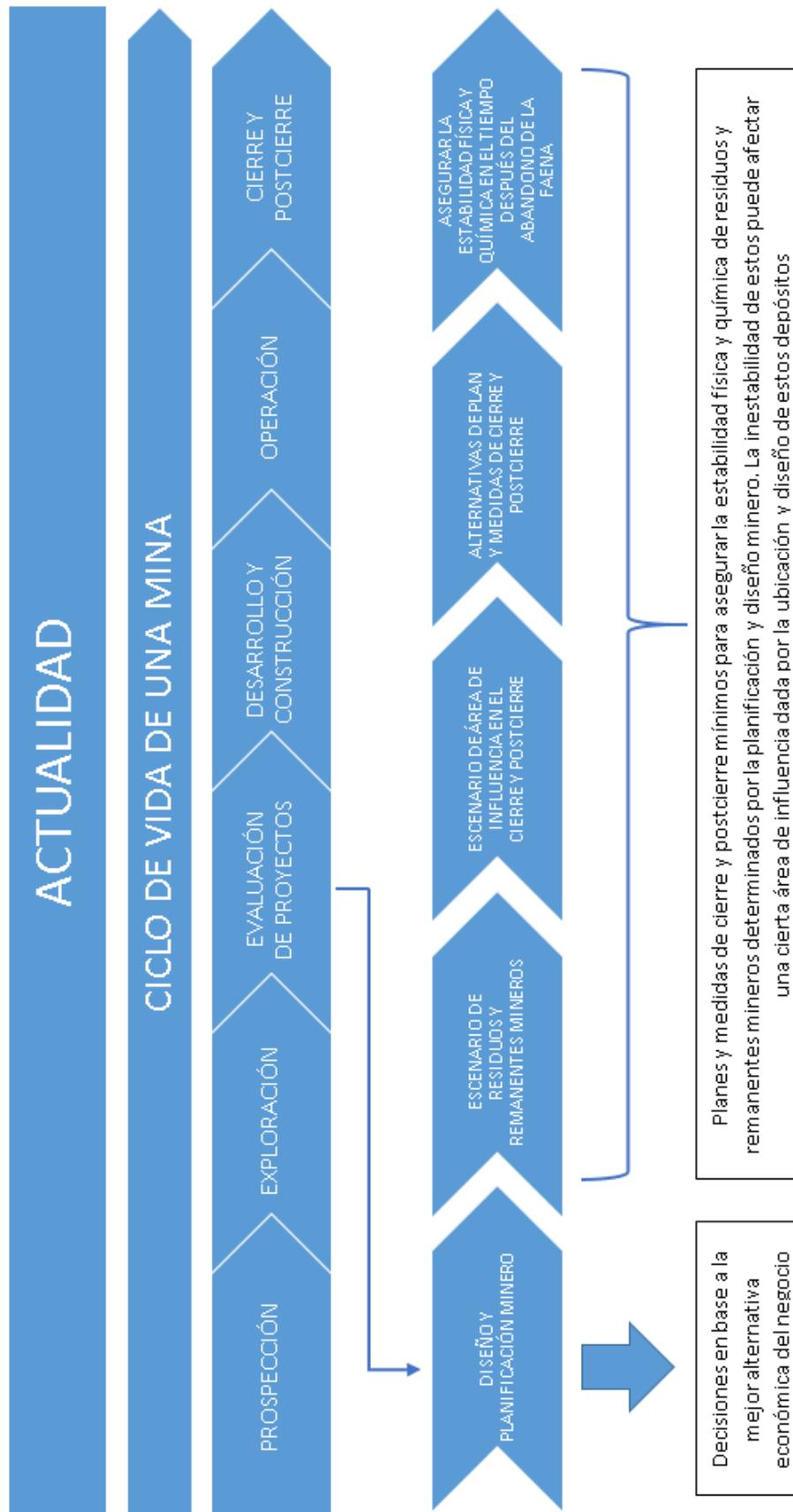


Figura 7: Proceso de evaluación de cierre y postcierre en la actualidad

### 2.4.3 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS DE LA ETAPA POSTCIERRE

1. *Australian and New Zealand Minerals and Energy Council & Minerals Council of Australia, 2000, Strategic Framework for Mine Closure.*

Este documento estratégico de cierre de minas está diseñado para proporcionar un marco general coherente para el cierre de minas en las distintas jurisdicciones australianas. No es un conjunto detallado de directrices para el cierre de minas, sino que reflexiona y desarrolla un conjunto de iniciativas y principios a aplicarse en los cierres de faenas mineras, cubriendo una amplia gama de actividades extractivas. Si bien el enfoque de este documento se centra principalmente en la mejora de las actividades de cierre de minas, no aborda el tema de las minas abandonadas; sin embargo, se reconoce la importancia de este tema, pero se consideró más importante hacer frente a las minas existentes en un intento de limitar los problemas futuros. En cuanto al tema específico de postcierre de faenas mineras, el documento solo se limita a definir los conceptos de monitoreo (actividades diseñadas para demostrar que se han cumplido las condiciones de estabilidad de cierre de faenas) y mantención (medidas preventivas y correctivas diseñadas cuando el monitoreo demuestra que no se cumplen las condiciones de estabilidad de cierre de faenas)

2. *Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, Perú, 2006, Guía para la elaboración de planes de cierre de minas.*

La guía proporciona un enfoque estandarizado para la preparación de los Planes de Cierre de Minas en Perú, de conformidad con la Ley y su correspondiente reglamento. El documento presenta tanto sus objetivos como las instrucciones sobre cómo usar las diferentes secciones que conforman la Guía. Asimismo, incluye la definición de palabras clave, el marco legal y una discusión sobre el proceso de cierre de minas y los diferentes escenarios del cierre. Conviene señalar que los lineamientos y criterios técnicos contenidos en la Guía no excluyen la aplicación de otros principios que puedan resultar necesarios incluir en el plan de cierre debido a la naturaleza y/o lugar de ubicación de la faena. En consecuencia, el contenido de cada plan de cierre de mina dependerá de la naturaleza del proyecto en particular y del lugar donde está ubicado, por lo que la tabla de contenidos debe entenderse como una estructura referencial, debiendo indicarse y fundamentarse según el caso, cuando un aspecto no sea aplicable a dicho plan de cierre. Con respecto al postcierre de faenas mineras, el documento aborda el tema de monitoreo y mantención de las distintas instalaciones mineras, proponiendo lineamientos y bases sobre los cuales construir un programa de postcierre, pero no especifica parámetros o aspectos físicos ni químicos en los cuales enfocarse para asegurar la estabilidad postcierre

3. *ICMM, 2008, Planificación del Cierre Integrado de Minas: Equipo de Herramientas.*

Este documento presenta un conjunto de herramientas para la planificación de cierre de minas destinado a ser utilizado para promover un enfoque más disciplinado para la planificación de cierre integrado y aumentar la uniformidad de las buenas prácticas en todo el sector. Los conceptos se aplican por igual a empresas grandes y pequeñas. El documento no pretende ser prescriptivo, sino que proporciona un conjunto de herramientas que pueden utilizarse para la formulación de decisiones bien pensadas para planificar el plan de cierre de una faena. Para ello, se utiliza un proceso de evaluación de riesgos y oportunidades iterativo para guiar al lector en la preparación de planes de cierre. El documento aborda temas como la descripción de los participantes de la planificación del cierre efectivo, marcos legales y estratégicos de un plan de cierre conceptual y un plan detallado y finalmente el desmantelamiento y planes

postcierre de faenas. El documento muestra ejemplos de actividades a realizar en el postcierre con respecto al agua, sin embargo, no especifica parámetros o aspectos físicos ni químicos en los cuales enfocarse para asegurar la estabilidad postcierre y tampoco es una guía a seguir, solo se enfoca en la descripción de conceptos, participantes o responsables y actividades de ejemplo.

#### 4. *CCME, 2008, National Classification System for Contaminated Sites: Guidance Document*

Este documento presenta un método de evaluación y clasificación de sitios contaminados en función de su impacto adverso actual o potencial sobre la salud humana y el medio ambiente. El método fue desarrollado para establecer un sistema racional y científicamente defendible para la evaluación comparable de sitios contaminados a través de Canadá, y constituye en la actualidad una importante herramienta de gestión para la priorización de la investigación y remediación de estos. Fue originalmente desarrollado en base a una revisión de los métodos provinciales, territoriales e internacionales existentes en el año 1992. Sin embargo, por años se trabajó en la elaboración de un sistema de puntuación que es más fácil de usar, más objetiva, y que incluye consideraciones de la magnitud y calidad de la información disponible y factores específicos. Por lo tanto, el actual documento reemplaza al de 1992, pero incorpora gran parte del sistema original, sumando cambios realizados por el Federal Contaminated Sites Action Plan Contaminated Site Classification System. Si bien este documento entrega una clasificación de sitios contaminados, no es específico para la minería, sino que es considerado para aplicación general. También se debe enfatizar que es solo una herramienta para la detección de peligros y no una evaluación ambiental propiamente tal. Por otro lado, está más allá del alcance de este sistema hacer frente a factores específicos como los de naturaleza tecnológica, socio-económico, político o legal, por lo que se suele requerir de investigaciones adicionales. Finalmente, en ninguna parte del documento se aborda el tema de postcierre; no obstante, es interesante considerar este sistema como una herramienta de evaluación de potenciales peligros para la evaluación de sitios contaminados adaptándolo para la minería y, en específico, para el postcierre.

#### 5. *SERNAGEOMIN, 2013-2014, Variadas guías metodológicas para llevar a cabo planes de cierre de faenas minera.*

El SERNAGEOMIN desde el año 2013 al 2014 ha elaborado variadas guías metodológicas para el cumplimiento de lo establecido en la Ley N° 20.551, que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras. En todas ellas, el cierre de faenas y el cálculo de sus garantías está explicado de forma detallada y concisa. Sin embargo, no ocurre lo mismo en el caso del postcierre, ya que los textos lo abordan pobremente o simplemente no lo hacen. A modo de ejemplo, el texto titulado “Guía metodológica para la presentación de planes de cierre de empresas cuya capacidad de extracción o beneficio sea mayor a 5.000 ton/mes y menor o igual a 10.000 ton/mes” (2014), en el apartado 9 titulado “Actividades de postcierre y monitoreo” habla brevemente sobre el objetivo de un plan de postcierre e indica que para la construcción de dicho plan se deben detallar las actividades a realizar, mencionado acotadamente y sin detalle algunos ejemplos para monitorear la estabilidad física y química, y de la misma forma, menciona solo tres formas de mantenimiento de accesos a la mina, camino y señalizaciones para la prevención de riesgos. Por otro lado, el texto titulado “Guía metodológica constitución y disposición de la garantía financiera que establece la ley n° 20.551 que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras” (2013), explica paso a paso, de forma detallada y con ejemplos, cómo se debe calcular la garantía financiera que expone la ley 20.551 sobre el cierre de faenas mineras. En específico, explica la forma de determinar el monto de la garantía y calcular el aporte al fondo de las medidas de postcierre de acuerdo con la valorización del monitoreo asociado y su administración. En ningún momento incluye la valorización de medidas de mantenimiento ni las actividades en caso de falla de las medidas de cierre en el largo plazo debido al desgaste de las mismas o a eventos

extremos naturales como por ejemplo los sismos de alta intensidad. Además, se aborda el tema de la “Suficiencia de la Garantía”, a través de la cual explica que esta es suficiente cuando se asegure el valor presente neto de los costos asociados a:

- La implementación de todas las medidas de cierre contempladas.
- Las medidas de seguimiento y control requeridas para la etapa de postcierre aprobadas por el SERNAGEOMIN y, los costos de administración de este plan y sus contingencias.
- Los costos de administración y sus contingencias.

Se puede destacar que nuevamente se deja fuera las medidas de mantenimiento y falla de las medidas de cierre, e incluso, el texto no menciona en ningún apartado situaciones de planes de postcierre que deban ser implementados a perpetuidad. Incluso, queda completamente en duda cómo evaluar la perpetuidad en el caso práctico al momento de calcular el monto de postcierre.

El texto titulado “Guía metodológica para la presentación de planes de cierre sometidos al procedimiento de aplicación general” (2014), aborda la etapa de postcierre de faenas, sin embargo, solo considera la información que debe incluirse para cada instalación minera después del cierre: descripción de la instalación, medidas de seguimiento y control, valorización de las medidas de seguimiento y control y cronograma de actividades postcierre, lo cual resume en un recuadro para ordenar el cálculo de la valorización final del plan:

| Elementos                         | Puntos de monitoreo | Monitoreo |      | Costo Unitario | Valor |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|------|----------------|-------|
|                                   |                     | Veces/Año | Años | (UF)           | (UF)  |
| Monitoreo de agua subterránea     |                     |           |      |                |       |
| Monitoreo de agua superficial     |                     |           |      |                |       |
| Monitoreo de aire                 |                     |           |      |                |       |
| Monitoreo de estabilidad física   |                     |           |      |                |       |
| Mantenimiento general             |                     |           |      |                |       |
| Tratamiento de aguas              |                     |           |      |                |       |
| <b>Total costos de postcierre</b> |                     |           |      |                |       |

Tabla 1: Detalle de costos postcierre (SERNAGEOMIN, 2014)

Se puede observar que este texto contradice al anterior nombrado, ya que sí se considera la valorización de las mantenciones, aunque no especifica la naturaleza de estas. Por otro lado, el recuadro está mal elaborado, ya que no coincide conceptualmente el cruce de “Mantenimiento general” con las “Veces/Año” y “Años” de monitoreo.

Todas estas guías si bien buscan orientar a las empresas en la elaboración de sus planes de cierre, no explican cómo desarrollar, planificar, gestionar y llevar a cabo un plan de postcierre, y solo se dedican a mencionar la información mínima a considerar, dejando incluso de lado conceptos claves para la evaluación económica.

## 2.4.4 GARANTÍAS DE CIERRE Y FONDO POSTCIERRE

En cuanto a las garantías, conforme a la ley y su reglamento, se definen como las “obligaciones que se contraen e instrumentos que se otorgan para asegurar el cumplimiento de las cargas financieras que derivan del plan de cierre, de acuerdo a lo establecido en la ley”. Por lo tanto, esta garantía está conformada por dos componentes. Por una parte, las obligaciones que contrae la empresa minera para asegurar el cumplimiento del plan de cierre aprobado por el SERNAGEOMIN y, por otro lado, los instrumentos reconocidos por la ley para cumplir con este objetivo. El monto de la garantía se debe determinar a partir de la estimación periódica del valor presente (“VP”) de los costos de implementación de todas las medidas de cierre y postcierre contempladas en el plan de cierre. Así, los costos de implementación de las medidas de cierre son los siguientes:

- a. Los costos de cierre de las instalaciones de la faena minera.
- b. Los costos de administración del plan de cierre en su totalidad.
- c. Las contingencias que se generen, sea que el plan de cierre se ejecute directamente por la Empresa Minera, por un tercero contratado al efecto, o por el SERNAGEOMIN cuando corresponda.
- d. La estimación periódica del valor presente de las medidas de seguimiento y control que procedan para la etapa de postcierre y su administración (MPC)
- e. Se debe descontar del monto a garantizar, aquellos valores ya entregados en garantía en virtud de lo dispuesto en el artículo 297 del Código de Aguas, sólo en aquella proporción en que se valorizó el plan de cierre respecto de la obra garantizada de conformidad al Código de Aguas (en caso de que dicha garantía no sea suficiente para cubrir la totalidad de lo estipulado para dicho cierre, se deberá enterar necesariamente la diferencia)

En consecuencia:

$$\begin{aligned} \textit{Garantía} &= \textit{VP} (\textit{Costo de Cierre Faena} + \textit{Costo de PostCierre}) \\ &+ (\textit{Costo de administración por terceros} + \textit{Contingencias}) \\ &- \textit{Garantía artículo 297} \end{aligned}$$

Como se destaca en el punto “d” del listado anterior, antes del otorgamiento del certificado de cierre final la empresa minera deberá efectuar un aporte no reembolsable al fondo postcierre, que consiste en un pago monetario que debe ser representativo de los recursos necesarios para financiar las actividades y medidas de postcierre y los gastos de protección ambiental. En consecuencia, la finalidad del fondo de postcierre es financiar las actividades determinadas para asegurar en el tiempo la estabilidad física y química del lugar en que se ha efectuado un plan de cierre, así como el resguardo de la vida, salud y seguridad de las personas, de acuerdo a la ley (el fondo no representa una garantía, por lo tanto, no hay devolución)

Para cumplir con el cálculo del fondo, se debe realizar una planificación de la etapa de postcierre, es decir, un programa y una estimación de costos de las medidas y los recursos necesarios para su ejecución. El monto de dichos recursos corresponderá al valor presente del costo total de las medidas por el plazo que el plan establezca, incluyendo los costos de administración de contratos con un tercero, y ajustes correspondientes; debe ser expresado en unidades de fomento, o el sistema de reajuste fijado por el Banco Central que sustituya dicha unidad. Además, para el cálculo del valor presente, se deben considerar los costos anuales de las medidas efectuadas a partir del año inmediatamente posterior al cierre de la faena, descontadas a la tasa del BCU de al menos 10 años, de la forma que lo muestra la siguiente fórmula:

$$MPC = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1 + BCU10)^i}$$

Ecuación 1: Monto de las medidas de postcierre



Figura 8: Cronología de inicio del postcierre para el cálculo del monto de las medidas

Definiendo:

**MPC:** Monto de las medidas de postcierre de la faena minera.

**A<sub>i</sub>:** Costo de las medidas de postcierre en el año "i".

**BCU10:** La tasa de los bonos emitidos por el Banco Central de Chile UF de al menos 10 años correspondiente a la del último día hábil del mes anterior a la presentación del plan.

**TC:** Año de cierre total de la faena minera

**TC+1:** Año siguiente a la fase de cierre a partir del cual se consideran costos anuales del postcierre.

El cálculo paso a paso se realiza de la siguiente forma:

1. Determinar los costos anuales de postcierre, expresados en unidades de fomento
2. Descontar a tasa de al menos BCU10 cada monto anual por los años que corresponda hasta el Tc.
3. Sumar todos los valores presentes de las actividades de postcierre.
4. La suma de todos los valores presente de las actividades de postcierre será el valor total del postcierre a constituir al fin de la vida útil estimada de la faena.
5. Para efectos de calcular la garantía, el valor del postcierre calculado anteriormente, deberá ser considerado como una instalación más dentro del plan de cierre, y, en consecuencia, al igual que otras instalaciones, se descontará por los años de vida útil estimada de la faena.

La empresa minera deberá descontar el MPC desde el fin hasta el inicio de la vida útil de la faena minera y, obtener con eso un valor presente para cada año (el MPC se considera como una instalación más). Además, se debe presentar el detalle de las valorizaciones de las medidas postcierre en unidades de fomento (UF). Esta valorización deberá incluir:

1. **Costos Directos:** Monto los materiales directos y la mano de obra destinada a la medida de postcierre.
2. **Costos de Administración:** Se deberá considerar que el postcierre lo realizará un tercero por cuenta del SERNAGEOMIN y deberá incluir las utilidades del tercero por la realización de este trabajo.
3. **Costos por Contingencias:** Costo asociado a la incertidumbre generada por el nivel de información existente en la valorización del Plan de Postcierre.

El resumen de lo anteriormente expuesto se debe presentar en una tabla, como se indicada a continuación:

| Ítem                                    | Valor [UF] |
|---|------------|
| Costo medidas de postcierre             |            |
| Costo de administración                 |            |
| Contingencias                           |            |
| <b>Monto de Plan de Postcierre (UF)</b> |            |

Tabla 2: Resumen de costos a considerar para el postcierre

El SERNAGEOMIN (el servicio) y la Superintendencia de Valores y Seguros (SVS) calificarán la garantía de cierre y el fondo postcierre analizando los puntos expuestos en el párrafo V “Calificación de la idoneidad y suficiencia de los instrumentos de garantía” perteneciente a la “Guía metodológica para la constitución y disposición de la garantía financiera que establece la Ley N° 20.551 que regula el cierre de faenas e instalaciones mineras” (SERNAGEOMIN, 2013)

1. **Idoneidad de la Garantía:** Se entenderá que la garantía es idónea, cuando los instrumentos que la componen puedan ser valorizados, dados en caución y/o endosados en garantía con el fin de asegurar su real ejecución y liquidación, y cumplan con las exigencias descritas en el artículo 52 de la Ley, con lo establecido en el Título X Capítulo II de su Reglamento y lo señalado en la norma de carácter general que emitirá la SVS.
2. **Suficiencia de la Garantía:** Se entenderá que la garantía es suficiente, en un momento determinado, cuando el valor de Mercado de los instrumentos asegure el valor presente de los costos de:
  - a. La implementación de todas las medidas de cierre contempladas para el período de operación de la faena hasta el término de su vida útil.
  - b. Las medidas de seguimiento y control requeridas para la etapa de post cierre aprobadas por el Servicio y, los costos de administración de este plan y sus contingencias.
  - c. Los costos de administración y sus contingencias.

El monto de la garantía no debe ser considerado dentro de la inversión del proyecto para su puesta en marcha, sino que debe pagarse conforme transcurra el tiempo bajo las siguientes reglas:

- El primer año del inicio de la construcción del proyecto debe pagarse el 20% de la garantía y después a prorrata en los años siguientes.
- Cuando la vida útil certificada (Vuc) de la faena es menor a 20 años, el resto de la garantía debe pagarse a los 2/3 de su Vuc. Pero si la Vuc es igual o excede los 20 años, el plazo máximo será de 15 años.

Finalmente, en el cierre de la faena, una vez se encuentren implementadas la totalidad de las obras, medidas y actividades comprometidas con el cierre, incluidas sus actualizaciones y se hayan implementado las obras que permitan desarrollar el programa de postcierre, el SERNAGEOMIN emitirá un certificado de cierre que liberará la garantía pagada. Sin embargo, no se otorgará dicho certificado hasta que la empresa haya materializado el aporte al fondo postcierre, de acuerdo a lo establecido en el Título XIV de la ley 20551.

La entrega de los recursos al fondo postcierre tendrá como consecuencia la notificación, por parte del SERNAGOMIN, de una resolución que aprueba la obtención del certificado de cierre final y se liberará a la empresa minera de toda responsabilidad por la implementación de las medidas de postcierre. Por lo tanto, esta etapa será efectuada con cargo al fondo por el SERNAGEOMIN (o quien éste designe) y, una vez ejecutadas las medidas, el organismo emitirá una resolución fundada que declarará el cumplimiento de la etapa.

## 2.5 RESIDUOS Y REMANENTES MINEROS

En minería la preocupación actualmente se centra en aquellos residuos y remanentes mineros resultantes de la extracción o beneficio de la actividad al finalizar la vida útil de la mina, tales como: pilas de estériles, minerales de baja ley, residuos de minerales tratados por lixiviación, relaves, escorias, minas a rajo abierto y subsidencias, entradas, piques, chimeneas y caserones de minas subterráneas. Dichos residuos y remanentes de faenas mineras cerradas, abandonadas o paralizadas representan un riesgo para las personas y el medio ambiente, relacionados con la seguridad física y química. A raíz de esto, muchos textos hablan sobre los denominados pasivos ambientales y en específico de los “Pasivos Ambientales Mineros” (PAM), y pese a no existir definición legal de estos, algunos documentos, estudios e iniciativas legales, les han descrito de las siguientes formas:

**1. Observatorio de la Deuda en la Globalización (ONG):**

“Es el conjunto de los daños ambientales, en términos de contaminación del agua, suelo, aire, deterioro de los recursos y de los ecosistemas, producidos por una empresa, durante su funcionamiento ordinario o por accidentes imprevistos, a lo largo de su historia”

**2. Ante-proyecto de ley sobre delitos penales ambientales (Propuesta de los abogados Jean P. Matus y Marcelo Castillo):**

“Aquellos residuos, tanto en los lugares en que estos se han depositado o manipulado, que, a consecuencia de una actividad humana de carácter industrial o extractiva, desarrollada por un período de tiempo, concluida o en curso, que afecten en forma perjudicial el medio ambiente y la integridad de los organismos que lo componen”

**3. Política Nacional para la gestión de sitios con presencia de contaminantes (Aprobada por Consejo Directivo de ex-Conama, agosto 2009):**

“Lugar o terreno impactado ambientalmente por una actividad histórica que ha cesado en el tiempo y sobre la cual no se ejerce un control en la actualidad”

**4. Ante-proyecto de ley sobre pasivos ambientales (Ministerio de Minería y ex-Conama):**

“Son aquellos problemas crónicos provocados en el pasado por el hombre y aún sin solución, que se han generado como producto de la contaminación, sobreexplotación y deterioro de recursos, descuido, malas prácticas de manejo o tecnologías inadecuadas. Corresponde a aquellos impactos negativos que se han acumulado por largo tiempo, cuya solución requiere una alta inversión económica de toda la sociedad aun cuando pueda ser imputado en su origen a una o más personas determinadas y que, en caso de no solucionarse oportunamente, pueden transformarse en irreversibles”

**5. Ante-proyecto de ley sobre Remediación de Pasivos Ambientales Mineros (Proyecto de Cooperación “Bases para la Remediación de Pasivos Ambientales Mineros”, ejecutado por SERNAGEOMIN con la asistencia del Instituto de Geociencias y Recursos Naturales - BGR – de Alemania):**

“Pasivo ambiental minero es la faena minera abandonada o paralizada, incluyendo sus residuos, que constituye un riesgo significativo para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente”

6. **Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas (ASGMI, 2010):**

“aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el medio ambiente”

7. **Perú, ley 28271:**

“son instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad”

De todos los significados que se pueden dar a “Pasivo Ambiental”, es posible extraer que todos se refieren a una situación de riesgo ya sea permanente o potencial tanto para las personas como el medio ambiente dentro del área de influencia del proyecto minero, por lo que, para la aplicación de este trabajo, el consenso usado para el catastro de residuos y remanentes mineros se refleja en la siguiente agrupación:

| <b>Tipo de remanente o residuo minero</b> | <b>Agrupación</b>                   |
|---|-------------------------------------|
| Edificios y estructuras de acero          | Obras estructurales civiles y otros |
| Estructuras de hormigón                   |                                     |
| Equipos industriales                      |                                     |
| Campamentos y oficinas                    |                                     |
| Líneas eléctricas de alta y medio voltaje |                                     |
| Plantas de procesamiento                  |                                     |
| Polvorines                                |                                     |
| Líneas férreas                            |                                     |
| Talleres y bodegas                        |                                     |
| Redes y estanques de agua                 |                                     |
| Caminos y puentes                         |                                     |
| Residuos Industriales Peligrosos          |                                     |
| Rajos abiertos y canteras                 | Rajos abiertos y canteras           |
| Mina subterránea y subsidencia            | Mina subterránea                    |
| Tranques o embalses de relaves            | Tranques o embalses de relaves      |
| Botaderos de lastre, estériles o desmonte | Depósitos masivos                   |
| Pilas de lixiviación y depósito de ripios |                                     |
| Caminos y acceso                          | Caminos y acceso                    |

Tabla 3: Agrupación de remanentes y residuos mineros

## 2.6 DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA BASE

En todo proyecto minero, para poder planificar de manera exitosa el cierre y postcierre, es necesario establecer una línea base medio ambiental, es decir, una descripción de la situación anterior a las intervenciones antrópicas, a partir de la cual se evalúa el impacto, positivo o negativo, de los residuos y remanentes mineros en una cierta área de influencia. Para ello, se debe realizar una descripción de los elementos del medio ambiente del área de influencia, considerando como mínimo la información recopilada en los antecedentes que a continuación se enlistan:

1. Antecedentes geológicos, geomorfológicos y sísmicos
2. Antecedentes hidrológicos, hidrogeológicos, y cantidad, calidad y usos del agua
3. Antecedentes edafológicos, cantidad y calidad del suelo
4. Antecedentes climatológicos, eólicos y calidad del aire
5. Antecedentes de la flora, fauna y niveles tróficos
6. Antecedentes visuales con valor paisajístico
7. Antecedentes de los elementos que componen el patrimonio histórico y cultural
8. Antecedentes del medio humano y socio-económico
9. Entrevistas a receptores con el fin de obtener más información y complementar los antecedentes anteriores (usos del agua, distancia de polvo visible, actividades humanas, etc.)

## 2.7 ÁREA DE INFLUENCIA DE RESIDUOS Y REMANENTES MINEROS

Según el Título I artículo 2 del decreto 40 que “Aprueba reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental”, el área de influencia es el área o espacio geográfico cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias del artículo 11 de la ley 19300, los cuales se enlistan a continuación:

1. Riesgo para la seguridad y salud de la población, por la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos.
2. Efectos adversos sobre la cantidad y calidad de recursos naturales renovables, el suelo, agua y aire.
3. Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.
4. Efectos adversos a las poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y glaciares, así como el valor ambiental del territorio, si los residuos o remanentes están localizados en o próximo a estos.
5. Alteración significativa, en magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.
6. Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

El área de influencia (AI) de la faena se debe definir y justificar en base a cada elemento afectado del medio ambiente (Línea Base), tomando en consideración los impactos ambientales potenciales sobre ellos y las áreas en que puedan generarse contingencias sobre la población y/o el medio ambiente, debido a fenómenos naturales.

Primordialmente se debe contar con los siguientes antecedentes de los residuos y remanentes mineros:

1. Identificación de la faena (coordenadas, nombre del lugar, croquis de ubicación, planos, mapas a escala, imágenes satelitales, fotografías aéreas y del interior de la faena)
2. Tipo de mineral extraído y procesos productivos empleados
3. Tamaño (área y volumen de ocupación), altitud (msnm), ubicación (latitud/longitud y UTM) y características de cada remanente minero en la faena, apoyados con fotografías
4. Presencia de residuos peligrosos
5. Accesibilidad a la faena, mapas de caminos habilitados y cerrados
6. Características y distancia a la faena de: comunidades, actividades económicas, flora, fauna, ecosistemas y recursos hídricos subterráneos y superficiales.

### 2.7.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

El área de influencia se delimita de manera preliminar, trazando contornos aproximados sobre el “Mapa Base de la Evaluación de Riesgos” (MBER) de los remanentes mineros y sus alrededores precisando sus límites. Luego, se deben analizar caso a caso los siguientes puntos:

1. La totalidad del área ocupada por la faena.
2. Las áreas que pueden verse afectadas, directa o indirectamente, por eventos accidentales físicos asociados a seguridad (tales como la liberación violenta de relaves)
3. Aguas superficiales que pueden ser afectadas por colapsos masivos, escombros, erosión, drenajes o escurrimientos que contienen contaminantes procedentes de la faena. La extensión del área afectada está determinada por el punto en que se inician los efectos adversos hasta el punto en que no se presentarán efectos por la faena en evaluación, por ejemplo: lugar donde ya no se detecta contaminación, registrada mediante la medición del pH, lugar donde ya no se observa turbidez (apreciable a simple vista) o presencia de sales (registrada mediante un conductivímetro) atribuibles a un remanente minero, lugar donde se aprecia un incremento en la biodiversidad (vuelve a aparecer vegetación en las riberas). Se debe dejar detallado las distancias desde las faenas a las redes de drenaje y distintos receptores, la forma y tamaño de cuencas o subcuencas con las que se podrá estimar los caudales que pueden atravesar las distintas instalaciones y la dirección de los escurrimientos superficiales.
4. Los suelos que se ubican viento abajo de obras o instalaciones que emiten polvo con sustancias contaminantes, tales como tranques de relaves y depósitos masivos de residuos peligrosos con material fino en la superficie. La distancia máxima a considerar se determinará en función de observaciones de terreno y de entrevistas a los habitantes del sector. También se incluyen los suelos que serían afectados por una eventual liberación total de un residuo dispuesto a granel en un depósito, como puede ser un tranque de relaves.
5. Los sectores habitacionales que consuman de manera habitual productos agrícolas, ganaderos, pescados o cultivos acuícolas, producidos en las áreas indicadas en los puntos anteriores. Es decir, aquellos sectores habitados cuyo abastecimiento regular de alimentos incluye algún producto procedente de las áreas afectadas por la faena.

Finalmente, el área de influencia (AI) queda definida como la máxima superficie que, con ocasión de una labor minera, pueda ser alterada debido a impactos ambientales potenciales. Por lo tanto, se deberá dibujar

en el mapa las zonas de ocupación directa de la faena y sus áreas de influencia. En este contexto, si el AI queda muy reducido, se podría estar subestimando la severidad de los riesgos al no considerar todos los receptores que podrían verse afectados en el impacto ambiental. Mientras que, si el AI queda muy amplio, se podría estar sobrestimando la severidad de los riesgos, incrementándose sin razón los receptores potencialmente afectados por el impacto ambiental.

## 2.7.2 RECEPTORES POTENCIALES UBICADOS DENTRO DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Se debe trabajar con tres tipos de receptores: personas, medio ambiente y actividades económicas, y cada una de ellas debe ser caracterizada.

1. **Personas:** Son quienes residen dentro del AI o ingresan a ésta en calidad de visitante, y están expuestos a los riesgos tanto por seguridad de las instalaciones como por contaminación. Se incluye a las personas que fuera del área de influencia, están expuestas a riesgos por seguridad o contaminación, por ejemplo, si ha captaciones de agua potable en el AI que sirven a una población fuera de ella, estas personas deben considerarse receptores potencialmente afectados por la faena.
  - a. **Caracterización de residentes:** Nombre de la localidad, etnia, tipo de asentamiento (Ciudad, pueblo, aldea o caserío), coordenadas, distancia a la faena (desde el centro del asentamiento y desde el borde más cercano del asentamiento a la faena), número, frecuencia estimada y forma de ingresos (auto o a pie por ejemplo) de residentes a las faenas y su motivación, edad de los que ingresan, captaciones de agua o pozos de uso humano (nombre de bocatoma y ubicación geográfica), existencia y ubicación de napas freáticas, manantiales o vertientes, localizadas aguas abajo de las faenas mineras.
  - b. **Caracterización de visitantes:** Número y frecuencia estimada de los ingresos de visitantes a la faena y su motivación, asentamiento de origen y edad.  
Es importante que esta información sea corroborada con pobladores locales, particularmente en lo que se refiere a la frecuencia y número de visitantes de la faena y a la existencia de captaciones de agua dentro del AI.
2. **Medio ambiente:** Está compuesto por elementos naturales y culturales, cuya presencia dentro del área de influencia debe ser registrada.
  - a. **Vida acuática:** Todo curso o cuerpo de agua tiene vida que actuará como receptor. Dentro de los cuerpos de agua considerados se encuentran los ríos, esteros, lagos, lagunas, salares, embalses y el borde costero. No se consideran las quebradas con cursos de agua estacionales. Se debe estimar la extensión superficial y la longitud de los cuerpos de agua que estén presentes dentro del AI y caracterizar especies, especialmente las relevantes que puedan ser afectadas por los escenarios de peligro de los remanentes y residuos mineros
  - b. **Vida silvestre terrestre:** Todo territorio tiene vegetación natural y fauna silvestre terrestre que actuará como receptor. Se debe estimar la extensión superficial de los terrenos contenidos dentro del AI y caracterizar la fauna y flora terrestre presente en el AI y en los alrededores. Determinar si existe presencia de especies de flora o fauna catalogadas en protección (En Peligro de Extinción, Raras, Vulnerables, Insuficientemente Conocidas, etc.) La información a registrar comprende lo siguiente: Superficie [m<sup>2</sup>] con vida silvestre terrestre dentro del AI, tipos de ecosistemas

representados, estimación de abundancia, pertenencia de las especies a alguna categoría de protección y fuente de información consultada.

- c. **Áreas protegidas o sensibles:** Se debe identificar la proximidad o inclusión de áreas protegidas o sensibles en el AI de la faena. La información que debe reunirse comprende: Superficie [m<sup>2</sup>], nombre del área protegida o sensible, categoría de protección que posee, valor natural o cultural, relevancia a escala local, regional y nacional, presencia de especies endémicas o catalogadas en alguna categoría de protección (En Peligro de Extinción, Raras, Vulnerables, Insuficientemente Conocidas, etc.), componente del medio natural que puede ser afectado por seguridad o por contaminación procedente de residuos o remanentes mineros y la fuente de información consultada.
  - d. **Áreas protegidas:** Determinar si existen espacios protegidos próximos o dentro del AI, debido a su valor ambiental o cultural. Si existen espacios protegidos próximos a la faena, deben ser ubicados espacialmente, medir la distancia a la faena o el área dentro de ella
  - e. **Áreas sensibles:** son los ecosistemas naturales o elementos del patrimonio cultural (iglesias, cementerios, etc.) que merecen atención especial.
3. **Actividades económicas:** Los residuos y remanentes mineros pueden presentar riesgos para actividades económicas como la agricultura, ganadería, pesca y acuicultura. En el caso en que existan zonas utilizadas económicamente dentro del AI, éstas deben ser incluidas en la evaluación de riesgos. Se debe estimar el área que se encuentra utilizada y que, por tanto, podría verse afectada por los residuos y remanentes mineros.
- a. **Agricultura:** Información necesaria a determinar es el tipo de producción, superficie, ubicación con respecto al AI y distancia a la faena, lugar y forma de extracción del agua que se utiliza para el regadío, identificación del nivel de producción (Familiar < 10 ha, Local 10-100 ha, Regional > 100 ha) y número de personas que trabajan en las labores agrícolas y su distribución a lo largo del año.
  - b. **Ganadería:** Información necesaria a determinar es el tipo de producción, la superficie de la actividad, su ubicación con respecto al área de estudio y la distancia que existe hasta la faena, lugar y forma de extracción del agua que se utiliza para la bebida de animales o lugar donde éstos toman directamente el agua, identificación del nivel de producción (Familiar < 10 ha, Local 10-100 ha, Regional > 100 ha) y número de personas que trabajan en las labores ganaderas y su distribución a lo largo del año.
  - c. **Acuicultura y pesca:** Información necesaria a determinar es el tipo de producción, la ubicación de la actividad con respecto al AI, distancia a la faena, la identificación del nivel de producción (Familiar, Local o Regional)

## 2.8 SITUACIÓN DE PELIGRO DE LOS RESIDUOS Y REMANENTES MINEROS

Una vez realizado el cierre de faena, los remanentes mineros remediados permanecerán así en forma permanente, por lo que estarán sometidos a todos los peligros naturales para los cuales fueron diseñados durante su etapa de operación:

1. Zona lluviosa: Cualquier zona en la cual se presenten precipitaciones medias históricas superior a 250 mm/año será considerada como zona lluviosa.
2. Aguas superficiales: Faenas mineras subterráneas o a cielo abierto que presentan escurrimientos de agua superficial a su interior. Remanentes mineros de tipo "depósitos masivos" que presentan problemas de estabilidad producto de la acción de aguas superficiales.
3. Aguas subterráneas: Si una faena minera subterránea presenta afloramiento de agua y presencia de agua en sus galerías entonces se considerará como "Faena con presencia de aguas subterráneas". Si una faena minera a cielo abierto presenta escurrimiento de aguas subterráneas por los taludes y acumulación de agua en el fondo del rajo, se considerará como "Faena con presencia de aguas subterráneas"
4. Riesgo Sísmico: Todas las faenas mineras ubicadas entre la I y X región serán consideradas como "Faenas con riesgo sísmico"
5. Erosión eólica: En cualquier faena en donde durante su operación se observa elevación de polvo desde caminos, rajos, botaderos, etc. debido al viento, serán consideradas "Faenas con riesgo de erosión eólica"
6. Seguridad: Todas las faenas deben considerar la seguridad como elemento central para el cierre. En especial aquellas faenas que se ubiquen cercanas a caminos y poblaciones.

Los principales riesgos e impactos deben estar evaluados durante la operación; sin embargo, podrían incorporarse algunos impactos ambientales en la etapa de postcierre sólo en la medida en que ellos no hubiesen sido evaluados con anterioridad. En la siguiente se muestran las situaciones de riesgo y sus principales efectos (SERNAGEOMIN, 2002, Guía Metodológica para el Cierre de Faenas Mineras):

| <b>Evento</b>   | <b>Situación de peligro</b>   | <b>Situación de riesgo</b>  |
|---|---|---|
| Sismicidad  | <p>Derrumbe de muros y taludes</p> <p>Licuefacción de residuos tóxicos o material granular de suelos</p> <p>Colapsos o remociones en masa</p> <p>Liberación violenta de relaves</p> <p>Colapsos de minas subterráneas</p>   | <p>Contaminación del aire por material particulado</p> <p>Contaminación de aguas subterráneas o superficiales</p> <p>Contaminación del suelo por residuos tóxicos</p> <p>Bloqueo de cauces de agua subterránea o superficiales</p> <p>Generación de subsidencias</p> <p>Daño por escombros a comunidades cercanas</p> <p>Pérdida de terreno de actividades sociales y económicas</p> <p>Pérdida del valor paisajístico</p> <p>Pérdida del patrimonio cultural y ambiental</p> <p>Bloqueo de caminos</p> |
| Eventos Hidrológicos  | <p>Arrastre de desechos, residuos u otros materiales debido a crecidas, lluvias, avalanchas y aluviones</p> <p>Debilitamiento de remanentes mineros</p> <p>Acumulación de agua en tranque o embalse de relaves</p> <p>Erosión de medidas de remediación de remanentes mineros</p> | <p>Contaminación de aguas subterráneas o superficiales</p> <p>Contaminación del suelo por residuos tóxicos</p> <p>Colapsos o remociones en masa</p> <p>Liberación violenta de relaves</p> <p>Bloqueo de cauces de agua subterránea o superficiales</p> <p>Daño por escombros a comunidades cercanas</p> <p>Pérdida de terreno de actividades sociales y económicas</p> <p>Pérdida del valor paisajístico</p> <p>Pérdida del patrimonio cultural y ambiental</p> <p>Bloqueo de caminos</p>               |
| Erosión eólica  | <p>Levantamiento de polvo</p> <p>Exposición de zonas con alto potencial a ser erosionadas</p> <p>Erosión de relaves secos y transporte de elementos tóxicos</p>   | <p>Contaminación del aire por material particulado</p> <p>Contaminación del suelo por residuos tóxicos</p> <p>Contaminación de aguas superficiales</p>  |
| Abandono de piques, socavones, chimeneas o galerías subterráneas  | <p>Posible subsidencia</p> <p>Alteración de la topografía</p> <p>Accidentes de personas y fauna</p>   | <p>Derrumbes de roca sobre personas que ingresan a la mina</p> <p>Caída de personas y fauna en labores abiertas</p> <p>Agrietamientos mayores y aumento del tamaño de la subsidencia</p> <p>Pérdida de terreno de actividades sociales y económicas</p> <p>Daño por escombros a comunidades cercanas</p> <p>Bloqueo de cauces de agua subterránea o superficiales</p> <p>Contaminación de aguas subterráneas o superficiales</p>  |
| Abandono de instalaciones y obras civiles, caminos y vías férreas | <p>Accidentes de personas y fauna</p> <p>Afectación de la estética y paisaje</p> <p>Filtración de reactivos al suelo, aguas subterráneas y superficiales</p>  | <p>Caídas de estructuras y equipos sobre personas y fauna</p> <p>Contacto con elementos inseguros</p> <p>Explosiones</p> <p>Accidentes de vehículo por vías en mal estado</p> <p>Pérdida del valor paisajístico</p> <p>Contaminación con residuos adheridos a las instalaciones</p> <p>Contaminación de suelos, aguas subterráneas y superficiales</p>  |

Tabla 4: Peligros y riesgos de residuos y remanentes mineros

## 2.9 EVALUACIÓN DE RIESGOS AL CIERRE Y POSTCIERRE

Para este apartado, se ha analizado la “Guía metodológica de evaluación de riesgos para el cierre de faenas mineras” (SERNAGEOMIN, 2004). Este artículo, establece criterios y procedimientos para la identificación, análisis y evaluación de los riesgos a presentarse en el cierre o postcierre, y puede ser usado tanto por los profesionales del SERNAGEOMIN como por las empresas mineras. Sin embargo, cada empresa minera puede realizar la evaluación de riesgos con la metodología que considere pertinente. La metodología de la guía permite obtener los niveles de riesgo para cada una de las instalaciones de la faena, mediante la combinación de dos elementos esenciales en el análisis: la probabilidad de ocurrencia de un hecho y la severidad de sus consecuencias. Conforme a ello, se establecen procedimientos de análisis para cada uno de estos elementos, bajo el criterio de la singularidad de cada instalación minera. Los autores de la guía se centran en proponer una herramienta sencilla de apoyo, presentando al inicio la base conceptual, seguido del desarrollo propiamente tal de la metodología y finalizando con un ejemplo didáctico del procedimiento a seguir. Si bien la guía plantea una metodología de evaluación de riesgos para el cierre de faenas, no considera los aspectos ni parámetros que aseguren la estabilidad física de residuos o remanentes mineros en la etapa de postcierre y tampoco plantea una metodología de monitoreo y mantención.

La evaluación del nivel de riesgo comprende la estimación de la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias dada el área de influencia de los residuos y remanentes mineros. No obstante, en toda evaluación se deben revisar situaciones que influyen en la seguridad física que pueden afectar negativamente a las personas, medio ambiente o actividades económicas y, para exista riesgo, se deben encontrar presentes dos elementos:

1. Un escenario de peligro, una situación que entraña un riesgo para la seguridad
2. Un receptor potencial que sea afectado por dicho escenario de peligro.

### 2.9.1 EVALUACIÓN DE RIESGOS AL CIERRE

Los escenarios de peligro pueden estar relacionados con la seguridad o la contaminación, debiendo considerarse además los receptores ubicados dentro del área de influencia del remanente o residuo. Aquellos relacionados con la seguridad son por ejemplo accidentes, caídas, derrumbes, colapsos masivos, entre otros. Se requiere de una exposición directa del receptor con los residuos o remanentes mineros y sus consecuencias se manifiestan de forma inmediata. Y aquellos relacionados con la contaminación, para el alcance de esta investigación, son los que se producen por una inestabilidad física de un remanente o residuo minero y cuyos efectos requieren un transporte por medio del suelo, el aire o el agua para llegar a los receptores y producir los efectos no deseados. Sus consecuencias se manifiestan en períodos prolongados de tiempo.

El objetivo es que las instalaciones remanentes (las que permanecen en el largo plazo) no tengan efectos adversos con posterioridad al cierre, por lo cual la evaluación de la estabilidad de las instalaciones y el diseño de las obras deberán realizarse respecto de eventos extremos, teniendo en consideración los siguientes criterios:

1. Factores de seguridad aceptados para obras de ingeniería en condiciones estáticas.
2. Estabilidad de las obras e instalaciones remanentes frente a eventos sísmicos extremos y eventos hídricos extremos, tales como caudales de crecidas con períodos de retorno superior a 100 años.

3. Probabilidad que eventos volcánicos generen efectos adversos sobre las instalaciones remanentes.
4. Probabilidad de ocurrencia de eventos de remoción en masa en el área de influencia de la faena, determinada en función del análisis de riesgos.
5. Considerar como criterio de análisis evitar que, producto del plan de cierre, se obligue a construir obras de refosteración u otros, que no existían con anterioridad y que no corresponden a medidas de mitigación, restauración, compensación, o seguimiento.

## 2.9.2 MEDICIÓN DEL NIVEL DE RIESGO BASE

El riesgo de un escenario de peligro depende de la probabilidad de ocurrencia de dicho escenario y de la severidad de sus consecuencias.

La primera variable se estima mediante un índice de probabilidad (IP) que puede tener un valor alto, medio, bajo y despreciable, evaluándose en términos cualitativos según la probabilidad de que se genere un efecto negativo dadas determinadas condiciones y circunstancias. La segunda variable depende de las formas en que los receptores pueden verse afectados debido a las consecuencias negativas de un escenario de peligro. Las personas pueden sufrir lesiones o incluso la muerte. El medio ambiente puede verse afectado por fallas en la seguridad, con la posible pérdida de los animales o plantas que ocupaban ese espacio, incluso pérdida permanente de los hábitats, así mismo, también pueden verse afectados cultivos y ganados al perderse la superficie de sustento de dichas actividades. Para evaluar la severidad de las consecuencias se usan cinco valores, los cuales son muy baja o despreciable, baja, moderada, alta y muy alta o catastrófica. Una vez establecido el peligro, el riesgo cualitativo, el índice de probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias, se debe evaluar el nivel de riesgo intersectando la consecuencia y la probabilidad.

|                                      |          | Severidad de las consecuencias |      |          |      |          |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------|------|----------|------|----------|
|                                      |          | Muy alta                       | Alta | Moderada | Baja | Muy baja |
| Probabilidad de ocurrencia del hecho | Muy alta |                                |      |          |      |          |
|                                      | Alta     |                                |      |          |      |          |
|                                      | Moderada |                                |      |          |      |          |
|                                      | Baja     |                                |      |          |      |          |
|                                      | Muy baja |                                |      |          |      |          |

Tabla 5: Matriz de riesgos

La evaluación de la magnitud del riesgo se basa, por tanto, en la combinación de los dos factores involucrados en la matriz. En esta herramienta se nos muestra que cuanto más probable sea el escenario de peligro y cuanto más severas sean sus consecuencias, mayor será la magnitud del 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     |

Tabla 6: Matriz y niveles de riesgo

| Tipo de Riesgo | Necesidad de acción   |
|----------------|---|
| Bajo           | La acción no es necesaria. Se deben considerar mejores soluciones sin costo adicional. La situación debe vigilarse para mantener el riesgo bajo control   |
| Medio          | Se deben tomar medidas para minimizar el riesgo, pero esto no es urgente. Se debe considerar un estudio de eficiencia vs costos de las medidas adoptadas. Si el riesgo implica consecuencias dañinas, la probabilidad de que el riesgo se materialice debe ser investigado en más detalle |
| Alto           | Se deben tomar medidas con urgencia para neutralizar o minimizar el riesgo  |
| Muy Alto       | Se deben tomar medidas con urgencia para neutralizar o minimizar el riesgo  |

Tabla 7: Descripción de acciones a tomar según nivel de riesgo

### 2.9.3 CONTROL DE RIESGO BASE

Las medidas de control deben ser específicas y concretas; orientadas a atacar la raíz del peligro con una secuencia de controlar primero la fuente, luego el medio de propagación y por último el receptor. El control debe estar orientado a qué acciones se van a tomar de inmediato y a largo plazo para poder controlar los riesgos, en otras palabras, reducir la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias. Además, las acciones deben de ser claras para que puedan ser fáciles de ejecutar.

Para efectos de este trabajo, los controles de riesgo base son las medidas, planes y actividades de control y remediación de residuos y remanentes mineros ejecutados en la etapa de cierre de faenas mineras. El resultado de estos es la disminución del nivel de riesgo, obteniéndose un nivel de riesgo residual.

### 2.9.4 RIESGO RESIDUAL

La ISO define el riesgo residual como el nivel de riesgo resultante luego de haber realizado el tratamiento del riesgo (ISO/CEI Guide 73 Terminology). Para la aplicación de este trabajo, el tratamiento del riesgo son las medidas de control y remediación aplicadas en el cierre de faena. 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. Por otro lado, en aquellos casos donde el resultado de la evaluación de riesgo indique un nivel de riesgo significativo, (de moderado a muy alto) se debe proceder a realizar el tratamiento de ese riesgo, ya sea complementando las medidas de cierre o modificando la operación minera según corresponda. Una vez realizado lo anterior, se deben evaluar de riesgos nuevamente, obteniendo un nuevo nivel de riesgo que será considerado como el riesgo residual resultante.

### 2.9.5 CONTROL DE RIESGO RESIDUAL

Son medidas que buscan monitorear y mantener el nivel de riesgo residual. Estos controles deben de ser específicos y concretos según la medida aplicada para el control de riesgo base.

Para efectos de este trabajo, los controles de riesgo residual serán los planes, medidas y actividades ejecutados en la etapa de postcierre para el control, mantención preventiva y correctiva de las medidas ejecutadas en la etapa de cierre.

## 2.9.6 ESTUDIOS Y PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

Es necesario enlistar los estudios y parámetros mínimos a medir en cada residuo o remanente minero, para analizar la calidad y efectividad de las medidas de control tanto de riesgo base como residual:

1. Etapa de cierre: Los estudios y mediciones evidencian la calidad de las instalaciones al momento del cierre y por lo tanto el tipo de control a ejecutar.
2. Etapa de postcierre: Los estudios y mediciones evidencian el estado de las de los residuos y remanentes mineros y sus medidas de control ejecutadas en el cierre. En otras palabras, estos chequeos forman parte del monitoreo de la calidad de las instalaciones y efectividad de las medidas de control, lo cual ayudará a apoyar los planes de mantenimiento preventivos o evidenciarán una falla en las medidas de control, lo cual exigirá un mantenimiento correctivo.

Los estudios y parámetros para identificar, medir y evaluar las medidas de control de riesgo base para la etapa de cierre minero se encuentran enlistados y explicados en la sección de 7.3 de anexos.

## 2.9.7 RESUMEN PROCESO DE EVALUACIÓN DE RIESGO

La evaluación de riesgos puede resumirse en los pasos mostrados en la figura 9, siempre que esté apoyado en la metodología expuesta en la “Guía metodológica de evaluación de riesgos para el cierre de faenas mineras” (SERNAGEOMIN, 2004)

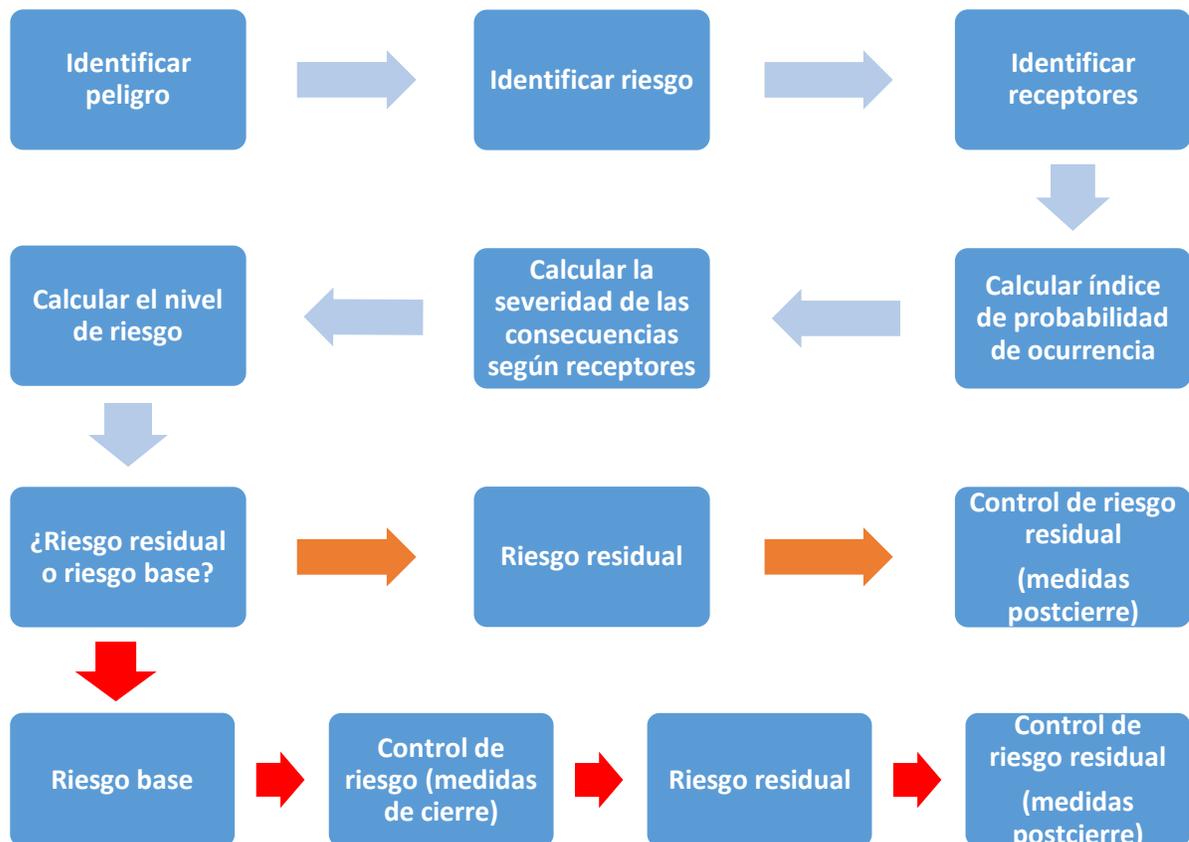


Figura 9: Proceso de evaluación y control de riesgos

## 3. DESARROLLO

### 3.1 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA PLANIFICACIÓN DE POSTCIERRE

Para lograr un postcierre exitoso, es necesario considerar su diseño y planificación en las etapas tempranas de la evaluación del proyecto minero, ya que hay una mayor oportunidad para el establecimiento de objetivos que minimicen el impacto total de la minería, anticipando y evitando muchos problemas ambientales potenciales, que de otro modo obligan a incurrir en gastos considerables y mediación a largo plazo, además de su impacto negativo sobre la salud de las personas y los ecosistemas circundantes.

Para el desarrollo de esta propuesta, es muy importante documentar no solo las actividades del cierre y postcierre, sino también, catalogar sitios los contaminados posterior al cierre de la faena, describir con detalle las actividades específicas a realizarse durante el postcierre y la naturaleza de los procedimientos, incluyendo al personal responsable de cada una, la frecuencia y el tiempo de ejecución, los recursos y costos estimados y considerar contingencias.

Dado lo planteado en la sección 2.4.2 (figura 6 y figura 7), es posible describir con mayor detalle el proceso actual de evaluación del cierre y postcierre de faenas mineras en la etapa de evaluación de proyectos y cómo se consideran los aspectos ambientales (figura 10). Gracias a esto, es posible detectar el lugar en el cual implementar un sistema de análisis de peligros ambientales de sitios contaminados mineros posterior al cierre de faenas para apoyar la planificación y creación de planes postcierre; para esto, se debe reconocer que todo plan postcierre depende de las medidas de cierre adoptadas siguiendo la lógica de la evaluación de riesgos presentada en el capítulo 2.9.7 (figura 8). Por lo tanto, para implementar la propuesta se debe asumir como antecedente que existen escenarios de riesgos generados por un tipo de residuo o remanente minero y un conjunto de medidas de cierre para cada uno de ellos y, por otro lado, un conjunto de aspectos y consideraciones ambientales como las normativas, compromisos, requisitos y/o permisos, además de otras responsabilidades legales y la “licencia social” para operar. En la figura 10 se destaca en color rojo el sector en el cual se tiene la oportunidad de implementar la propuesta metodológica obedeciendo las limitaciones mencionadas.

Sin embargo, para planificar se debe tener siempre claro un objetivo y los criterios de éxito de las distintas etapas para alcanzarlo. Por este motivo, en la figura 11 se muestran enlistados los lineamientos y objetivos a cumplir en la etapa de evaluación de proyectos para el desarrollo de planes de postcierre de faenas mineras. Esto tiene como finalidad establecer criterios de éxito y límites para diferenciar el nivel de desarrollo que deben tener los planes de postcierre en los distintos estudios a realizarse. Para el estudio de perfil, se debe contar con los distintos escenarios y/o alternativas ya definidos y analizados. Por otro lado, en el estudio de prefactibilidad, se debe hacer una elección del escenario y desarrollar el plan postcierre junto a una estimación de costos. Y finalmente, en el estudio de factibilidad, se deben definir y resolver los detalles del plan para presentarlo para la obtención de permisos sectoriales y la aprobación por parte del SERNAGEOMIN y del SEA. Cabe destacar que en el estudio de factibilidad el plan de postcierre es llamado “definitivo” debido a que dicho resultado es la elección de varias alternativas y que será presentado para su aprobación inicial por los organismos fiscalizadores; sin embargo, es muy probable que dicho plan cambie a través de los años durante la misma operación debido a la variabilidad y riesgos existentes en los proyectos mineros, por lo que dichas modificaciones deben ser auditadas cada 5 años por una entidad externa, la cual debe entregar los resultados de estudios y antecedentes al SERNAGEOMIN para su aprobación.

Por otro lado, es importante establecer un punto de partida o una situación inicial (Entrada o INPUT) y una final (Salida u OUTPUT) que ponga en evidencia la intervención de la propuesta metodológica y sus efectos en el apoyo a los análisis de escenarios de un residuo o remanente minero (figura 12). En este caso, para la propuesta las entradas son los escenarios de un residuo o remanente minero provenientes de la planificación y diseño junto con sus medidas de cierre y, la salida, son los mismos escenarios, pero con una valorización y ordenamiento según su nivel de peligro ambiental y un plan de postcierre. Esto es como resultado a la metodología propuesta, la cual tiene como objetivo poder planificar un postcierre apoyándose en los peligros ambientales que pueden darse después del cese de operaciones. No obstante, es necesario identificar y aclarar las entidades involucradas y lo que se necesita para aplicar esta propuesta en un modelo PEPSC (figura 13)

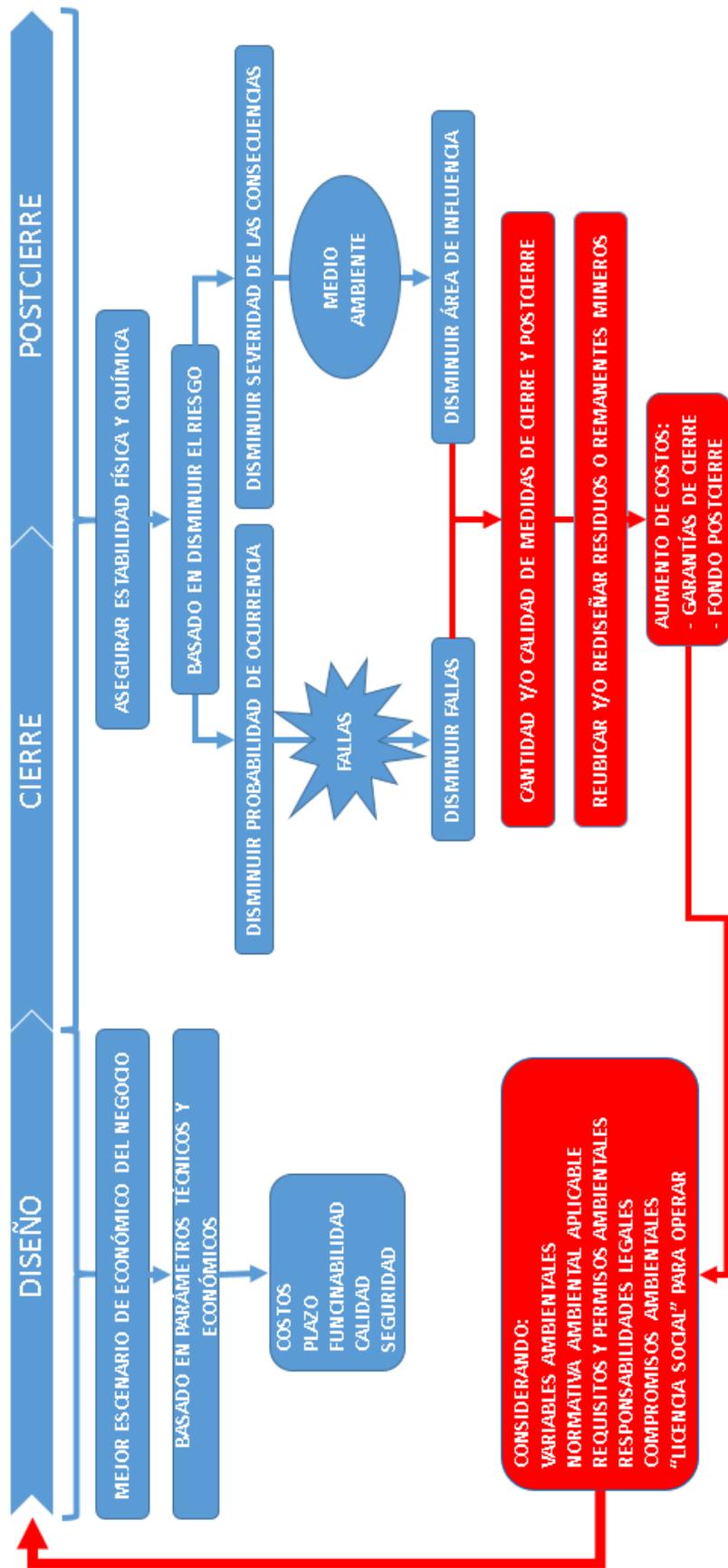


Figura 10: Proceso actual para reevaluar el cierre y postcierre de faenas mineras

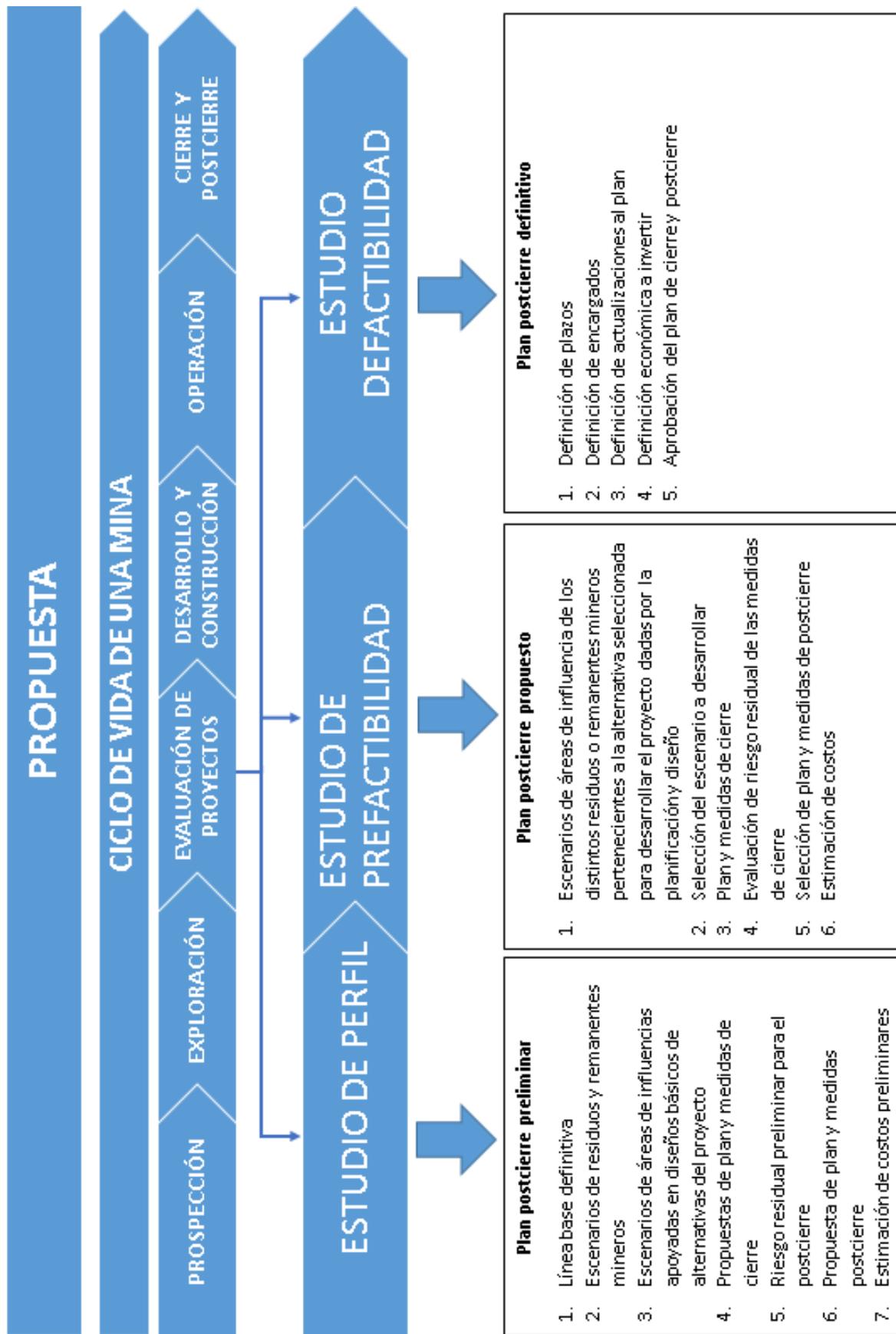


Figura 11: Lineamientos de la propuesta metodológica en la evaluación de proyectos

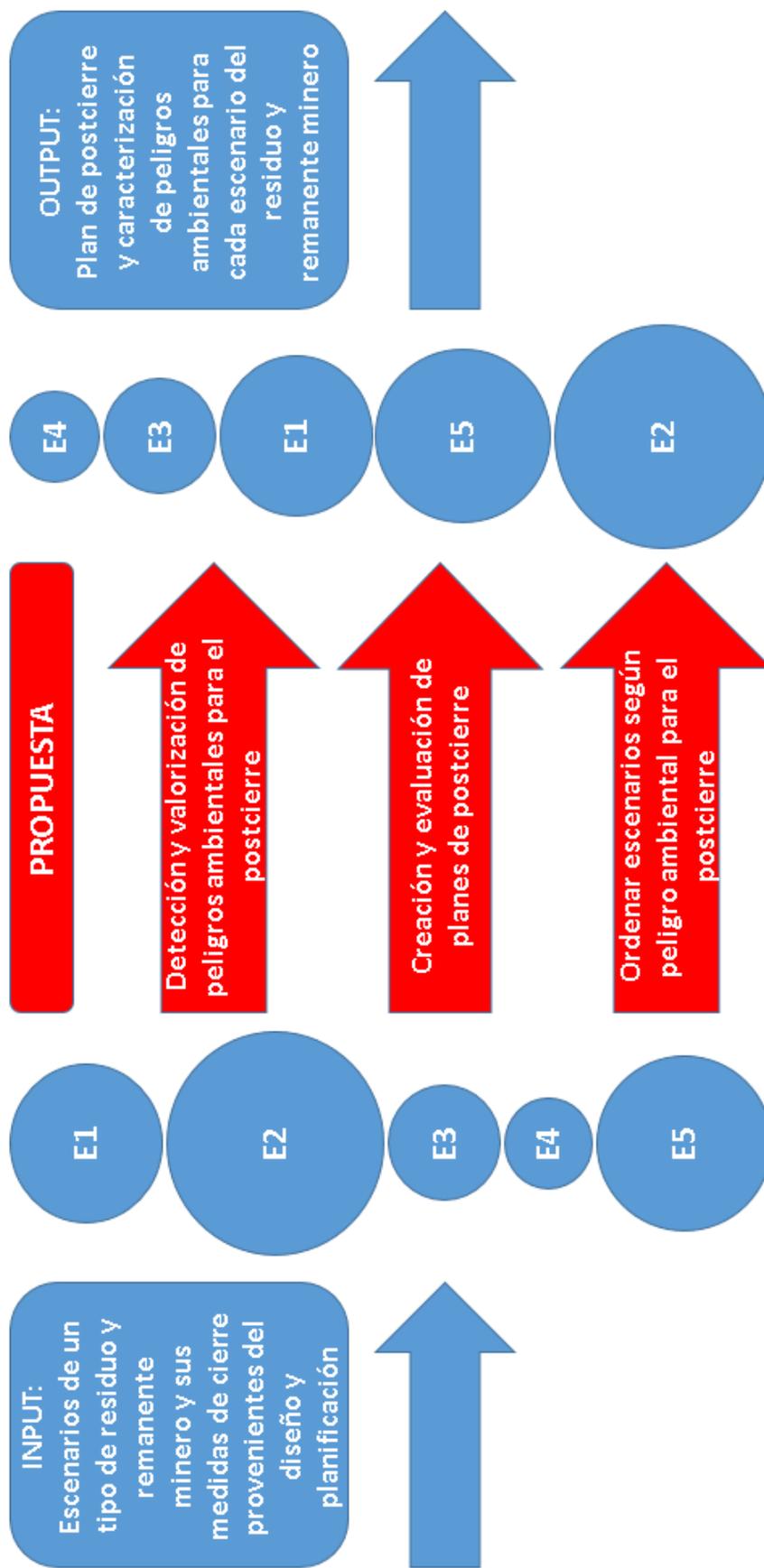


Figura 12: Resumen de la metodología propuesta

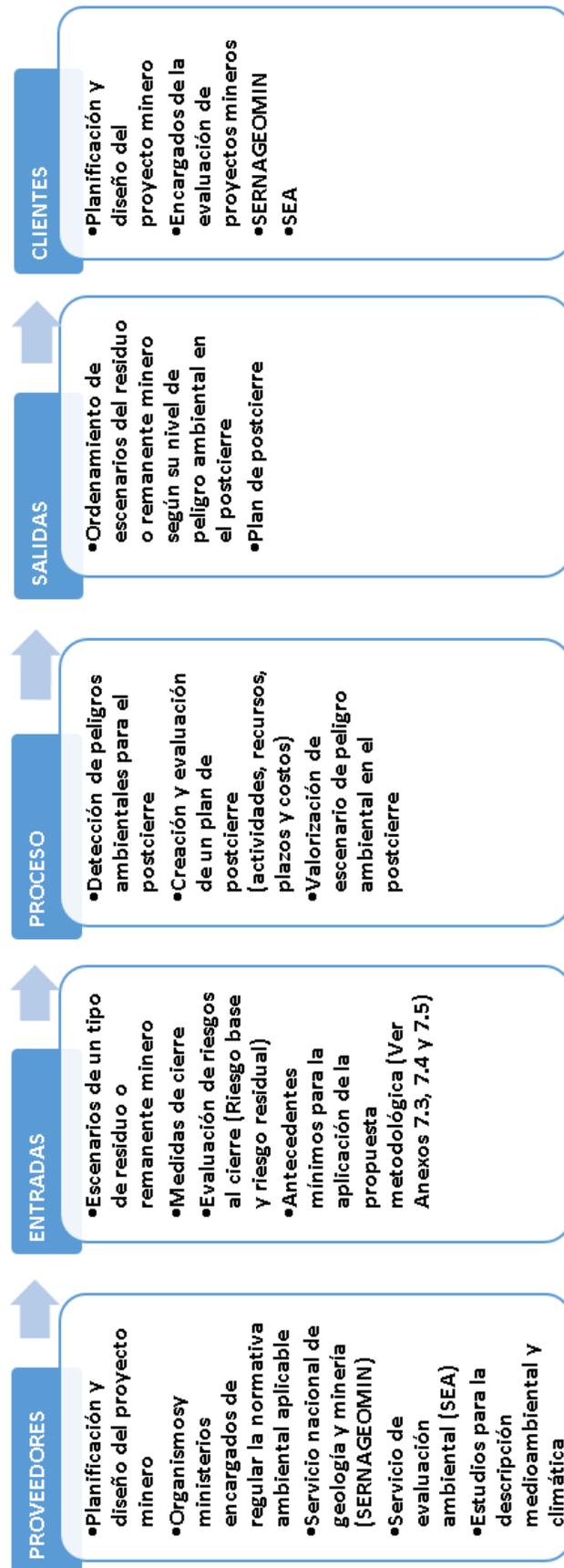


Figura 13: Modelo PEPSC involucrado en el proceso de análisis de escenarios

## 3.2 ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE POSTCIERRE DE FAENAS MINERAS

Para realizar el análisis de peligros ambientales en el postcierre, se ha propuesto una metodología de clasificación y priorización de escenarios de residuos y remanentes mineros, llamada “Análisis de Escenarios de Cierre y Postcierre de Faenas Mineras” (AE-CP), el cual está basado en el “National Classification System for Contaminated Sites” (CCME, 2008). Básicamente, lo que el AE-CP hace es ponderar cuantitativamente las características de un residuo o remanente minero. Para ello, el procedimiento consta de una serie de preguntas y respuestas que están valoradas en puntaje a lo largo de seis secciones distintas:

1. Preguntas preliminares
2. Fuente emisora
3. Características del contaminante
4. Migración de contaminantes
5. Exposición de receptores a contaminantes
6. Evaluación de riesgo al cierre y postcierre

El AE-PC es un método para la evaluación de sitios contaminados en función de su potencial impacto negativo sobre la salud de ser humano y el medio ambiente. Fue desarrollado mediante una revisión de los protocolos existentes de clasificación de sitios contaminados y técnicas de evaluación de riesgos; sin embargo, el método no está diseñado para proporcionar una evaluación de riesgos, más bien es una herramienta de detección que establece un sistema racional para la clasificación y priorización de escenarios de sitios contaminados, y como tal, está fuera del alcance hacer frente a factores específicos como los de carácter tecnológico, socioeconómico, político o legal, por lo que suelen ser necesarias investigaciones adicionales.

El método es relativamente sencillo y aplicable en todos los sitios contaminados, pero es necesario una cantidad determinada de información para realizar el proceso de análisis de escenarios. Aun así, los sitios no deben ser clasificados con relación a otro, sino que deben clasificarse según sus características individuales y luego ser ordenados con respecto a los puntajes obtenidos.

El uso de este método constituye una importante herramienta de gestión y planificación para priorizar en investigación y remediación a cada sitio contaminado, garantizando que el financiamiento de planes postcierre se asigne de manera concreta y los esfuerzos se centren en los sitios que se consideran con más alta prioridad (es decir, fomentar la identificación y remediación de sitios con puntaje más altos primero).

Una vez aplicado el método a través de las seis secciones, el resultado final es un residuo o remanente minero con una valorización numérica; el sistema otorga automáticamente mayor puntaje a aquellos escenarios de residuos o remanentes mineros que generen mayor impacto negativo a las personas y el medio ambiente.

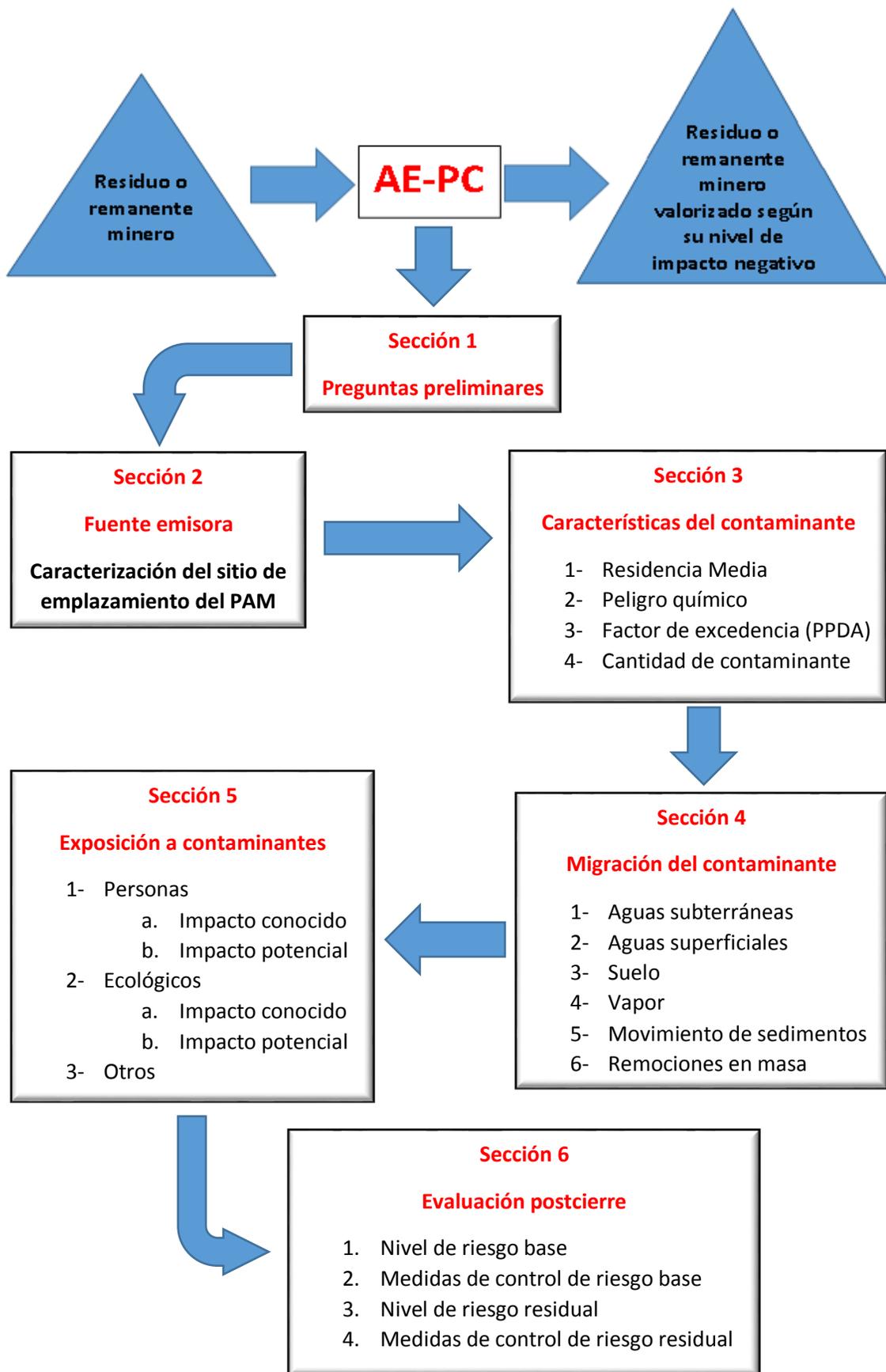


Figura 14: Mapa del proceso AE-PC

A continuación, se muestra la distribución de puntaje por sección:

| Sección      | Puntaje    |
|--------------|------------|
| Sección 3    | 36         |
| Sección 4    | 220        |
| Sección 5    | 245        |
| Sección 6    | 105        |
| <b>TOTAL</b> | <b>606</b> |

Tabla 8: Puntaje total a obtenerse en el proceso AE-PC

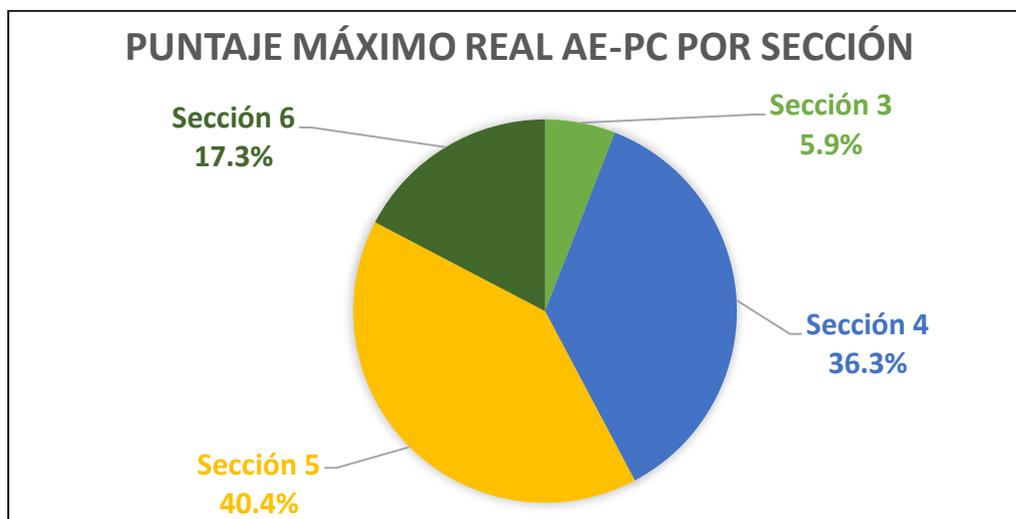


Figura 15: Distribución del puntaje total a obtenerse en el proceso AE-PC

Cada sección está compuesta por una serie de preguntas con alternativas que poseen un puntaje asignado en relación al impacto negativo, por lo que, a medida que el puntaje va aumentando, el escenario evaluado es cada vez más adverso ambientalmente. Sin embargo, las secciones 1 y 2 carecen de puntaje asignado ya que constan de preguntas preliminares y descriptivas para caracterizar el residuo o remanente minero.

El puntaje otorgado a cada sección se justifica por el enfoque de esta metodología que es la prevención y la severidad de las consecuencias de eventos que signifiquen un riesgo para potenciales receptores. Por lo tanto, utilizando los controles duros de la prevención de riesgos se puede estandarizar, jerarquizar y ponderar el puntaje asignado a cada sección:

1. Eliminar
2. Substituir
3. Rediseñar
4. Separar

Los primeros dos puntos de la lista anterior son casi imposibles de aplicar en esta metodología, ya que la operación minera necesita de instalaciones que posteriormente se convertirán en residuos o remanentes mineros e incluso es difícil eliminar o cambiar el tipo de contaminante presente en ellas. Por otro lado, el enfoque está en rediseñar los residuos y remanentes mineros con el fin de disminuir el impacto ambiental no solo durante su vida útil, sino que al final de esta. Esto además permite disminuir las actividades referentes a separar (último punto en la lista), lo cual tiene relación con aislar el peligro o mitigar los riesgos por medio de las medidas de cierre.

Así, cada puntaje responde al peligro asociado a las características de un contaminante, a la migración de este y a la prevención sobre cómo estos podrían afectar a diversos receptores y, separadamente, se evalúan las medidas de cierre y postcierre. La relevancia queda definida de la siguiente forma:

Exposición > Migración > Evaluación postcierre > Características del contaminante

La estandarización y ponderación final queda definida tomando en cuenta los porcentajes bases asignados anteriormente y un puntaje máximo de 100:

| Sección   | Descripción           | Porcentaje máximo base | Porcentaje máximo ajustado |
|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------------|
| Sección 3 | Contaminante          | 5.9%                   | 10%                        |
| Sección 4 | Migración             | 36.3%                  | 30%                        |
| Sección 5 | Exposición            | 40.4%                  | 40%                        |
| Sección 6 | Evaluación postcierre | 17.3%                  | 20%                        |
|           | <b>TOTAL</b>          | <b>100%</b>            | <b>100%</b>                |

Tabla 9: Distribución del porcentaje total a obtenerse y ajuste para estandarización

| Sección      | Puntaje máximo base | Puntaje máximo ajustado | Ajuste: Valor por punto |
|--------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| Sección 3    | 36                  | 10                      | 0.29                    |
| Sección 4    | 220                 | 30                      | 0.14                    |
| Sección 5    | 245                 | 40                      | 0.16                    |
| Sección 6    | 105                 | 20                      | 0.19                    |
| <b>TOTAL</b> | <b>606</b>          | <b>100</b>              | -                       |

Tabla 10: Distribución del puntaje total a obtenerse y ajuste para estandarización

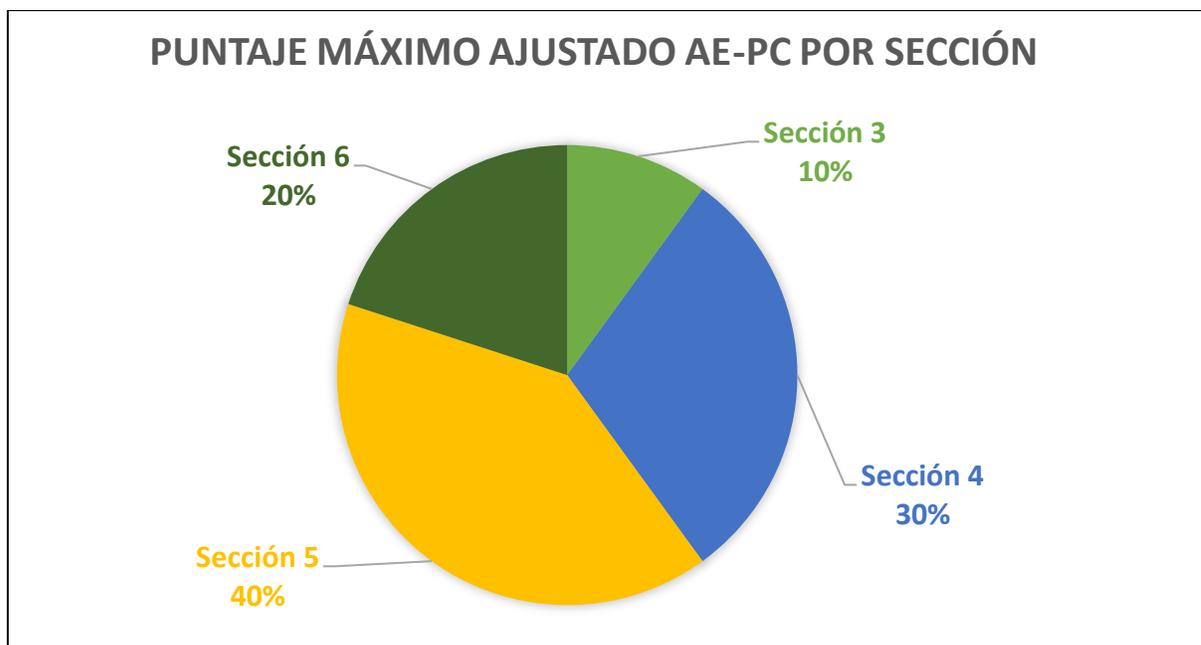


Figura 16: Distribución del puntaje total ajustado a obtenerse en el proceso AE-PC

La metodología obliga a que, para disminuir el puntaje final del escenario a evaluar, se debe pensar en las consecuencias de los eventos, enfocándose en temas de migración de contaminantes y exposición a receptores. Esto último tiene un efecto directo con el área de influencia de cada residuos o remanente minero, haciendo que esta aumente o disminuya. En cuanto a la caracterización del contaminante de la fuente emisora, se dejó con el menor puntaje debido a que, desde el punto de vista de las operaciones, es

casi imposible modificarlo y solo las medidas de cierre pueden aplacar su impacto ambiental (aplicadas a la emisión y migración del contaminante desde la fuente) El detalle de cada sección y el puntaje específico por pregunta se encuentran en la sección de anexos.

Finalmente, para la gestión y mejoramiento del proceso de análisis de escenarios, se deben identificar las oportunidades y, en base a una serie de escenarios, generar planes de acción para corregir puntajes altos. Esto permitirá, por tanto, clarificar los objetivos a cumplir y tener un plan de mejoramiento continuo que otorgará excelencia al proceso.

Para cumplir lo anterior, es necesario la aplicación del ciclo de Deming, con el fin de prevenir deficiencias y controlar la calidad del producto. Esto se ve reflejado en el siguiente esquema

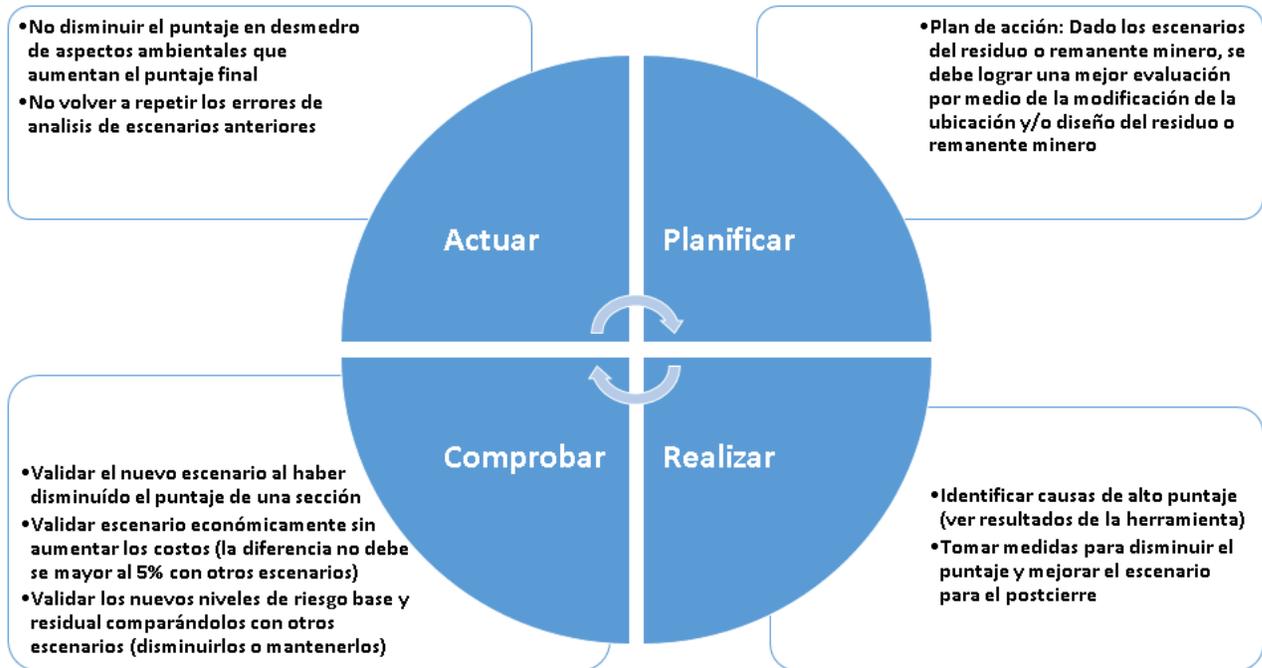


Figura 17: Ciclo de Deming aplicado al proceso AE-PC

En cuanto a la estimación de costos, estos se harán comparando los distintos VAN de los proyectos de cierre y postcierre resultantes de la evaluación de escenarios. La metodología del cálculo de costos a usar será la propuesta por el SERNAGEOMIN en sus guías metodológicas, la cual fue expuesta en la sección 2.4.4 “Garantías de cierre y fondo postcierre”, pero considerando las modificaciones propuestas en la sección 3.1 “Metodología propuesta para la planificación de postcierre” y 3.7 “Análisis y estimación de costos del postcierre”

### 3.3 IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES PARA EL POSTCIERRE

Antes de definir o estimar las medidas que son apropiadas para la ejecución del postcierre, es importante considerar los siguientes componentes ambientales como mínimo:

1. Calidad del aire: Cuando existan poblaciones y/o comunidades en el área de influencia del proyecto se deberán tomar las acciones necesarias para monitorear y mantener la calidad del aire (evitando su deterioro), realizando, entre otras, las acciones para estabilizar el material particulado que pueda propagarse por efecto de la acción eólica. Para efectos de lo anterior, para el monitoreo, se deberá tener como referencia las normas de calidad primaria, nacionales o de referencias.
2. Cantidad y calidad de las aguas: Evitar que durante el postcierre se generen efectos significativos adversos en la calidad y cantidad de las aguas superficiales y subterráneas, o calidad de aguas marinas, de acuerdo con la legislación vigente u otra de referencia, presentando los estudios y antecedentes que demuestren que no se han visto afectados dichos recursos.
3. Calidad del suelo: Medidas para evitar contaminación del suelo por polvos, sustancias líquidas, residuos peligrosos, en la etapa de postcierre que no hayan quedado remediadas. Propiciar que la etapa de cierre y postcierre se desarrolle y planifique junto con la operación, de tal manera de acumular información de los escenarios de peligro para monitorear y mantener el cumplimiento de las medidas de remediación y las normas de calidad del suelo para el desarrollo de futuras actividades que se hayan decidido.
4. Calidad de los hábitats, flora y fauna: Cuando la fragilidad y calidad de los hábitats existentes lo ameriten, se deben monitorear las acciones de compensación que permitan la recuperación natural de dichos hábitats. Y cuando sea posible y/o necesaria la mantención de la vegetación o arborización.
5. Paisaje y morfología: En consideración a la relevancia paisajística y turística del área de influencia y a la línea de base del proyecto, se deberán proponer, si corresponde, medidas de monitoreo y mantención del valor paisajístico y turístico como medidas para la recuperación de áreas perturbadas.
6. Recursos culturales y arqueológicos: Se deberá dar cuenta del estado en que se encuentran los recursos arqueológicos, monumentos, sitios de valor antropológico, histórico y en general los pertenecientes al patrimonio cultural, existentes en el área de influencia del proyecto. A partir de lo anterior, se debe procurar monitorear que dichos recursos se han mantenido, en cantidad y calidad, en el tiempo.
7. Personas: Se deberá evaluar, desde la perspectiva ambiental, como afecta una falla en las condiciones físicas y químicas de las medidas de remediación sobre el medio ambiente humano en la etapa de cierre y postcierre, tomado como referencia el artículo 11 de la Ley 19300, y su reglamento. Asimismo, se deberá monitorear y mantener (parte del plan de cierre y postcierre) la calidad del uso alternativo del área del proyecto, tales como turismo, paisaje, industria, u otro, el cual deberá documentarse adecuadamente y oportunamente.

Se debe además describir un programa para el registro de valores de variables ambientales y su estado en el cumplimiento de la normativa aplicable. El programa se efectuará durante las actividades de operación, cierre y postcierre de la mina e incluye como mínimo los siguientes componentes:

1. Calidad del Aire
2. Características eólicas
3. Precipitaciones
4. Temperaturas
5. Aguas superficiales
6. Aguas subterráneas
7. Suelos
8. Flora y fauna

Las mediciones anteriores proporcionarán información importante respecto a la calidad del ambiente en el entorno de los residuos y remanentes mineros, además de verificar la efectividad de las medidas de cierre adoptadas. Para cada componente se debe especificar lo siguiente:

1. Sitios de Monitoreo
2. Parámetros a medir
3. Frecuencia de las mediciones y plazo a realizar dichas mediciones

El tiempo propuesto para determinar que las medidas tomadas han sido eficaces, será aquel que se requiera para demostrar que se han minimizado los efectos al ecosistema en el largo plazo.

En el caso de la flora, se debe considerar una evaluación de las condiciones del área de influencia de la mina en su postcierre basado en los siguientes indicadores:

1. Estimación de la diversidad florística, cobertura y biomasa.
2. Estimación de variabilidad en diversidad florística, cobertura y biomasa según sectores definidos por altitud.
3. Evaluación de las áreas de revegetación.

Igualmente, para la fauna, la evaluación se hará en base de los siguientes indicadores:

1. Seguimiento de fauna autóctona, lo cual considera estimación del número total de individuos adultos y juveniles asociados al área de influencia de la mina y sectores aledaños.
2. Identificación de hábitats o sitios utilizados por la población. Registro de muertes y probables causas.
3. Seguimiento de animales domésticos. Levantar registro de la presencia de ganado y registrar uso de los recursos del suelo y agua.

Es importante conservar toda la información generada en los programas de monitoreo ambiental que el titular minero desarrolló en la etapa de operación, con el fin de estimar comportamientos futuros de variables ambientales y su efecto sobre los residuos y remanentes mineros en las etapas de cierre y postcierre de la faena.

La totalidad de la normativa ambiental aplicable (calidad, emisión y planes) en minería se puede encontrar publicada por distintos organismos (Ver sección 7.5 del anexo).

### 3.4 PLAN POSTCIERRE: MEDIDAS DE MONITOREO Y MANTENCIÓN DE RIESGOS RESIDUALES

Luego de realizar el análisis de riesgo base, para determinar las medidas de cierre y calcular el nivel de riesgo residual, se debe proceder a preparar un Plan de Postcierre (PPC).

El PPC debe contar, como mínimo, con información y los antecedentes nombrados en capítulos anteriores, ya que estos estudios contienen un marco de referencia respecto de las medidas de cierre propuestas y aportan información sobre la caracterización del área de influencia. Adicionalmente, se debe contar con toda la información generada en los programas de monitoreo ambiental que el titular minero desarrolló en la etapa de operación, con el fin de estimar los comportamientos de variables ambientales y su efecto sobre los residuos y remanentes mineros en la etapa de postcierre. Es necesario destacar que el desarrollo de un PPC debe trabajar en base a las posibles consecuencias que puede ocasionar las personas y medio ambiente, una inestabilidad física o química del residuo o remanente minero abandonado al fallar una medida de cierre. A continuación, se enlistan los antecedentes necesarios para llevar a cabo un PPC:

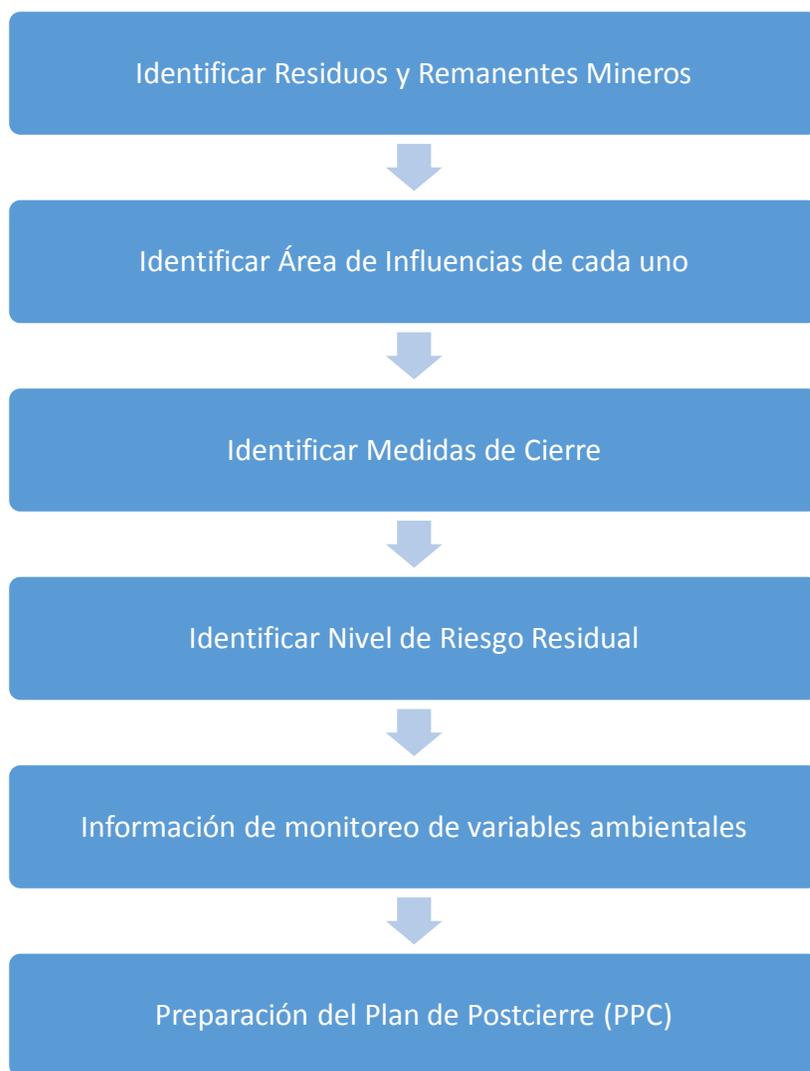


Figura 18: Antecedentes necesarios para preparar un PPC

Inicialmente, el PPC debe definir las actividades de monitoreo y mantención programadas a corto, mediano y largo plazo según la medida de cierre adoptada. El monitoreo (MO) se define como el conjunto de actividades diseñadas para observar el curso de uno o más parámetros para detectar eventuales anomalías con el fin de evaluar el comportamiento de las medidas de remediación de los residuos y remanentes mineros posterior al cierre y demostrar que se han cumplido las condiciones de estabilidad (parámetros técnicos) de cierre de faenas. Por su parte, las mantenciones son el conjunto de actividades que implican medidas preventivas (MP) y correctivas (MC); las primeras están diseñadas para conservar la integridad y la calidad de la medida de cierre en el tiempo, mientras que las segundas están diseñadas como medidas de remediación de contingencias en caso de que el monitoreo evidencie que las condiciones de estabilidad se han debilitado en el tiempo o no se están cumpliendo (los valores que aseguran la estabilidad están fuera los rangos normales). Existen también otras situaciones de contingencia a considerar, por ejemplo, las alertas por eventos ambientales y falla de las medidas de cierre, por lo que se debe contar con planes de acción ante dichas situaciones.

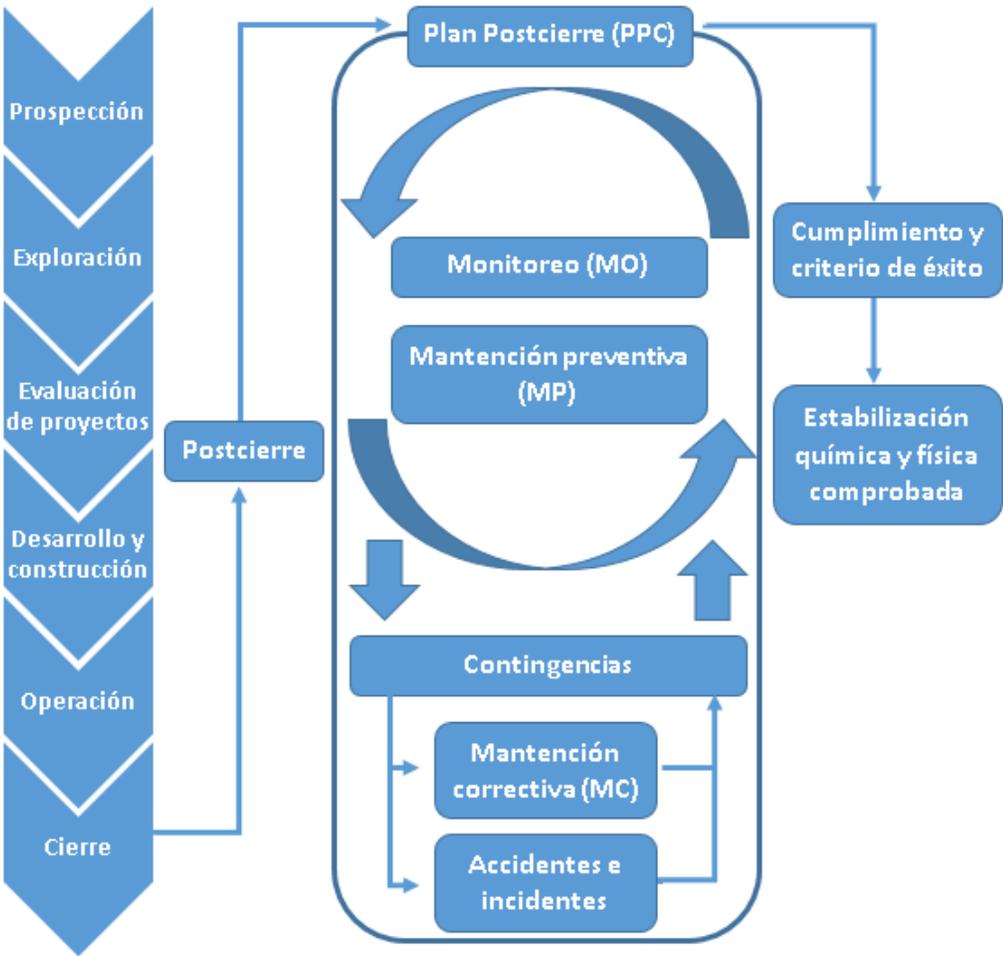


Figura 19: Propuesta de etapa de postcierre de un proyecto minero

Se debe analizar en el largo plazo el estado de las medidas ejecutadas en el cierre. Para ello, el monitoreo debe realizarse con una frecuencia y plazo según definido en los resultados del modelo de evaluación de riesgos; sin embargo, se recomienda un monitoreo anual durante los primeros 5 años como mínimo para estudiar la evolución y el comportamiento de la estabilidad bajo los distintos fenómenos climáticos, y así, poder extrapolarlos en la reevaluación del plan tomando en consideración períodos de retornos de eventos naturales extremos. Pero, por otro lado, el mantenimiento debe realizarse de por vida a aquellas labores que lo requieran y hayan sido definidas en el modelo de evaluación de riesgos.

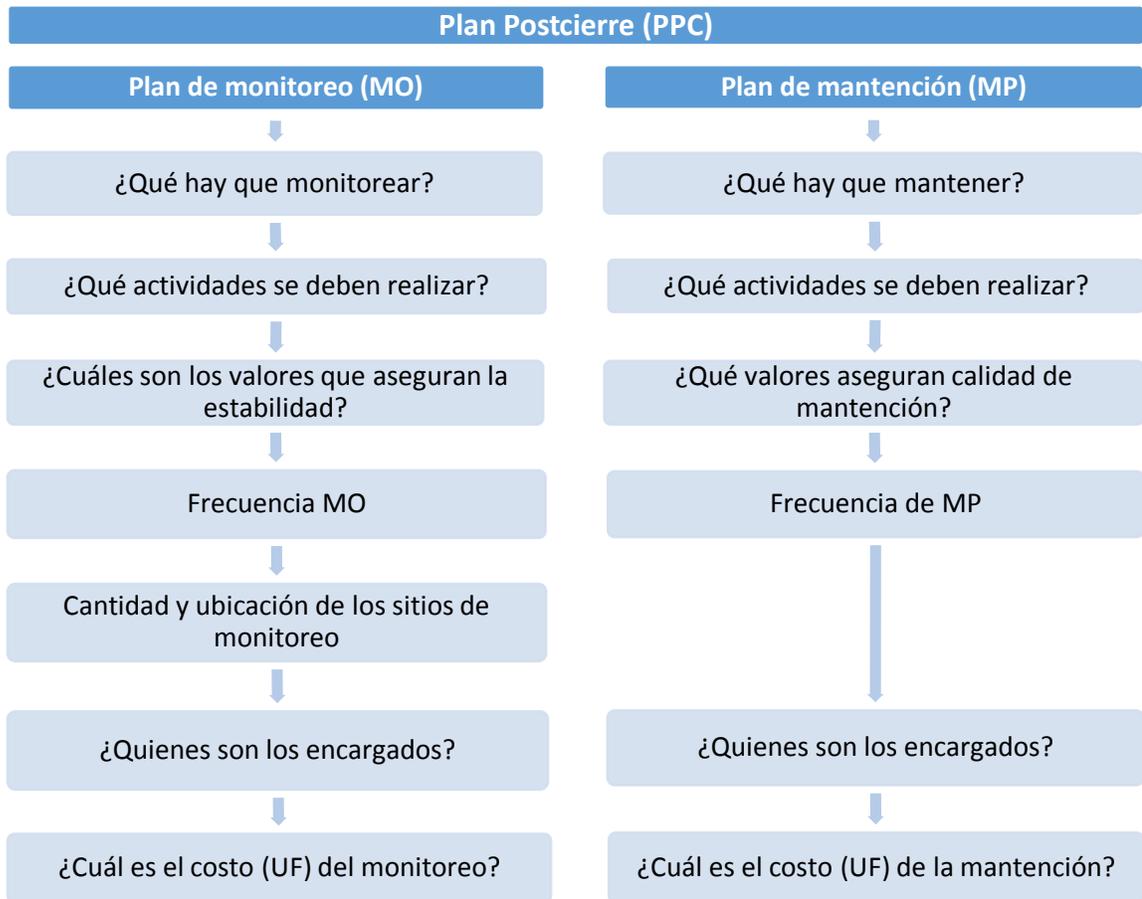


Figura 20: Guía conceptual paso a paso para planificar el PPC



Figura 21: Mapa conceptual de contingencias y plan ante eventos

### 3.4.1 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE ACCESOS

| <b>Técnica</b>     | <b>Monitoreo (MO)</b>   | <b>Mantencción preventiva (MP)</b>                                  |
|--------------------|---|---|
| Señalética         | Revisar estado de la pintura reflectante de la señalética, visible (100m) y legible (25m), revisar estado de estructuras que la soportan  | Ajustar estructuras de soporte, limpiar superficie de la señalética |
| Cercos             | Revisar estado del cerco, corroborar altura de diseño, corroborar perímetro 1.1 veces el de la obra, revisar estado de estructuras que lo soportan, revisar estado de los candados en los accesos del cerco   | Ajustar estructuras de soporte                                      |
| Bermas             | Revisar estado de bermas, corroborar altura de diseño, corroborar perímetro 1.1 veces el de la obra, revisar estado de estructuras de soporte (mallas de gaviones si aplica), registrar daños de bermas que impidan el transito normal de vehículos | Ajustar malla de gaviones en lugares donde se detecte (si aplica)   |
| Bloqueo de caminos | Revisar la integridad del bloqueo, corroborar altura mínima de bloqueo de 1.5m  | Acomodar escombros para prevenir el bloqueo de otros caminos        |

Tabla 11: MO y MP para accesos

| <b>Técnica</b>     | <b>Mantencción correctiva (MC)</b>  |
|--------------------|---|
| Señalética         | Cambiar señalética, reemplazar estructuras de soporte, pintar señalética, retirar escombros que impidan su visibilidad, cambio de lugar   |
| Cercos             | Reparar cerco, levantar cerco (añadir estructura extra en caso de que la altura del cerco sea menor a la estipulada en el diseño de cierre), aumentar perímetro del cerco en caso que no sea mayor a 1.1 veces el de la obra, reemplazar estructuras de soporte, cambio de candado de accesos |
| Bermas             | Reparar mallas de gaviones (si aplica), acomodar o reparar berma, retirar escombros de bermas de los caminos o accesos  |
| Bloqueo de caminos | Reparar bloqueo   |

Tabla 12: MC para accesos

### 3.4.2 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE TALUDES

| <b>MO</b>  |
|--|
| Realizar inspección visual en busca de nuevas fallas, meteorización y agrietamientos en el talud |
| Realizar levantamiento topográfico (solo una vez al año)   |
| Verificar ángulo de talud y de material en reposo  |
| Verificar existencias de nuevas descargas de agua  |
| Verificar presión de poros y niveles freáticos   |
| Verificar sobrecarga y peso sobre los taludes  |
| Realizar análisis de equilibrio límite para factores de seguridad igual o mayor a 1.5            |
| Medir extensión de los escombros procedentes de fallas producidas a la fecha                     |

Tabla 13: MO de taludes

| <b>MP/MC</b>  |
|---|
| Apernar roca en zonas donde el macizo rocoso se haya debilitado                       |
| Perforar drenajes en zonas del macizo con alta presión de poros o filtración de aguas |
| Construir canales de captación y/o desviación de aguas en zonas de filtración         |
| Remover escombros en zonas de derrumbes   |
| Realizar reperfilamiento de taludes en zonas de remoción en masa                      |
| Realizar cercado y delimitación de zonas de peligro de remoción en masa               |

Tabla 14: MP/MC de taludes

### 3.4.3 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE APERNADO DE ROCAS

| <b>MO</b>   |
|---|
| Realizar inspección visual en busca de fracturas cerradas/abiertas, fallas, grietas y cárcavas en macizo apernado |
| Realizar levantamiento topográfico (solo una vez al año)  |
| Realizar medición y verificación del parámetro ESR  |
| Verificar estado del apernado (ajustes, oxidación del material y vandalismo)                                      |
| Verificar presión de poros, niveles freáticos y existencia de nuevas descargas de agua                            |
| Realizar lectura de extensómetros   |
| Medir extensión de los escombros procedentes de fallas producidas a la fecha                                      |

Tabla 15: MO de apernado de rocas

| <b>MP/MC</b>  |
|---|
| Ajustar y tensar aquellos pernos que con el tiempo se hayan debilitado  |
| Cambiar del tipo de perno usado debido a variaciones de esfuerzos, calidad del macizo rocoso o presencia de agua  |
| Realizar perforaciones nuevas para reemplazar aquellas deterioradas o que hayan cumplido su vida útil   |
| Rediseñar la malla debido al incumplimiento de los requerimientos de estabilidad en el tiempo o a variaciones de esfuerzos, calidad del macizo rocoso o presencia de agua |
| Realizar cercado y delimitación de zonas de peligro de remoción en masa   |

Tabla 16: MP/MC de apernado de rocas

### 3.4.4 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE APERTURAS DE DRENAJE

| <b>MO</b>  |
|--|
| Realizar inspección visual en busca de fracturas cerradas/abiertas, fallas, grietas y cárcavas en el macizo apernado |
| Realizar levantamiento topográfico (Solo una vez al año)   |
| Inspeccionar el estado de drenaje  |
| Inspeccionar el estado, número y espaciamiento de perforaciones  |
| Verificar presión de poros, niveles freáticos y existencia de nuevas descargas de agua                               |

Tabla 17: MO de apertura de drenaje

| <b>MP/MC</b>   |
|--|
| Limpieza perforaciones de drenaje obstruidas para mantener en el tiempo un flujo constante de agua y evitar la obstrucción por sedimentación |
| Realizar nuevas perforaciones debido al aumento de presión de poros o restablecimiento del nivel freático                                    |
| Realizar nuevas perforaciones en el mismo lugar de aquellas que se encuentren obstruidas   |

Tabla 18: MP/MC de apertura de drenaje

### 3.4.5 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE RELLENO DE RAJO

| <b>MO</b>   |
|---|
| Realizar inspección visual en busca de desniveles, hundimientos, erosión o apozamientos |
| Realizar levantamiento topográfico (Solo una vez al año)                                |
| Realizar test de penetración de cono  |
| Verificar contenido de humedad  |
| Verificar existencias de descargas de agua  |
| Verificar presión de poros y niveles freáticos  |
| Realizar test de proctor  |
| Realizar ensayo de consolidación  |

Tabla 19: MO de relleno de rajo

| <b>MP/MC</b>  |
|---|
| <b>Restablecer y nivelar de la topografía del relleno</b> |

Tabla 20: MP/MC de relleno de rajo

### 3.4.6 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE CANALES DE DESVIACIÓN DE AGUAS

| <b>MO</b>   |
|---|
| Realizar inspección visual a lo largo del canal   |
| Detectar curvas rectas o desviaciones del canal   |
| Detectar intervención del canal debido a la acción animal o del hombre  |
| Verificar estado de la sección del canal en lugares de erosión (curvas y gran variación de pendiente)   |
| Detectar acumulaciones de agua debido a bloqueos parciales o totales. Sobre todo, en aquellos tramos donde existan curvas, desviaciones o pendientes desfavorables o planas   |
| Medir revancha  |
| Medir caudal  |
| Verificar estado del canal: Corroborar en el tiempo que los parámetros de diseño no se han modificado significativamente. Se deben comparar los elementos de diseño originales con los actuales: Ancho superior del canal sin agua, ancho base canal, talud de contención del canal aguas arriba y aguas abajo (si aplica), profundidad del canal, coeficiente de rugosidad, velocidad de escurrimiento, sección transversal y ancho de berma (si aplica) |

Tabla 21: MO de canales de contorno

| <b>MP/MC</b>  |
|---|
| Rediseñar y construir canales en aquellas zonas donde la dirección de las aguas afecta a las comunidades, medio ambiente o actividades económicas u otras faenas        |
| Rediseñar y corregir canales en sectores de desviaciones y de curvas rectas   |
| Reconstruir canal en zonas erosionadas  |
| Retirar y limpiar escombros o sedimentos que obstruyan el flujo de agua en los canales  |
| Reconstruir o corregir canal en zonas donde la erosión o la acción de animales o del hombre hayan modificado el área transversal del canal u otros parámetros de diseño |
| Reconstruir de taludes erosionados o derrumbados  |
| Sellar intervenciones de aguas debido a la acción del hombre que hayan o no sido notificadas y no hayan sido autorizadas  |
| Rediseñar el canal en caso de aumento inesperado (y no considerado) de caudal   |

Tabla 22: MP/MC de canales de contorno

### 3.4.7 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE TRANQUES DE RELAVES

| <b>MO</b>   |
|---|
| Realizar las actividades descritas en el monitoreo de taludes (si aplica)   |
| Realizar las actividades descritas en el monitoreo de apernado de rocas (si aplica)   |
| Realizar las actividades descritas en el monitoreo de apertura de drenaje (si aplica)   |
| Realizar las actividades descritas en el monitoreo de revegetación (si aplica)  |
| Realizar las actividades descritas en el monitoreo de canales de desviación de aguas (si aplica)  |
| Verificar estado estructural del muro del tranque y muros construidos posteriormente en la base del tranque. Búsqueda de filtraciones en el muro                                |
| Realizar inspección visual y verificación del estado del sistema de drenaje   |
| Medir la humedad de los relaves   |
| Inspeccionar el sistema de pozos de recolección de aguas filtradas en la base del muro del tranque y verificar su funcionamiento y la cantidad de agua recolectada en el tiempo |

Tabla 23: MO de tranques de relaves

| <b>MP/MC</b>  |
|---|
| Realizar las actividades descritas en la mantención de taludes (si aplica)  |
| Realizar las actividades descritas en la mantención de apernado de rocas (si aplica)  |
| Realizar las actividades descritas en la mantención de apertura de drenaje (si aplica)  |
| Realizar las actividades descritas en la mantención de revegetación (si aplica)   |
| Realizar las actividades descritas en la mantención de canales de desviación de aguas (si aplica)   |
| Reparación del muro en caso de filtraciones mediante tendido o reperfilamientos de taludes  |
| Construir drenajes y canales de captación de aguas de filtración  |
| Limpieza de canales de drenaje debido a la acumulación de sedimentos  |
| Aplicar la técnica de descabezamiento (si existe deformación en el coronamiento del muro)   |
| Adoptar acciones de reforzamiento (nuevas medidas de cierre), si existen deformaciones, movimiento, fallas o fracturas en el muro   |
| Sellar y reparar muros de contención o gaviones dañados o deformados  |
| Cubrir la superficie de los muros y tranques con un material de granulometría más gruesa (para evitar el polvo en suspensión en el caso de no haberse aplicado otra medida antes) |
| Reparar o calibrar el sistema de pozos de recolección de aguas filtradas  |

Tabla 24: MP/MC de tranques de relaves

### 3.4.8 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE REVEGETACIÓN, GEOSINTÉTICOS, CUBRIMIENTO CON SUELO NATURAL, CUBIERTA Y SELLO O ENCAPSULAMIENTO

| MO   |
|--|
| Revisar el estado de mallas, redes, mantas metálicas o georedes                                  |
| Analizar el contenido de humedad y permeabilidad   |
| Medir de presión de poros y niveles freáticos  |
| Diagnosticar calidad de suelos   |
| Medir espesor del suelo  |
| Realizar seguimiento del tamaño de la especie vegetal sobre el suelo y tamaño de raíces          |
| Medir la cantidad de especies vegetativas  |
| Verificar los parámetros del factor de seguridad en presencia de especies vegetales (Ver anexos) |
| Verificar el sistema de riego de las especies vegetativas  |

Tabla 25: MO de revegetación, geosintéticos, cubrimientos y encapsulamientos

| MP/MC  |
|--|
| <b>Regar</b> cuidando de no generar apozamientos ni variaciones en la superficie del suelo (frecuencia según tipo de especie vegetativa)                                     |
| Cambiar el tipo de vegetación (debido a una mala selección o por condiciones climáticas)   |
| Reemplazar, reparar o reponer estructuras que promueven el crecimiento de la vegetación por su meteorización en el tiempo, vandalismo o derrumbes (emplazamiento en taludes) |
| Reponer de especies vegetativas debido a robos, vandalismo o muerte de ellas por malos cuidados, mal riego o el contacto de las raíces con los relaves                       |
| Reponer capa de suelo en zonas donde ha existido erosión o actividad animal  |
| Nivelar el suelo en zonas donde la superficie se ha deformado debido a apozamientos de agua, riego irregular, actividad animal o humana                                      |

Tabla 26: MP/MC de revegetación, geosintéticos, cubrimientos y encapsulamientos

### 3.4.9 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE SELLADO DE PIQUES, SOCAVONES Y SUBSIDENCIAS

| MO  |
|---|
| Realizar inspección visual del estado de los sellos de piques, perfilamiento del terreno, cierre de accesos (túneles, piques y chimeneas) |
| Realizar inspección visual de descargas de aguas hacia o desde la interior mina   |
| Realizar inspección visual en busca de excavaciones lateral a los accesos   |
| Realizar las actividades descritas en el monitoreo de canales de desviación de aguas (si aplica)  |
| Evaluar condiciones hidráulicas y estructurales de sellos en casos de descarga de agua al exterior  |
| Realizar análisis estructural de construcciones de concreto y roca  |
| Medir presión de poros y niveles freáticos  |
| Medir pendientes en cráter de subsidencia   |
| Verificar geófonos (si aplica) en busca de evidencia de movimiento del suelo  |
| Verificar la presencia de fallas o fracturamiento nuevo dentro del área de influencia de la subsidencia                                   |
| Realizar levantamiento topográfico en búsqueda de asentamientos del terreno (solo una vez al año)   |

Tabla 27: MO de sellado de piques, socavones y subsidencias

| <b>MP/MC</b>  |
|---|
| Reparar o reemplazar sellos en mal estado o con presencia de fracturas, fallas o que hayan sido víctima de vandalismo y robos de materiales                           |
| Realizar las actividades descritas en la mantención de canales de desviación de aguas (si aplica)   |
| Reponer topografía o suelo perdido debido a excavaciones laterales del sello por acción de animales, del hombre o erosión   |
| Reconstruir parcial o totalmente la superficie alrededor del sello con el fin de permitir un buen escurrimiento de aguas superficiales lejos de las instalaciones     |
| Rellenar subsidencia con material estéril (en caso de que no se haya hecho) debido a su aumento descontrolado   |
| Aumentar el área de seguridad y controles de accesos debido al aumento de la subsidencia  |
| Aplicar técnica de grouting, relleno por gravedad o colapso por explosivos en labores subterráneas colindantes con la subsidencia para impedir el crecimiento de esta |

Tabla 28: MP/MC de sellado de piques, socavones y subsidencias

### 3.4.10 MONITOREO Y MANTENCIÓN DE OBRAS ESTRUCTURALES CIVILES Y OTROS

| <b>MO</b>   |
|---|
| Realizar inspección visual en búsqueda de zonas de apozamiento, erosionables o que expongan las fundiciones de concreto que no hayan podido ser retiradas |
| Realizar las actividades descritas en el monitoreo de control de accesos  |
| Verificar la integridad de sitios declarados protegidos o patrimoniales   |

Tabla 29: MO de obras civiles y otros

| <b>MP/MC</b>  |
|---|
| Realizar reposición y nivelación de la capa de suelo                      |
| Secar zonas de apozamiento de agua y renivelar el terreno                 |
| Restaurar flujos de aguas superficiales                                   |
| Restaurar sitios declarados protegidos o patrimoniales                    |
| Realizar las actividades descritas en la mantención de control de accesos |

Tabla 30: MP/MC de obras civiles y otros

## 3.5 PLAN ANTE EVENTOS

### 3.5.1 ACCIDENTE/INCIDENTE

En caso de falla de las medidas de cierre, que puedan tener consecuencias catastróficas para las comunidades cercanas, es necesario contar con planes comunales de emergencia en fases correspondientes al alistamiento y disposición de los recursos del Sistema de Protección Civil para prevenir y/o controlar eventuales situaciones derivadas de este fenómeno. Una vez estabilizada la situación y comprobar la estabilidad de las medidas de cierre. A continuación, es posible analizar los enfoques del plan ante eventos, los que podemos clasificar en los siguientes temas:

1. Estudio y delimitación del área afectada
  - a. Catastro de residuos o remanentes mineros involucrados
  - b. Catastro de medidas que fallaron
  - c. Determinación de las características del contaminante
  - d. Catastro de medios de migración a receptores
  - e. Catastro de receptores afectados (en caso de accidente) o que podrían verse afectados (incidente)
  
2. Acciones a tomar
  - a. Contención y aislamiento
  - b. Clasificación y descarte:
    - i. ¿Qué es más urgente tratar?
    - ii. ¿Qué es más urgente retirar?
  - c. Organización:
    - i. ¿De qué manera se limpiará la zona?
    - ii. ¿Cuánto tiempo tomará la limpieza?
    - iii. ¿Cuál es el criterio de éxito de limpieza de la zona?
    - iv. ¿Maquinaria? ¿Mano de obra?
    - v. ¿En qué lugar se depositarán los desechos y remanentes mineros?
  
3. Limpieza:
  - a. Al final de la limpieza ¿Se cumplió el criterio de “limpio”?
  - b. La limpieza ¿Es permanente?
  - c. ¿Cómo se mantendrá limpio?
  - d. ¿Qué recursos se necesitaría para ello?
  - e. ¿Qué mejoraría el grado de limpieza del sitio?
  
4. Replanteamiento y ejecución de medidas de cierre
  - a. Reevaluación de situación de riesgo
  - b. Nuevas medidas de cierre a considerar (planificación y ejecución)
  - c. Nuevo plan de postcierre a considerar (planificación y ejecución)
  
5. Pagos
  - a. Indemnización a los receptores afectados
  - b. Pago de multas

### 3.6 REEVALUACIÓN DEL PLAN POSTCIERRE DE FAENAS MINERAS

Una vez cumplidos los 5 años del PPC, se deberá realizar una reevaluación del plan con el fin de determinar la frecuencia y continuidad del monitoreo y mantenencias a perpetuidad de los distintos residuos y remanentes mineros. Cabe destacar que 5 años es un período de tiempo representativo para inferir y determinar situaciones de estabilidad a largo plazo sumado, además, a los antecedentes recopilados durante la operación y el cierre de la faena, y considerando los años de retorno de eventos naturales extremos puede respaldar la decisión de la frecuencia y continuidad del PCC. Para ello, se debe seguir la siguiente metodología:



Figura 22: Antecedentes necesarios para las decisiones a tomar en la reevaluación

Luego de aplicada la metodología anterior, se debe proceder a decidir acerca del futuro de los residuos y remanentes mineros:

1. Continuar con el PPC semestral de forma parcial (para algunos residuos y remanentes mineros) o total, ya que el monitoreo ha demostrado presentar anomalías significativas durante los 5 años y se han realizado mantenencias correctivas.
2. Cambiar actividades de monitoreo y mantenencias, junto a su frecuencia.
3. Aplicar una nueva medida de remediación a un residuo o remanente minero específico con el fin de sustituir o apoyar la anterior (aplicable cuando el nivel de riesgo no es residual). Esta decisión es seguida por la creación de un nuevo PPC para la nueva medida de remediación adoptada.

### 3.7 ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL POSTCIERRE

La estimación de costos desde los estudios de perfil hasta la construcción, es fundamental y determinante en la evaluación de proyectos. Pero, como un plan de cierre (y en consecuencia el postcierre) evoluciona en el tiempo, se debe tener la capacidad, tanto técnica como económica, para afrontar dichos cambios y asimilarlos, actualizando los planes sin mayor impacto en el costo final. Dicha capacidad presenta una mayor responsabilidad para generar estimaciones más precisas y preparadas para las distintas contingencias, logrando una gestión más transparente y autosostenible.

En capítulos anteriores, ya se ha descrito la metodología de cálculo de costos para el postcierre y la información mínima que debe contener y presentarse según el SERNAGEOMIN; sin embargo, en la planificación y evaluación de proyectos, para afrontar lo descrito en el párrafo superior, es útil realizar un análisis de costos mediante límites de precisión.

Desde la etapa de los estudios de perfil, se espera que los costos sean solo estimaciones aproximadas, no obstante, es útil reconocer los límites de precisión de cada ítem de costos mediante un porcentaje como, por ejemplo, \$200,000 +30%/-10% y, en consecuencia, se reconoce que el verdadero costo de este ítem fluctúa entre \$180,000 y \$260.000. Una vez que se reconoce que los costos pueden variar, es importante identificar los distintos eventos que producen dichas variaciones para así manejar los riesgos implicados. En el contexto del trabajo, el cálculo de los costos de postcierre, está dirigido a las provisiones adecuadas para monitorear y mantener las medidas de cierre de una faena y, debido a esto, se proponen a continuación cuatro aspectos para el análisis y estimación de costos de cada elemento del plan de postcierre:

1. Cantidad actividad de monitoreo o mantención a realizar: Este valor puede hacer referencia a las veces que se ejecuta una actividad en el tiempo (en caso de monitoreos) o a la cantidad de material que se utilizará (en caso de mantenciones). El valor puede ser el resultado de mediciones, estimaciones, benchmarking de otras faenas o de la experiencia personal.
2. Costo por unidad de la cantidad de la actividad: Este valor hace referencia al costo que tiene ejecutar una actividad (en caso de monitoreo) o al costo unitario del material a usar (en caso de mantenciones). El valor puede ser estimado a partir de la experiencia personal o extraído de información pública.
3. Tolerancia: Este valor hace referencia a las variaciones de costos total que, por experiencia, pueden ocurrir debido al aumento de días utilizados para realizar monitoreos extraordinarios o mantenciones.
4. Contingencia: Este valor hace referencia a las variaciones de costos total (incluida la tolerancia) debido a un evento extremo imprevisto con consecuencias negativas (ver capítulo 3.4 y 3.5)

| Actividad | Cantidad [veces por año o cuantía de material] | Variación en cantidad [+%/-%] | Costo unitario [UF] | Variación de costo unitario [+%/-%] | Tolerancia [+%] | Contingencia [+%] |
|-----------|--|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|
|           |  |                               |                     |                                     |                 |                   |

Tabla 31: Propuesta para la gestión y control de costos para el postcierre

Finalmente, recapitulando lo expuesto en la sección 2.4.4 “Garantías de cierre y fondo postcierre”, para el cálculo del fondo postcierre, se debe realizar una estimación del valor presente de las medidas en unidades de fomento (UF), considerando los costos anuales efectuados a partir del año inmediatamente posterior al cierre de la faena, descontadas a la tasa del BCU de al menos 10 años, de la forma que lo muestra la siguiente fórmula:

$$MPC = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1 + BCU10)^i}$$

Ecuación 1: Monto de las medidas de postcierre

Definiendo:

**MPC:** Monto de las medidas de postcierre de la faena minera.

**A<sub>i</sub>:** Costo de las medidas de postcierre en el año “i”.

**BCU10:** La tasa de los bonos emitidos por el Banco Central de Chile UF de al menos 10 años correspondiente a la del último día hábil del mes anterior a la presentación del plan.

Para el cálculo del costo anual de las medidas de postcierre (A<sub>i</sub>), este trabajo propone integrar los costos indirectos con el fin de solucionar el vacío que deja el no obligar a las empresas a considerarlo o simplemente no informarles, implicando un gran cambio en la revisión de los planes de postcierre por parte del SERNAGEOMIN y de la Superintendencia de Valores y Seguros (SVS), quienes, al calificar la garantía de cierre y el fondo postcierre, deberán tomar en cuenta las actividades que implican los costos indirectos. Por otro lado, se deben especificar las contingencias, las cuales corresponden a lo visto en el capítulo 3.4 “Plan postcierre: medidas de monitoreo y mantención de riesgos residuales”

De esta forma la estructura de costos presentada en la sección 2.4.4 “Garantías de cierre y fondo postcierre” queda de la siguiente forma:

| Ítem   | Valor anual [UF] |
|--|------------------|
| Costo medidas de postcierre                    |                  |
| Costo indirecto total                          |                  |
| Costo de administración                        |                  |
| Contingencias                                  |                  |
| <b>Monto anual del Plan de Postcierre [UF]</b> |                  |

Tabla 32: Propuesta de costos a considerar para el postcierre

En donde la valorización incluye:

1. **Costos Directos:** Monto los materiales directos y la mano de obra destinada a la medida de postcierre.
2. **Costos Indirectos:** Monto de la mano de obra, materiales y servicios requeridos como apoyo para la efectiva realización de la medida de postcierre, como por ejemplo los servicios de alimentación, aseo, transporte, vigilancia, mantenimiento y otros.
3. **Costos de Administración:** Se deberá considerar que las medidas de postcierre las realizará un tercero por cuenta del SERNAGEOMIN y deberá incluir las utilidades del tercero.
4. **Costos por Contingencias:** Costo asociado a la incertidumbre a la valorización realizada

Al momento de calcular el monto del fondo postcierre, se debe considerar que ciertas medidas tendrán una duración a perpetuidad, por lo tanto, es necesario evaluar el MPC al infinito o, matemáticamente hablando, igualar el índice “n” al infinito y estimar la convergencia de la ecuación (el desarrollo del estudio matemático puede verse en la sección X de los anexos)

Dada la matemática del problema, es posible concluir que el cálculo del monto del fondo postcierre a perpetuidad converge y el año en que ocurre esto está determinado según el valor de la tasa BCU10; sin embargo, esta comprobación es netamente matemática y es necesaria complementarla con criterios económicos. Para ello, se asumirá un valor constante de costo anual de las medidas de postcierre igual a 1 [unidad monetaria] y se evaluarán 1000 años a una tasa de descuento BCU10 igual a 0.0142 (Fuente: Boletín mensual del Banco Central 06/06/2016). Para mejorar la visualización gráfica, los flujos tendrán un valor positivo (esto en la realidad no ocurre debido a que todos los flujos anuales calculados para el fondo postcierre son negativos)

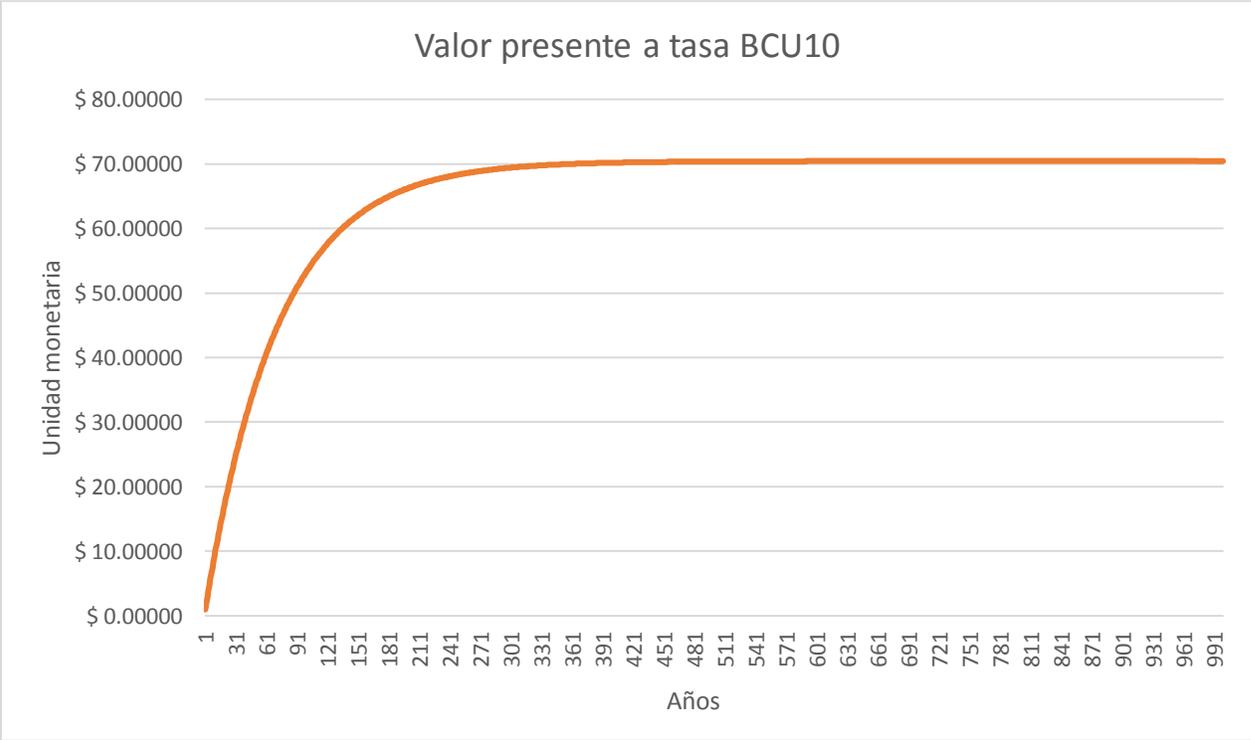


Figura 23: Gráfico de valores presentes neto a distintos períodos para el cálculo del MPC a tasa BCU10

El resultado arroja que la convergencia (MPC = 70.422 [unidades monetarias]) se logra a los 836 años; no obstante, la diferencia entre un período de evaluación de 836 años y uno de 350 años es de 0.5 [unidades monetarias], lo cual económicamente no es significativo y en consecuencia permite dar cuenta que las actividades declaradas a ser realizadas a perpetuidad pueden ser evaluadas hasta 350 años o menos (según el valor que el BCU10 tenga al momento de la evaluación)

### 3.8 APLICACIÓN AE-PC

Para facilitar el análisis de escenarios de cierre y postcierre de faenas mineras se ha propuesto implementar la metodología AE-PC en una aplicación computacional programada en “Visual Basic” que ayude, automáticamente, a organizar los análisis y ordenar los resultados obtenidos, para priorizar aquellas evaluaciones con mayor puntaje, mostrando alertas cuando los escenarios no contienen información acerca de una pregunta o no se ha respondido una. Además, la aplicación guarda los distintos escenarios para una modificación o reevaluación posterior, manteniéndolos siempre a disponibilidad del usuario. En el capítulo 4 de este trabajo se puede encontrar un ejemplo de la utilización de esta aplicación.

A continuación, se presentan imágenes de la aplicación:

| MENÚ PRINCIPAL |                                   |
|----------------|-----------------------------------|
| Sección 1      | Preguntas preliminares            |
| Sección 2      | Caracterización del emplazamiento |
| Sección 3      | Características del contaminante  |
| Sección 4      | Migración del contaminante        |
| Sección 5      | Exposición a contaminantes        |
| Sección 6      | Evaluación postcierre mina        |
| RESULTADOS     |                                   |
| CRÉDITOS       |                                   |

Figura 24: Menú principal de la aplicación AE-PC

| Volver al Menú Principal   | Comprobar | SECCIÓN 1 | Ir a Sección 2 |
|--|-----------|-----------|----------------|
| Respuestas sin puntaje   |           |           |                |
| ¿Hay riesgo probable de contaminación bacteriana, biológica o radiactiva?                        |           |           |                |
| ...  |           |           |                |
| ¿Se han llevado a cabo las investigaciones ambientales en los lugares donde se emplazan los PAM? |           |           |                |
| ...  |           |           |                |

Figura 25: Sección 1 de la aplicación AE-PC

| Volver al Menú Principal                      | Comprobar | SECCIÓN 2 | Ir a Sección 1 | Ir a Sección 3 |
|---|-----------|-----------|----------------|----------------|
| Relleno de recuadros (Respuestas sin puntaje) |           |           |                |                |
| Tipo de remanente o residuo minero            |           |           |                |                |
| ...   |           |           |                |                |
| Descripción del remanente o residuo minero    |           |           |                |                |
| ...   |           |           |                |                |

Figura 26: Sección 2 de la aplicación AE-PC

Volver al Menú Principal Comprobar **SECCIÓN 5** Ir a Sección 4 Ir a Sección 6

Preguntas con puntaje referente a los receptores de los contaminantes: Personas, medio ecológico y otros

**PUNTAJE**

Exposición o impacto a las personas

Uso de suelos para las personas

Nivel de accesibilidad a la parte contaminada del sitio (probabilidad de entrar en contacto con la contaminación)

Distancia de lugares de residencia o actividad económica al sitio contaminado

Figura 27: Sección 5 de la aplicación AE-PC

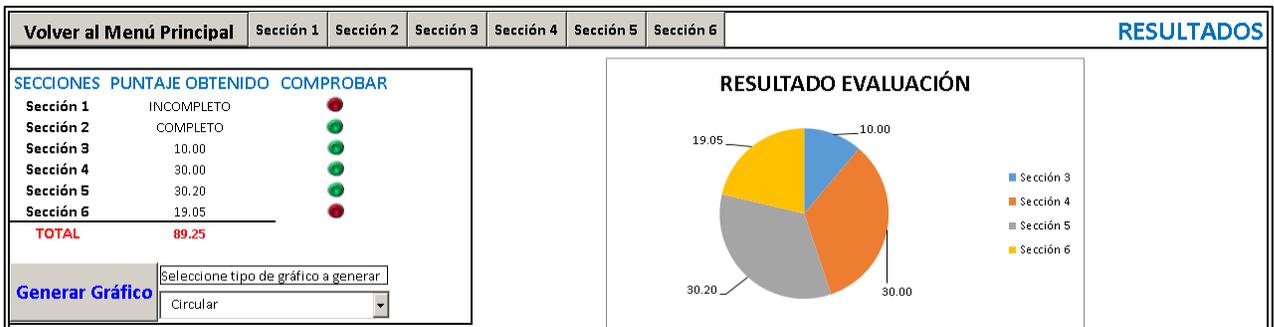


Figura 28: Sección de resultados de la aplicación AE-PC

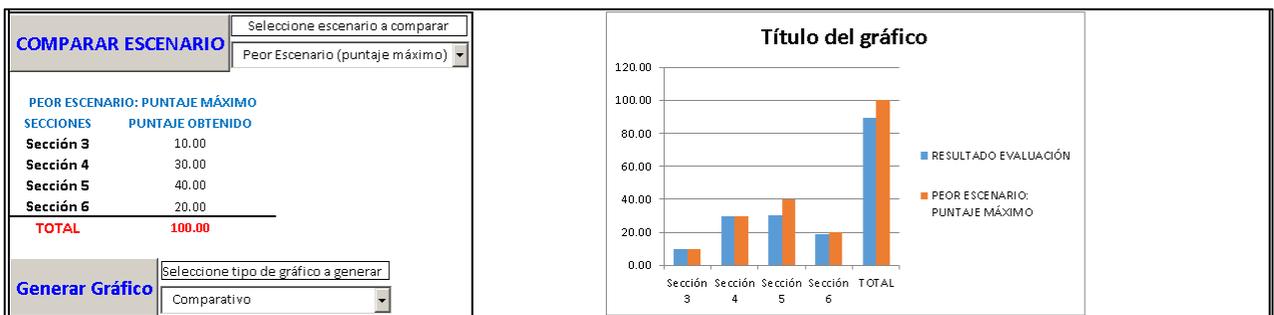


Figura 29: Sección de comparación de resultados de la aplicación AE-PC

En la aplicación, específicamente en las comprobaciones, siempre se indica en color rojo las secciones con respuestas “sin información” o sin responder, siendo un aviso para que el usuario comprenda que el escenario que está evaluando genera un menor impacto negativo ambiental debido a la falta de información y respuestas y, por lo tanto, es potencialmente un caso más desfavorable que otros contestados de forma completa, ya que, al completar la información faltante, su puntaje puede aumentar.

## 4. EJEMPLO DE UTILIZACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA

Para concretar el uso de esta aplicación, se realizará un ejemplo didáctico en basado en un escenario hipotético de un tranque de relaves a partir de su proyecto inicial.

Para llevar a cabo este ejemplo, se asumirán las siguientes condiciones:

1. El proyecto aún no se lleva a cabo y se encuentra en estudio de perfil.
2. El proyecto se ubicará en el sector de Chacabuco-Polpaico, Región Metropolitana, Chile.
3. Se utilizarán antecedentes y datos de proyectos reales de tranques de relaves
4. Se responderán las preguntas de la herramienta AE-PC descritas en la sección 7.3 de los anexos
5. Se utilizará la normativa ambiental de la sección 7.5 de los anexos
6. Se asumirán los resultados de la evaluación de riesgo para el cierre y postcierre
7. Se asumirá solo la existencia de un plan de cierre y no de postcierre

### 4.1 ANÁLISIS DEL TRANQUE DE RELAVES CON AE-PC

#### 4.1.1 CONTEXTO

A continuación, en la primera imagen (figura 36) se puede visualizar el estado inicial del terreno, indicándose la futura ubicación del tranque en rojo. En la segunda, se muestra una fotografía satelital con la ubicación del tranque y las locaciones aledañas más importantes.



Figura 30: Imagen Landsat TM, Sector Chacabuco-Polpaico, Chile, 1989. Ubicación del tranque

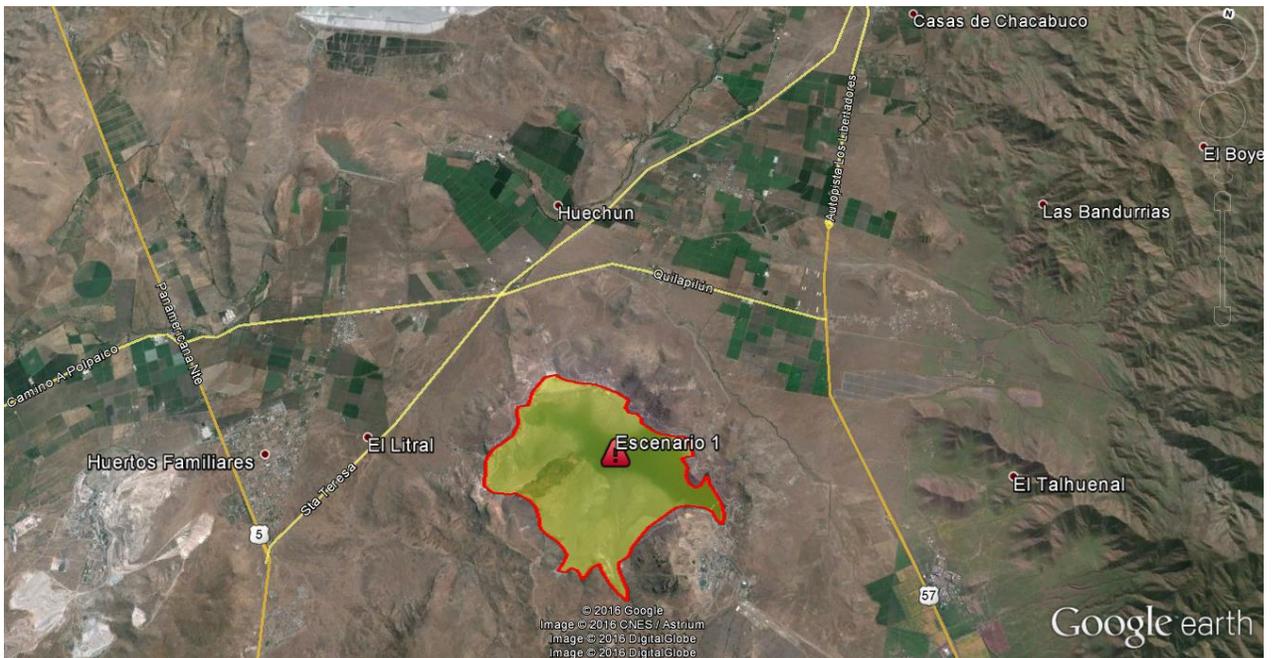


Figura 31: Google (s.f.), mapa del sector Chacabuco-Polpaico, Chile en Google earth, recuperado el 10 de marzo de 2015. Distribución espacial futura del tranque y entornos

#### 4.1.2 DESARROLLO DE PREGUNTAS

##### Sección 3: Características del contaminante

##### 1- Residencia Media (8 puntos)

Los contaminantes del tranque se encuentran presentes en los siguientes medios: Suelo (en la superficie de los muros, deposición en suelos cercanos por acción eólica y evaporación), agua subterránea (infiltraciones), agua superficial (en las aguas claras del tranque) y sedimentos (la parte sólida del relave)

Esto suma 8 puntos

##### 2- Peligro Químico (8 puntos)

El grado relativo de peligro químico debe seleccionarse con base al contaminante más peligrosos conocido o sospechado de estar presente en el sitio. Para esto, se utilizará la siguiente tabla de composición esperada del agua del embalse:

| Elemento          | Valor esperado |
|-------------------|----------------|
| pH Terreno        | 7              |
| Sólidos disueltos | 1500 [mg/l]    |
| Calcio            | 228.2 [mg/l]   |
| Magnesio          | 1.2 [mg/l]     |
| Potasio           | 59.8 [mg/l]    |
| Sodio             | 25.4 [mg/l]    |
| Bicarbonato       | 84.9 [mg/l]    |
| Cloruro           | 80 [mg/l]      |
| Sulfato           | 600 [mg/l]     |
| Arsénico          | <0.05 [mg/l]   |
| Bario             | <0.5 [mg/l]    |
| Boro              | 0.6 [mg/l]     |
| Cadmio            | <0.01 [mg/l]   |
| Cobalto           | 0.02 [mg/l]    |
| Cobre             | 0.1 [mg/l]     |
| Cromo             | <0.05 [mg/l]   |
| Hierro            | 0.5 [mg/l]     |
| Manganeso         | 0.3 [mg/l]     |
| Mercurio          | <0.001 [mg/l]  |
| Molibdeno         | 3 [mg/l]       |
| Plomo             | <0.1 [mg/l]    |
| Selenio           | <0.01 [mg/l]   |
| Zinc              | 0.1 [mg/l]     |

Tabla 33: Composición esperada del agua sobrenadante del tranque [mg/l]

En la tabla anterior se pueden identificar la presencia esperada de elementos como arsénico y mercurio, los cuales poseen un riesgo alto según la definición dada por la FCSAP

### 3- Factor de excedencia (6 puntos)

La clasificación debe basarse en contaminante con mayor excedencia respecto a las normas ambientales. En este caso, el molibdeno, el cual posee una concentración esperada de 3 mg/l, mientras la norma de agua para riego exige 0.01 mg/l. Esto implica una concentración 300 veces mayor.

### 4- Cantidad de contaminante (9 puntos)

El área de contaminación del tranque de relave es mayor a 10 hectáreas

### 5- Tipos de contaminantes presentes (3 puntos)

Dada la tabla de composición esperada del agua del embalse, se pueden considerar contaminantes los sólidos disueltos, sulfatos, manganeso, molibdeno y se sospecha de cadmio y mercurio.

## Sección 4: Migración del contaminante

### 1- Aguas subterráneas

#### a. Propiedades del agua subterránea (12 puntos)

En cuanto a las propiedades del agua subterránea, se puede distinguir que posee receptores claros que es la comunidad de Huertos Familiares.

#### b. Identificación de Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC) (6 puntos)

Las concentraciones de contaminantes exceden las concentraciones permisibles y significa un riesgo para el consumo, riego, ganado y/o recreación. Se sospecha o existe contacto potencial de contaminantes con agua subterránea.

#### c. Movilidad (2 puntos)

Los metales se encuentran expuestos a condiciones alcalinas debido al pH = 7.6 de las aguas subterráneas según la siguiente tabla:

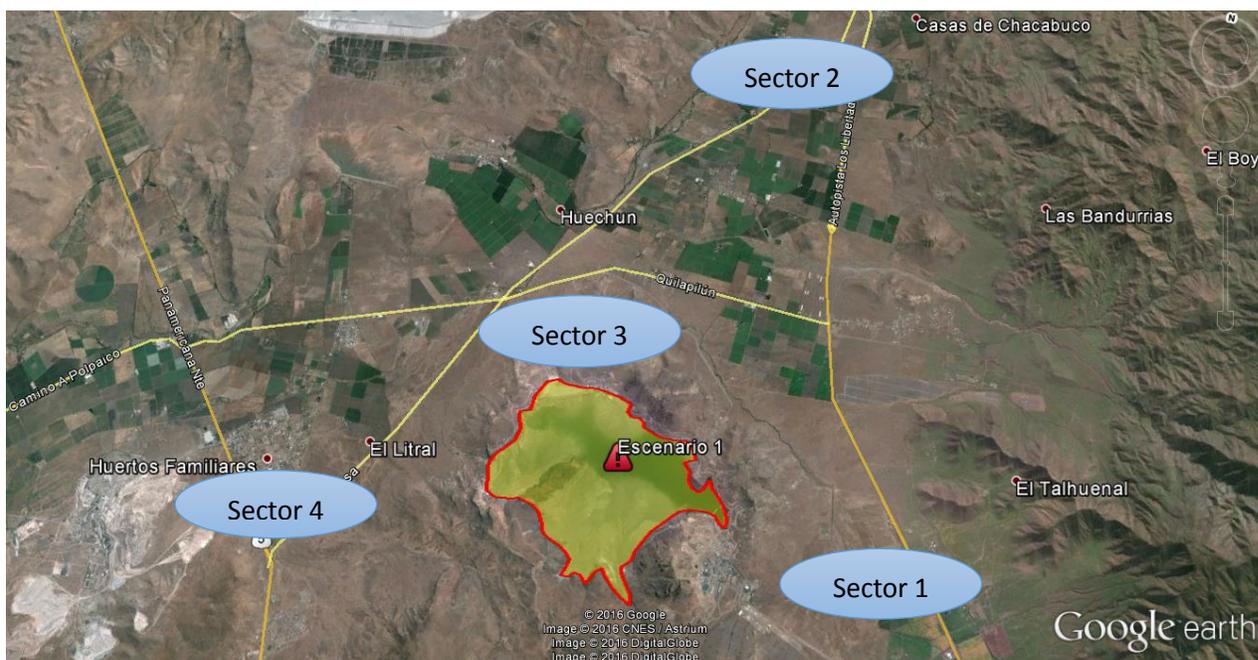


Figura 32: Mapa de ubicación de los sectores a medir la acidez del terreno

| Elemento                | Sector 1 | Sector 2 | Sector 3 | Sector 4 |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| pH promedio del terreno | -        | 7.6      | 7.8      | 7.9      |

Tabla 34: Acidez por sector del terreno en los alrededores del tranque

#### d. Existencia de contención de contaminantes en el subsuelo (2 puntos)

El diseño no contempla una contención artificial hacia aguas subterráneas, pero existe naturalmente la capa de subsuelo, por lo que se considera una contención parcial.

#### e. Distancia horizontal al agua subterránea (2 puntos)

El tranque de relaves se encuentra a una distancia aproximada de entre los 100m y 500m de los acuíferos



Figura 33: Flujos de aguas subterráneas en el sector del tranque

**f. Espesor de la capa de confinamiento (3 puntos)**

El espesor de la capa natural que separa el relave de la napa subterránea tiene como mínimo 3 metros

**g. Conductividad hidráulica de la capa de confinamiento (2 puntos)**

La conductividad hidráulica de la capa que separa el tranque de relaves y las aguas subterráneas posee un valor que va de  $10^{-7}$  a  $10^{-4}$ , como se muestra en el siguiente esquema:

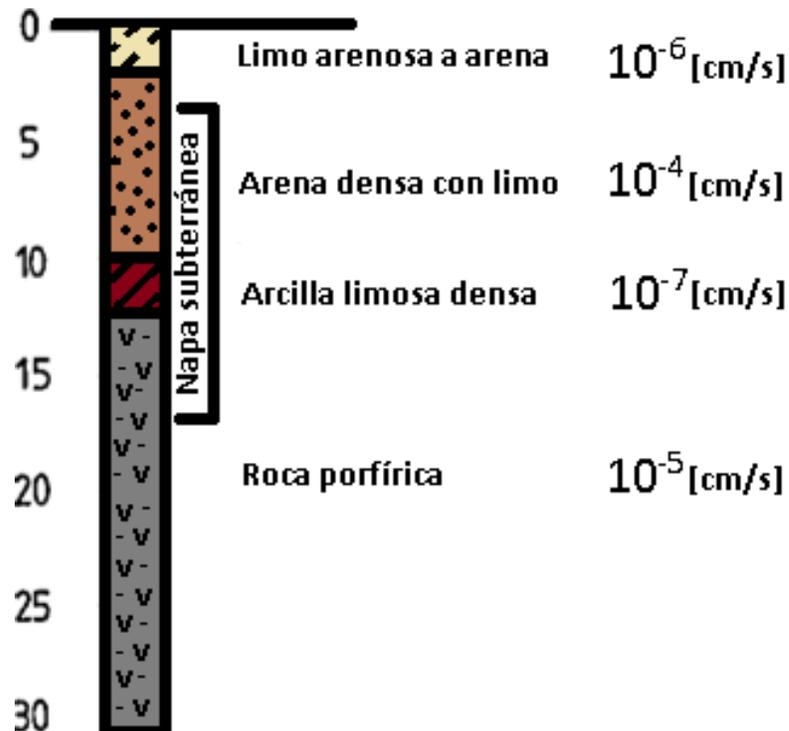


Figura 34: Perfil de suelo en el sector del tranque

**h. Factor de infiltración de precipitaciones (1 punto)**

Las precipitaciones anuales en la zona en promedio son de 300 mm (Fuente: Climate-Data.org. Promedio aproximado entre los sectores de Huechún y Huertos familiares) y considerando una textura de limo arenoso a arena limosa con grava que cuyo factor de permeabilidad es en promedio 0.4, tenemos un factor de infiltración de 0.12

**i. Conductividad hidráulica del acuífero (2 puntos)**

Los estudios del lugar indican que la conductividad hidráulica del acuífero es de  $10^{-4}$  (considerando el caso más adverso de arena densa con algo de limo)

**j. Nivel de vulnerabilidad del acuífero según método BGR (2 puntos)**

No existe información suficiente disponible

**2- Aguas superficiales**

**a. Propiedades del agua superficial (12 puntos)**

En cuanto a las propiedades del agua superficial, se puede distinguir que posee receptores claros que es la comunidad de Huertos Familiares y Huechún.



Figura 35: Google (s.f.), mapa del sector Chacabuco-Polpaico, Chile en Googlemaps, recuperado el 10 de marzo de 2015. Distancia del tranque al estero Peldehue

**b. Identificación de Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC) (6 puntos)**

Las concentraciones de contaminantes exceden las concentraciones permisibles y significa un riesgo para el consumo, riego, ganado y/o recreación. Se sospecha o existe contacto potencial de contaminantes con agua superficiales.

**c. Movilidad (2 puntos)**

Los metales se encuentran expuestos a condiciones alcalinas debido al pH igual y superior a 7.8 de las aguas subterráneas según la siguiente tabla:

| Parámetros              | Unidad       | Quilapilún | Huechún |
|-------------------------|--------------|------------|---------|
| pH                      |              | 8.5        | 7.8     |
| Conductividad eléctrica | micromhos/cm | 471        | 364     |
| STD                     | mg/l         | 344        | 372     |
| Al                      | mg/l         | 14.7       | 2.8     |
| Al disuelto             | mg/l         | 1.8        | 0.8     |
| As                      | mg/l         | 0.009      | 0.005   |
| B                       | mg/l         | 0.1        | 0.07    |
| Fe                      | mg/l         | 12.5       | 3.1     |
| Fe disuelto             | mg/l         | 1.3        | 0.88    |
| Mn                      | mg/l         | 0.24       | 0.03    |
| Mo                      | mg/l         | 0.001      | 0.008   |
| K                       | mg/l         | 5.2        | 3.3     |

Tabla 35: Calidad del agua superficial de los esteros Quilapilún y Huechún, 1990

**d. Existencia de contención de contaminantes (2 puntos)**

Existencia de contención artificial hacia aguas superficiales (muros tranque), sin embargo, se considera que estos muros pueden sufrir de infiltraciones, por lo que se considera una contención parcial.

**e. Distancia al agua superficial (1 punto)**

Existe una distancia mayor a 300m desde el muro del tranque al agua superficial más cercana (1.11km al estero Peldehue)

**f. ¿En qué parte del curso del río se encuentra más cercano el residuo o remanente minero? (2 puntos)**

El tranque las tórtolas se encuentra en el curso medio (transporte) del estero Peldehue

**g. Topografía (5 puntos)**

Los contaminantes se encuentran sobre el nivel del suelo y la pendiente de las presas varía de los 27° (2:1) aguas arriba a los 14° (4:1) aguas abajo en la parte final, lo que implica que es una pendiente mayoritariamente inclinada.

**h. Potencial de escorrentía (2 puntos)**

Se utilizará de referencia los sectores 2.1 y 2.2 (a ambas orillas del estero Peldehue)



Figura 36: Mapa para el estudio de suelos en el sector del tranque de relaves Las Tórtolas, 1988

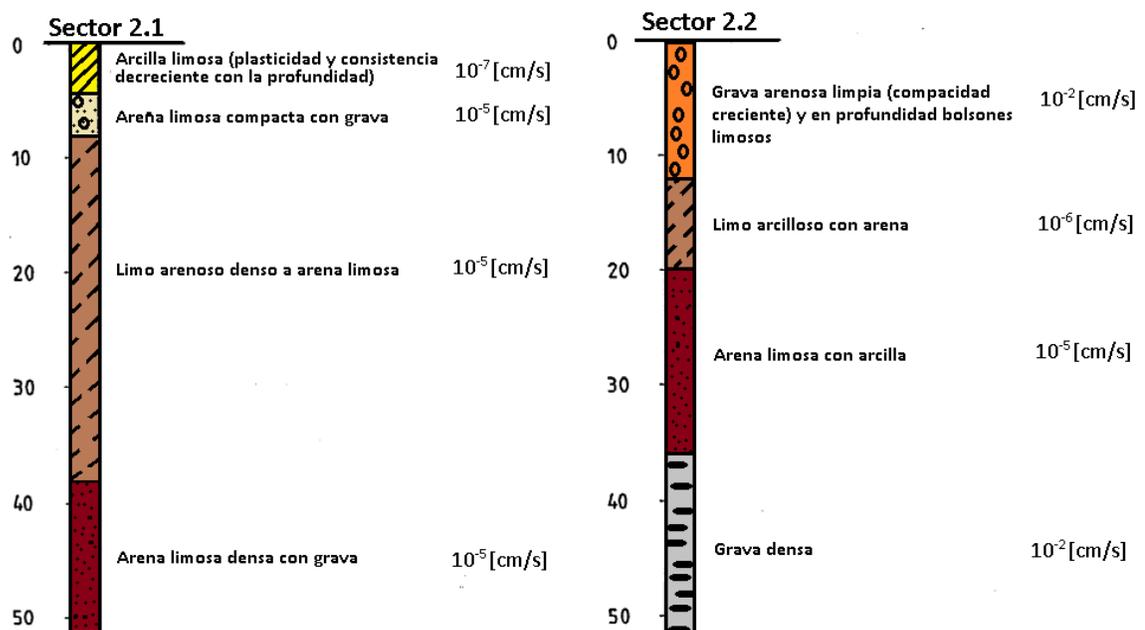


Figura 37: Perfiles de suelos sector 2.1 y 2.2, 1988

Las precipitaciones anuales en la zona en promedio son de 300mm (Fuente: Climate-Data.org. Promedio aproximado entre los sectores de Huechún y Huertos familiares). Sin embargo, considerando una textura de arcilla limosa a arena limosa en el sector 2.1 y grava arenosa en el sector 2.2, tenemos 2 factores de permeabilidad y por lo tanto 2 potenciales de escorrentía:

- Sector 2.1 con factor de permeabilidad 0.9, potencial de escorrentía = 0.27
- Sector 2.2 con factor de permeabilidad 0.2, potencial de escorrentía = 0.06

Considerando el caso más favorable para la formación de escorrentías, se tomará el valor de 0.27, lo cual indica que es un potencial bajo.

#### i. Potencial de inundación (0 puntos)

El tranque no se ubica en el del plano de inundación del estero Peldehue, por lo tanto, no se considera inundación.

### 3- Los suelos (Polvo en suspensión, exposición cutánea e ingestión)

#### a. La dirección del viento (6 puntos)

Se llama dirección del viento al punto del horizonte de donde viene o sopla, en este caso, para el mes de enero, el resultado es en promedio viento del suroeste (Fuente: weather.com, estación meteorológica embalse Huechún), el que tiene incidencia directa sobre los sectores agrícolas y residencial al sur de la localidad de Casas de Chacabuco: Quilapilún y Quilapilún alto, El Colorado y El Canelo

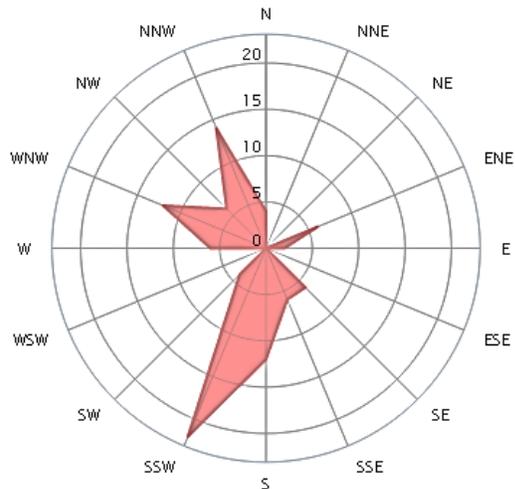


Figura 38: Promedio anual de la rosa de los vientos sector Huechún [%]



Figura 39: Google (s.f.), mapa del sector Chacabuco-Polpaico, Chile en Googlemaps, recuperado el 10 de marzo de 2015. Dirección del viento y localidades afectadas.

#### b. ¿Existe riesgo de erosión eólica? (6 puntos)

Hay presencia de vientos superiores a los 20Km/Hr que afectan directamente al sector del embalse (Fuente: weather.com, estación meteorológica embalse Huechún)

**c. Identificación de Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC) (12 puntos)**

Los estudios sobre la composición del agua en el tranque, revela la existencia de sustancias de alto peligro químico y otras que exceden los niveles de concentración permisibles. Por lo tanto, dichas sustancias pueden sedimentar en los muros y posteriormente ser transportadas vía aérea por erosión eólica.

**d. ¿Los suelos están cubiertos? (4 puntos)**

El relave se encuentra expuesto a la erosión eólica

**e. ¿Qué parte del año el sitio permanece cubierto por nieve? (4 puntos)**

En el sitio no se registran cubiertas de nieve

**4- Vapor**

**a. Identificación de Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC) (0 puntos)**

No existen concentraciones de sustancias químicas superiores a las permisibles en el vapor

**b. Volatilidad relativa de la sustancia química (0 puntos)**

No existen sustancias químicas volátiles

**c. Tamaño de grano del suelo (0 puntos)**

No existen sustancias químicas volátiles

**d. Profundidad entre la superficie y la fuente contaminante (0 puntos)**

No existen sustancias químicas volátiles

**e. Existencia de vías preferenciales de migración de evaporación de aguas (0 puntos)**

No existen sustancias químicas volátiles

**5- Movimiento de sedimentos**

**a. Migración de sedimentos que contienen Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC) (0 puntos)**

Los sedimentos de los relaves han sido contenidos y no hay ninguna indicación de que migrarán en el futuro o hay ausencia de vías de migración de sedimentos (a menos que fallen los muros del embalse)

**b. Los sedimentos que contienen concentraciones de sustancias químicas superiores a las permisibles ¿Se encuentran cubiertos con sedimentos limpios? (4 puntos)**

Los sedimentos depositados en el tranque no se encuentran cubiertos cuando están depositados en la falda de los muros

**c. Espesor de la capa de sedimentos limpios (4 puntos)**

No existe capa de sedimentos limpios

**d. Para los lagos y los hábitats marinos poco profundos ¿Los sedimentos contaminados son afectados por la acción de las mareas, el oleaje o movimiento de hélices de transporte marítimo? (0 puntos)**

Los sedimentos no se encuentran en un lago o hábitat marino poco profundo

**e. ¿En qué parte del río se encuentran los sedimentos contaminados? (0 puntos)**

Los sedimentos no se encuentran en un río

**6- Remociones en masa**

**a. ¿El sitio de emplazamiento es considerado lluvioso? (2 puntos)**

Sí, Las precipitaciones anuales en la zona en promedio son de 300mm (Fuente: Climate-Data.org. Promedio aproximado entre los sectores de Huechún y Huertos familiares)

**b. ¿Existe escurrimiento de aguas superficiales al interior de minas subterráneas, rajos u otro tipo de instalaciones? (0 puntos)**

No

**c. ¿Existe presencia de aguas subterráneas en faena? (0 puntos)**

No

**d. ¿La faena presenta riesgo sísmico? (2 puntos)**

Sí

**e. ¿Se ha determinado el comportamiento frente a eventos sísmicos extremos? (0 puntos)**

Sí

**f. ¿Se han realizado estudios de estabilidad de taludes? (0 puntos)**

Sí

**g. Factor de seguridad estático y sísmico (2 puntos)**

Según el informe del Proyecto de Expansión Los Bronces Tranque de Relaves las Tórtolas (PROY1622), el factor de seguridad de la presa principal es 1.4918

**h. Ángulo de reposo del material (2 puntos)**

Según el informe del Proyecto de Expansión Los Bronces Tranque de Relaves las Tórtolas (PROY1622), el ángulo de las presas varía desde los 27° (2:1) aguas arriba a los 14° (4:1) aguas abajo en la parte final. Las presas fueron construidas con arena que posteriormente ha sido compactada, la cual tiene un ángulo de reposo característico que va desde los 27° hasta los 35° (las variaciones se deben a la pérdida de compactación en el tiempo)

**i. ¿Existen especies vegetales en el sitio? (4 puntos)**

No existen especies vegetativas en las presas del tranque

**j. Medición del factor de seguridad (FS) del suelo en presencia de vegetación (4 puntos)**

No existen especies vegetativas en las presas del tranque

## Sección 5: **Exposición a contaminantes**

### Sección 5.1: **Personas**

#### 1- **Impacto conocido**

##### a. **Exposición conocida (12 puntos)**

Fuertes sospechas Impacto adverso documentado o exposición alta que tiene o va a resultar en un efecto adverso, lesión, perjuicio o menoscabo de la seguridad como consecuencia del lugar contaminado. Basado en observaciones o pruebas indirectas

#### 2- **Impacto potencial**

##### a. **Uso de suelos (12 puntos)**

El uso de la tierra en los alrededores es agrícola y residencial principalmente

##### b. **Nivel de accesibilidad a la parte contaminada del sitio (probabilidad de entrar en contacto con la contaminación) (12 puntos)**

Barreras limitadas para impedir el acceso al sitio; contaminación no cubierta. Hay acceso controlados y no controlados para vehículos.



Figura 40: Google (s.f.), Chile en Google Street View, recuperado el 10 de marzo de 2015. Acceso al tranque por calle Santa Teresa



Figura 41: Google (s.f.), Chile en Google Street View, recuperado el 10 de marzo de 2015. Acceso al tranque por calle Quilapilún



Figura 42: Google (s.f.), Chile en Google Street View, recuperado el 10 de marzo de 2015. Acceso al tranque por autopista Los Libertadores



Figura 43: Google (s.f.), Chile en Google Street View, recuperado el 10 de marzo de 2015. Barreras tipo cerco por calle Santa Teresa

**c. Distancia de lugares de residencia o actividad económica al sitio contaminado (3 puntos)**

Existen 2km a sitios de actividad agrícola (El Litral) y 1.5km a viñedos en el sector de Quilapilún



Figura 44: Google (s.f.), mapa del sector Chacabuco-Polpaico, Chile en Googlemaps, recuperado el 10 de marzo de 2015. Sector a El Litral



Figura 45: Google (s.f.), mapa del sector Chacabuco-Polpaico, Chile en Googlemaps, recuperado el 10 de marzo de 2015. Viñedo del sector Quilapilún

**d. Contaminación por contacto directo (6 puntos)**

Los relaves no están cubiertos

**e. Inhalación de vapor (0 puntos)**

No hay edificios habitables cercanos

**f. Inhalación de polvo (3 puntos)**

Las presas se construyeron con material seco de relaves (ciclonado), el cual tiene un contenido máximo de 10% en peso pasante por la malla 200 ASTM (75 micrones). Por lo tanto, más del 50% de partículas de masa son superior a 75  $\mu\text{m}$  de diámetro medio,  $D_{50} > 75 \mu\text{m}$  (3)

**g. Ingesta de agua (3 puntos)**

Existe una proximidad de 1.1km al estero Peldehue

**h. ¿Existe una fuente alternativa de agua fácilmente disponible? (4 puntos)**

No

**i. ¿Es posible la ingesta de suelo por parte de las personas? (4 puntos)**

Sí

**j. Los alimentos consumidos por las personas ¿Han sido cultivados con agua y/o tierra contaminada? (4 puntos)**

Sí

**k. Fuerte dependencia de la población local sobre los recursos naturales para su supervivencia (0 puntos)**

No

**Sección 5.2: Ecológico**

**1. Impacto conocido**

**a. Exposición conocida (24 puntos)**

Impacto adverso documentado o exposición cuantificado alta que tiene o va a resultar en un efecto adverso, lesión o perjuicio o menoscabo de la seguridad para los organismos terrestres o acuáticos, como resultado del lugar contaminado

**2. Impacto potencial**

**a. Uso del suelo (12 puntos)**

Agricultura y tierras salvajes (Información: Uso agrícola se define como usos de la tierra donde las actividades están relacionadas con la capacidad productiva de la tierra o las instalaciones (por ejemplo, invernaderos) y están relacionadas con la alimentación y la vivienda de los animales como el ganado. Las tierras salvajes se agrupan con las tierras agrícolas debido a las similitudes en los receptores que se espera que ocurra (por ejemplo, los mamíferos herbívoros y aves) y la necesidad de similar un alto nivel de protección para garantizar el funcionamiento ecológico)

**b. Recepción potencial ¿Están o estarán las plantas y/o animales probablemente expuestos a los suelos contaminados en el sitio? (6 puntos)**

Sí

**c. Ingesta de agua ¿Están o estarán los animales terrestres ingiriendo agua probablemente contaminada en el sitio? (6 puntos)**

Sí

d. Ingesta de tierra ¿Están o estarán los animales terrestres ingiriendo tierra probablemente contaminada en el sitio? (6 puntos)

Sí

e. Distancia del área ecológica sensible al sitio contaminado (2 puntos)

Mayor a 5km



Figura 46: Mapa de áreas ecológicas protegidas en el sector norte de la región metropolitana

f. Descripción del medio ambiente acuático (0 puntos)

Sin ambiente acuático

g. Recepción potencial en medio acuático ¿Está o estará el medio ambiente acuático probablemente expuesto a aguas terrestres contaminadas? (0 puntos)

No

h. Distancia desde el sitio contaminado a un importante recurso de agua superficial (3 puntos)

Existe una proximidad de 1.1km al estero Peldehue

i. ¿Hay alguna posibilidad de que una especie en riesgo esté presente en el sitio contaminado? (6 puntos)

Sí. Se han identificado las siguientes especies animales vulnerables: Sapito de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*) y los reptiles: Culebra de cola larga (*Philodryas chamissonis*), la Lagartija lemniscata (*Liolaemus lemniscatus*), la Lagartija de los montes (*Liolaemus monticola*) y la Iguana chilena (*Callopistes palluma*). Dentro de las especies vegetativas, se encuentra el Guayacán (*Porlieria chilensis*) en estado vulnerable.

### Sección 5.3: Otros

1. ¿Existe evidencia conocida de impacto visual estético? (6 puntos)

Sí

2. ¿Existe evidencia de un potencial impacto visual estético producto de la migración de contaminantes o modificaciones físicas del sitio? (6 puntos)

Sí

3. ¿Existe evidencia de impacto olfativo? (0 puntos)

No

4. ¿Existe evidencia de impacto acústico? (0 puntos)

No

5. ¿Existe evidencia de crecimiento excesivo de plantas en los cuerpos de agua? (1 punto)

Sin información

6. ¿Hay pruebas de que el pescado, la carne o vegetales tomados del sitio o adyacente a este, tenga malos olores o sabores diferentes? (1 punto)

Sin información

7. ¿Existe evidencia de intervención o modificación de sitios con valor patrimonial o cultural? (0 puntos)

No

8. ¿Existe evidencia de una potencial intervención o modificación de sitios con valor patrimonial o cultural debido a la migración de contaminantes o modificaciones físicas del sitio? (0 puntos)

No

9. ¿Existe intervención o modificación de los accesos a sitios con valor patrimonial, cultural, natural o paisajístico? (0 puntos)

No

## Sección 6: Evaluación postcierre

### 1- Nivel de riesgo base

a. ¿Cuál es el nivel de la severidad de las consecuencias? (5 puntos)

Muy alta o catastrófica

b. ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de un hecho? (3 puntos)

Moderada

c. ¿Cuál es el tipo de riesgo? (3 puntos)

Alto

### 2- Medidas de control de riesgo base

a. Calidad de las medidas de control de riesgo base (1 punto)

Permanentes

b. Las medidas ¿Reducen la probabilidad de ocurrencia de un hecho? (0 puntos)

Sí

c. Las medidas ¿Reducen la severidad de las consecuencias de un hecho? (4 puntos)

No

d. Efectividad del control de la probabilidad de ocurrencia de un hecho (2 puntos)

80%-61%

e. Efectividad de la reducción de la severidad de las consecuencias de un hecho (4 puntos)

20%-0%

### 3- Nivel de riesgo residual

a. ¿Cuál es el nivel de la severidad de las consecuencias? (5 puntos)

Muy alta o catastrófica

b. ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de un hecho? (1 punto)

Muy baja

c. ¿Cuál es el tipo de riesgo? (2 puntos)

Medio

**4- Medidas de control de riesgo residual (Información: Medidas de postcierre sin considerar el monitoreo de variables ambientales)**

**a. ¿Es necesario el monitoreo de las medidas de cierre? (6 puntos)**

Sí

**b. ¿Es necesaria la mantención de las medidas de cierre? (6 puntos)**

Sí

**c. Frecuencia del monitoreo de las medidas de cierre (1 puntos)**

Anual

**d. Frecuencia de la mantención de las medidas de cierre (1 puntos)**

Anual

**e. ¿Se ha determinado la ubicación de los sitios de monitoreo? (4 puntos)**

No

**f. ¿Se han considerado sitios de monitoreo en lugar de representación poblacional? (4 puntos)**

No

**g. ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de un evento terrestre o climático extremo? (3 puntos)**

Moderada

**h. ¿Existe un plan de contingencias de monitoreo y mantenciones correctivas a las medidas de cierre ante eventos naturales extremos? (4 puntos)**

No

**i. ¿Existe un plan de remediación para el medio ambiente en caso de fallas de las medidas de cierre? (4 puntos)**

No

**j. ¿Existe un plan de remediación para personas en caso de fallas de las medidas de cierre? (4 puntos)**

No

**k. Al no poder remediar completa o parcialmente el daño ambiental o a las personas por fallas de las medidas de cierre ¿Se considera un plan de indemnizaciones? (4 puntos)**

No

**l. ¿Existe un plan de reevaluación de las medidas de cierre una vez concluidos 5 años después del cierre efectivo de la faena? (4 puntos)**

No

### 4.1.3 ANÁLISIS DE PUNTAJE OBTENIDO

| Sección      | Puntaje total obtenido escenario | Puntaje ajustado escenario |
|--------------|----------------------------------|----------------------------|
| Sección 3    | 34                               | 9.4                        |
| Sección 4    | 122                              | 16.6                       |
| Sección 5    | 142                              | 23.2                       |
| Sección 6    | 75                               | 14.3                       |
| <b>TOTAL</b> | <b>373</b>                       | <b>63.5</b>                |

Tabla 36: Puntaje obtenido del caso base

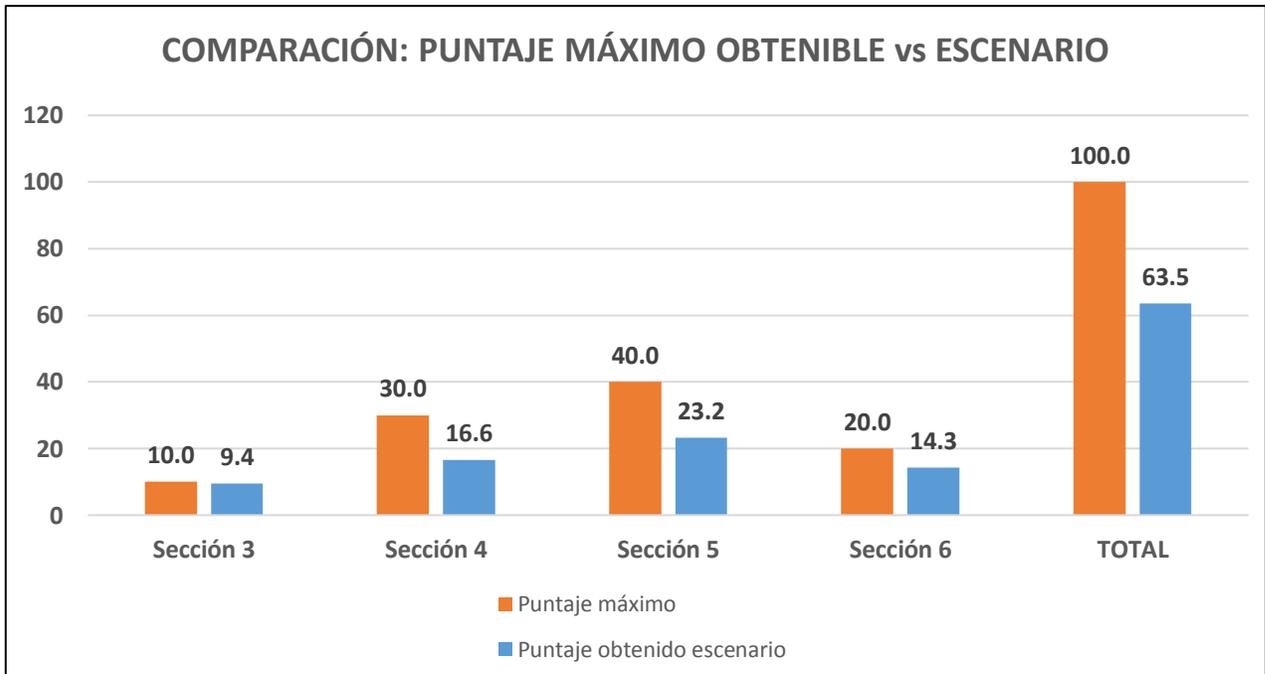


Figura 47: Comparación de puntaje máximo y caso base

| Sección      | Puntaje máximo | Puntaje caso escenario | Diferencia  |
|--------------|----------------|------------------------|-------------|
| Sección 3    | 10             | 9.4                    | 0.6         |
| Sección 4    | 20             | 16.6                   | 3.4         |
| Sección 5    | 40             | 23.2                   | 16.8        |
| Sección 6    | 30             | 14.3                   | 15.7        |
| <b>TOTAL</b> | <b>100</b>     | <b>63.6</b>            | <b>36.7</b> |

Tabla 37: Diferencia de puntaje entre el máximo y el caso base

## 4.2 PROPUESTA PLAN POSTCIERRE DEL ESCENARIO

Para poder planificar un postcierre, además de seguir los pasos del capítulo 3.4, es necesario considerar lo siguiente:

1. A partir del uso del AE-PC, jerarquizar las secciones que reflejen mayor peligro (menor diferencia de puntaje con respecto al puntaje máximo): Sección 3, sección 4, sección 6 y sección 5.
2. Proponer plan de postcierre con el objetivo de disminuir el puntaje en la sección 6
3. Enfocar las medidas de postcierre en aquellas secciones que reflejen mayor peligro

Sin embargo, para simplificar el ejemplo se asumirá lo siguiente:

1. El residuo o remanente minero corresponde al tranque de relaves del ejemplo del capítulo anterior.
2. El área de influencia ha sido identificada y determinada, pero para simplificar el trabajo, solo se reconocen como receptores las localidades de Huertos familiares, Litral, Huechún, Quilapilún y el río Peldehue.
3. Se cuenta con las medidas de cierre.
4. El riesgo residual resultante de cada medida de cierre ha sido calculado como bajo.
5. Para simplificar el trabajo, no se cuenta con información de monitoreo de variables ambientales.

### 4.2.1 IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE CIERRE

- Se construirá un vertedero en un costado del tranque para recibir caudales asociados a la crecida máxima probable proveniente de quebradas, esteros y aguas que no hayan sido secadas del tranque
- La superficie de los muros se protegerá con una capa de material granular grueso para evitar la erosión eólica e hídrica y una segunda capa vegetal para proteger la barrera y promover la evaporación.
- Se instalará una malla Rachel o similar en el coronamiento de los muros de arena, con el propósito de disminuir la velocidad del viento en contacto con el muro, interceptar material particulado y disminuir la pérdida de la capa vegetal por erosión eólica.

## 4.2.2 IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS POSTCIERRE

### Plan de monitoreo:

| Elemento a monitorear                             | Frecuencia | Plazo       | Observaciones  |
|---|------------|-------------|--|
| Bloqueo de caminos, cercos, portones y señalética | Anual      | 5 años      | Robos de materiales, vandalismo y desgaste con el tiempo |
| Humedad del tranque de relaves                    | Anual      | 5 años      | Período dependiente de la reevaluación postcierre        |
| Estado estructural de las presas                  | Anual      | 5 años      | Período dependiente de la reevaluación postcierre        |
| Estado de la capa vegetal                         | Anual      | 5 años      | Período dependiente de la reevaluación postcierre        |
| Estado malla Rachel                               | Anual      | 5 años      | Robos de materiales, vandalismo y desgaste con el tiempo |
| Estado de los canales de contorno y vertedero     | Anual      | Perpetuidad | Período dependiente de la reevaluación postcierre        |

Tabla 38: Detalle del plan de monitoreo 1

| Elemento  | Valores que aseguran la estabilidad  |
|---|--|
| Bloqueo de caminos, cercos, portones y señalética | Integridad   |
|   | Señalética visible a 100m y legible a 25m  |
|   | Perímetro de bermas y cercos al menos 1.1 veces el de la obra  |
|   | La altura mínima de bloqueo de caminos es de 1.5m  |
| Humedad del tranque de relaves                    | Un valor de humedad menor al 15% permite que exista una óptima compactación del material (debe disminuir en el tiempo) |
| Estado estructural de las presas                  | Factor de seguridad mayor o igual a 1.5  |
|   | Sin presencia de filtraciones en el muro   |
| Estado de la capa vegetal                         | Integridad y espesor del suelo vegetal en comparación con los parámetros iniciales                                     |
| Estado malla Rachel                               | Integridad   |
| Estado de los canales de contorno y vertedero     | Integridad (parámetros con que fueron diseñados)   |
|   | Caudal (valores típicos de los caudales de las quebradas)  |

Tabla 39: Detalle del plan de monitoreo 2

| <b>Elemento a monitorear</b>                      | <b>Actividades a realizar</b>  |
|---|--|
| Bloqueo de caminos, cercos, portones y señalética | Revisar estado de la pintura reflectante de la señalética y de estructuras   |
|   | Revisar estado del cerco, corroborar altura y perímetro de diseño, revisar estado de estructuras que lo soportan y de los candados en los accesos  |
|   | Revisar estado de bermas, corroborar altura y perímetro de diseño, revisar estado de estructuras de soporte (mallas de gaviones si aplica) y registrar daños que impidan el tránsito de vehículos  |
|   | Revisar la integridad del bloqueo  |
| Humedad del tranque de relaves                    | Buscar sectores de apozamiento y medir en terreno la humedad mediante un tensiómetro   |
| Estado estructural de las presas                  | Realizar levantamiento topográfico para el análisis de deformaciones   |
|   | Realizar estudios de análisis de estabilidad estáticos y dinámicos   |
|   | Verificar in situ los parámetros de diseño de las presas y vertedero   |
|   | Verificar la integridad y cantidad de los caudales de entrada y salida del vertedero   |
| Estado de la capa vegetal                         | Verificar el espesor y área del suelo vegetal  |
| Estado malla Rachel                               | Verificar integridad de la malla   |
| Estado de los canales de contorno y vertedero     | Realizar inspección visual a lo largo de los canales y del vertedero   |
|   | Detectar curvas rectas o desviaciones de los canales   |
|   | Detectar intervención del canal o vertedero debido a la acción animal o del hombre   |
|   | Verificar sección transversal del canal en lugares de erosión (curvas y gran variación de pendiente)   |
|   | Detectar acumulaciones de agua debido a bloqueos parciales o totales. Sobre todo, en aquellos tramos donde existan curvas, desviaciones o pendientes desfavorables o planas  |
|   | Medir la revancha  |
|   | Medir caudal   |
|   | Corroborar que los parámetros de diseño no se han modificado, comparándolos con los originales: Ancho superior del canal sin agua, ancho base canal, talud de contención del canal aguas arriba y aguas abajo (si aplica), profundidad del canal, coeficiente de rugosidad, velocidad de escurrimiento, sección transversal y ancho de berma (si aplica) |

Tabla 40: Detalle del plan de monitoreo 3

| <b>Elemento a monitorear</b>                      | <b>Ubicación de los sitios de monitoreo</b>  |
|---|--|
| Bloqueo de caminos, cercos, portones y señalética | En cada lugar donde existan portones, cercos, bermas, señalética y bloqueo de caminos              |
| Humedad del tranque de relaves                    | En sectores de apozamiento histórico en la superficie del tranque y en las presas                  |
| Estado estructural de las presas                  | En cada presa y el vertedero   |
| Estado de la capa vegetal                         | En parcelas de 200mx200m en donde haya capa vegetal  |
| Estado malla Rachel                               | En el sector donde se hayan instalado las mallas   |
| Estado de los canales de contorno y vertedero     | A lo largo de todos los canales de contorno, los canales que van al vertedero y el vertedero mismo |

Tabla 41: Detalle del plan de monitoreo 3

### Plan de mantención preventiva:

La evaluación de riesgos para el cierre de la faena garantiza que las medidas adoptadas aseguran la estabilidad física y química del tranque; sin embargo, para asegurar un control efectivo del peligro es necesario dar mantención a los equipos de monitoreo y a aquellas estructuras que pueden sufrir desgaste.

| Elemento a mantener                               | Actividades a realizar  |
|---|---|
| Bloqueo de caminos, cercos, portones y señalética | Ajustar malla de gaviones de bermas y estructuras de soporte de cercos y señalética       |
|   | Limpiar superficie de señalética  |
|   | Acomodación de escombros que bloquean otros caminos necesarios para otras actividades     |
| Estado malla Rachel                               | Ajustar mallas  |
| Estado de los canales de contorno y vertedero     | Limpieza y retiro de escombros o sedimentos que obstruyan el flujo de agua en los canales |

Tabla 42: Detalle del plan de mantenciones 1

| Elemento a mantener                               | Frecuencia | Plazo       | Observación   |
|---|------------|-------------|---|
| Bloqueo de caminos, cercos, portones y señalética | Anual      | Perpetuidad | Debe realizarse según criterio de la persona que visite el sitio durante el monitoreo |
| Estado malla Rachel                               | Anual      | Perpetuidad | Debe realizarse según criterio de la persona que visite el sitio durante el monitoreo |
| Estado de los canales de contorno y vertedero     | Anual      | Perpetuidad | Debe realizarse cada vez que se visite el sitio para su monitoreo                     |

Tabla 43: Detalle del plan de mantenciones 2

### Contingencias:

A continuación, se enlistan las actividades a realizarse en caso de contingencias con consecuencias de categoría accidente o incidente y las mantenciones correctivas a realizarse. Estas mantenciones deben realizarse cuando las inspecciones o valores del monitoreo arrojen resultados anormales o fuera de los rangos de estabilidad establecidos o en caso de accidente o incidente.

1. Estudio y delimitación del área afectada
  - a. Catastro de residuos o remanentes mineros involucrados
  - b. Catastro de medidas que fallaron
  - c. Determinación de las características del contaminante
  - d. Catastro de medios de migración a receptores
  - e. Catastro de receptores afectados (en caso de accidente) o que podrían verse afectados (incidente)
2. Acciones a tomar
  - a. Contención y aislamiento
  - b. Clasificación y descarte:
    - i. ¿Qué es más urgente tratar?
    - ii. ¿Qué es más urgente retirar?
  - c. Organización:
    - i. ¿De qué manera se limpiará la zona? (Actividades de mantención correctiva MC)
    - ii. ¿Cuánto tiempo tomará la limpieza?

- iii. ¿Cuál es el criterio de éxito de limpieza de la zona?
  - iv. ¿Maquinaria? ¿Mano de obra?
  - v. ¿En qué lugar se depositarán los desechos y remanentes mineros?
6. Limpieza:
- a. Al final de la limpieza ¿Se cumplió el criterio de “limpio”?
  - b. La limpieza ¿Es permanente?
  - c. ¿Cómo se mantendrá limpio?
  - d. ¿Qué recursos se necesitaría para ello?
  - e. ¿Qué mejoraría el grado de limpieza del sitio?
7. Replanteamiento y ejecución de medidas de cierre
- a. Reevaluación de situación de riesgo
  - b. Nuevas medidas de cierre a considerar (planificación y ejecución)
  - c. Nuevo plan de postcierre a considerar (planificación y ejecución)
8. Pagos
- a. Indemnización a los receptores afectados
  - b. Pago de multas

**A continuación, se presenta un listado de mantenciones correctivas que pudiesen realizarse en caso de contingencias:**

| <b>Mantención correctiva (MC)</b>   |
|---|
| Cambiar señalética, reemplazar estructuras de soporte, pintar señalética, retirar escombros que impidan su visibilidad, cambio de lugar   |
| Reparación de cerco, levantar cerco (añadir estructura extra en caso de que la altura del cerco sea menor a la estipulada en el diseño de cierre), aumentar perímetro del cerco en caso que no sea mayor a 1.1 veces el de la obra, reemplazar estructuras de soporte, cambio de candado de accesos |
| Reparar mallas de gaviones de la berma, acomodar o retirar escombros de los caminos o accesos   |
| Reparación del bloqueo  |

Tabla 44: MC de bloqueo de caminos, cercos, portones y señalética

| <b>Mantención correctiva (MC)</b>   |
|---|
| Reponer o cubrir sectores con material de granulometría gruesa como arena gruesa o grava            |
| Instalar mallas Rachel en zonas de erosión eólica o reparar aquellas que se encuentren siniestradas |

Tabla 45: MC de calidad del aire

| <b>Mantención correctiva (MC)</b>   |
|---|
| Reparar desviaciones, bloqueos o filtraciones de canales de contorno de aguas hacia el tranque  |
| Reparar la capa de material vegetal en lugares erosionados y cubrir aquellos en donde no exista |

Tabla 46: MC de humedad del tranque

| <b>Mantenimiento correctivo (MC)</b>  |
|---|
| Apernado de roca en zonas donde el macizo rocoso se haya debilitado   |
| Perforación de drenajes en zonas del macizo con alta presión de poros o filtración de aguas   |
| Construcción de canales de captación y/o desviación de aguas en zonas de filtración   |
| Remoción de escombros en zonas de derrumbes   |
| Reperfilamiento de taludes en zonas de remoción en masa   |
| Cercado y delimitación de zonas de peligro de remoción en masa  |
| Reparación del muro en caso de filtraciones mediante tendido o reperfilamientos de taludes  |
| Construcción de drenajes y canales de captación de aguas de filtración  |
| Limpieza de canales de drenaje debido a la acumulación de sedimentos  |
| Si hay deformaciones en el coronamiento del muro se debe aplicar descabezamiento del muro   |
| De existir deformaciones, movimiento, fallas o fracturas en el muro, se deben adoptar acciones de reforzamiento (mencionadas en las medidas de control de tranques o embalses de relaves) |

Tabla 47: MC del estado estructural de las presas del tranque y vertedero

| <b>Mantenimiento correctivo (MC)</b>  |
|---|
| Reparar sectores erosionados de la capa vegetal y cubrir aquellos que no tienen                 |
| Cambiar permeabilidad o pH del suelo según se requiera adicionando de distintos tipos de tierra |
| Reparar georedes o mantas volumétricas erosionadas o siniestradas                               |

Tabla 48: MC de capa vegetal

| <b>Mantenimiento correctivo (MC)</b> |
|--------------------------------------|
| Reparación de la malla               |
| Cambio de la totalidad de la malla   |

Tabla 49: MC de la malla Rachel

| <b>Mantenimiento correctivo (MC)</b>  |
|---|
| Rediseño y construcción de canales en aquellas zonas donde la dirección de las aguas afecta negativamente a las comunidades, medio ambiente o actividades económicas u otras faenas |
| Rediseño de canales en sectores de desviaciones y de curvas rectas  |
| Reconstrucción del canal en zonas erosionadas   |
| Limpieza y retiro de escombros o sedimentos que obstruyan el flujo de agua en los canales   |
| Reconstrucción o corrección del canal en zonas donde la erosión o la acción de animales o del hombre hayan modificado el área transversal del canal u otros parámetros de diseño    |
| Reconstrucción de taludes erosionados o derrumbados   |
| Sellar intervenciones de aguas debido a la acción del hombre que hayan o no sido notificadas y no hayan sido autorizadas  |
| Rediseñar el canal en caso de aumento inesperado de caudal  |
| Sellar y reparar muros de contención o gaviones dañados o deformados  |
| Reparar sectores del vertedero que hayan fallado  |
| Construir un nuevo vertedero aguas abajo e inutilizar el antiguo  |

Tabla 50: MC de canales al vertedero

### Estimación de costos anuales:

A continuación, se presenta un detalle con la metodología de costos aplicada de la metodología. Cabe destacar que la presentación se ha dividido en dos tablas, ya que en una se agrupan las actividades a realizar los primeros 5 años e incluyen tanto medidas de monitoreo como las de mantención mientras que, en la tabla siguiente, se agrupan las actividades a realizarse en los 345 años posteriores, considerando solo una actividad de monitoreo y el resto de mantención. Se ha asumido una tasa BCU10 igual a 0.0142, por lo tanto, los años para evaluar la perpetuidad es igual a 350.

| Actividad  | Cantidad [veces por año o cuantía de material] | Variación en cantidad [%/-0%] | Costo unitario [UF] | Variación de costo unitario [%/-0%] | Tolerancia [%] | Contingencia [%] |
|--|--|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------|------------------|
| MO Bloqueo de caminos, cercos, portones y señalética | 1  | [+100%/-0%]                   | 15                  | [+30%/-40%]                         | 15%            | 25%              |
| MO Humedad del tranque de relaves                    | 1  | [+100%/-0%]                   | 15                  | [+30%/-40%]                         | 20%            | 20%              |
| MO Estado estructural de las presas                  | 1  | [+100%/-0%]                   | 50                  | [+20%/-10%]                         | 30%            | 46%              |
| MO Estado de la capa vegetal                         | 1  | [+100%/-0%]                   | 15                  | [+30%/-40%]                         | 15%            | 25%              |
| MO Estado malla Rachel                               | 1  | [+100%/-0%]                   | 15                  | [+30%/-40%]                         | 15%            | 25%              |

Tabla 51: Detalle de estimación de costos de medidas postcierre que duran solo 5 años

| Actividad  | Cantidad [veces por año o cuantía de material] | Variación en cantidad [%/-0%] | Costo unitario [UF] | Variación de costo unitario [%/-0%] | Tolerancia [%] | Contingencia [%] |
|--|--|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------|------------------|
| MO Estado de los canales al vertedero                | 1  | [+100%/-0%]                   | 20                  | [+40%/-30%]                         | 15%            | 16%              |
| MP Bloqueo de caminos, cercos, portones y señalética | 1  | [+100%/-0%]                   | 15                  | [+30%/-40%]                         | 20%            | 55%              |
| MP Estado malla Rachel                               | 1  | [+100%/-0%]                   | 15                  | [+30%/-40%]                         | 20%            | 55%              |
| MP Estado de los canales al vertedero                | 1  | [+100%/-0%]                   | 40                  | [+40%/-30%]                         | 100%           | 50%              |

Tabla 52: Detalle de estimación de costos de medidas postcierre que duran a perpetuidad

Con las medidas valorizadas, se presentan los cálculos de los montos anuales de 5 y 345 años respectivamente. Se asumirá que el costo indirecto y de administración serán un 5% y 15% del costo directo total respectivamente.

| Ítem  | Valor anual [UF] |
|---|------------------|
| Costo directo total   | 274              |
| Costo indirecto total (5% del costo directo total)                    | 14               |
| Costo de administración total (15% del costo directo total)           | 41               |
| Contingencias   | 110              |
| <b>Monto anual de los 5 primeros años del Plan de Postcierre [UF]</b> | <b>439</b>       |

Tabla 53: Detalle de costos anuales los primeros 5 años

| Ítem   | Valor anual [UF] |
|--|------------------|
| Costo directo total  | 139              |
| Costo indirecto total (5% del costo directo total)                     | 7                |
| Costo de administración total (15% del costo directo total)            | 21               |
| Contingencias  | 63               |
| <b>Monto anual de 345 años posteriores del Plan de Postcierre [UF]</b> | <b>230</b>       |

Tabla 54: Detalle de costos anuales a perpetuidad

Finalmente, con ambos montos se calcula el valor presente de las medidas de postcierre considerando una tasa del BCU10 igual a 0.0142 en un plazo de 350 años. La evolución valores presentes (VP) y el valor presente neto (VPN) de las medidas de postcierre pueden apreciarse en el siguiente gráfico:

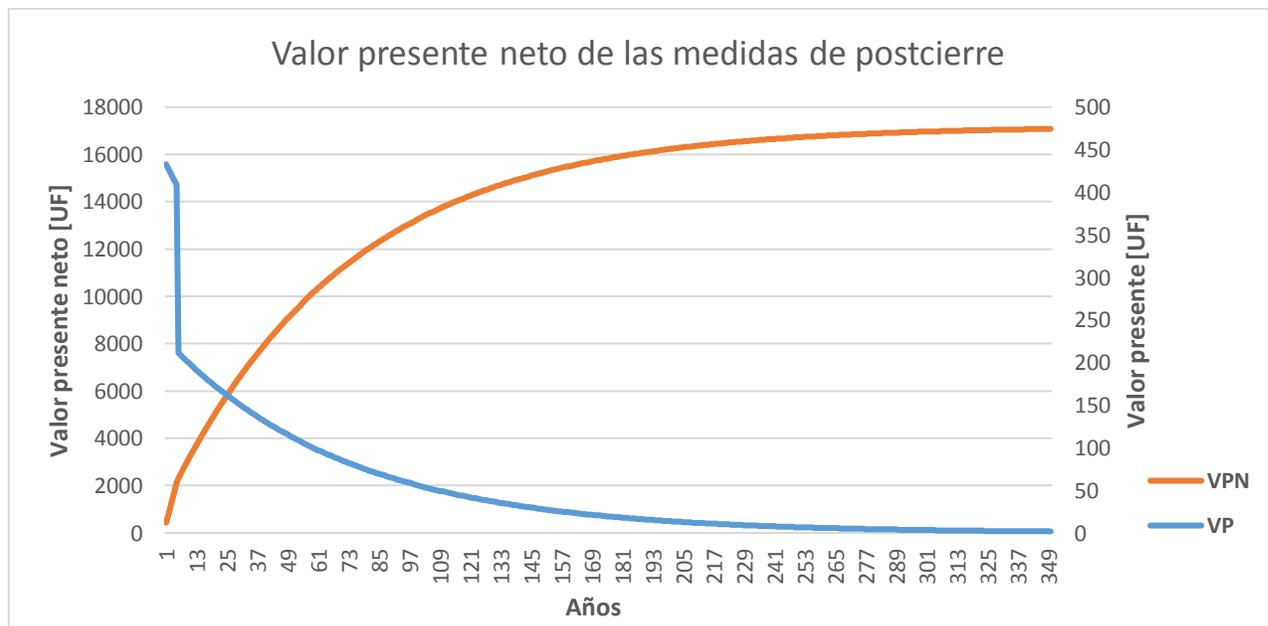


Figura 48: Convergencia de valores presentes y valores presentes neto en la estimación del MPC

Dado el resultado anterior, el valor presente neto de las medidas de postcierre es de 17,083 [UF]. Si asumimos que el valor de 1 [UF] es equivalente a 26,000 pesos chilenos y el valor de 1 [USD] es equivalente a 650 pesos chilenos, el valor del monto al fondo postcierre es aproximadamente 685,000 dólares o 445,000,000 de pesos chilenos.

## 5. CONCLUSIONES

El sistema de puntaje propuesto en el sistema AE-PC trabaja según la prevención de situaciones de riesgo antes que la remediación. Para explicarlo de mejor forma es posible ver, en la distribución de puntajes que gran peso se lo llevan las secciones 4 y 5 que son las más influenciadas por el diseño (contención de migración de contaminante) y severidad de las consecuencias de una falla (efecto sobre receptores). Por lo tanto, el hecho de no prevenir significativamente sobre dichas variables, no va a generar un gran cambio en el impacto ambiental final a pesar de optar por las mejores medidas de cierre y postcierre. Esto se refleja al comparar el caso analizado en el capítulo 4.1 con uno que cumple todas las exigencias del plan postcierre, como se muestra a continuación:

| Secciones    | Puntaje máximo obtenible | Puntaje escenario sin postcierre | Puntaje escenario con postcierre |
|--------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Sección 3    | 10                       | 9.4                              | 9.4                              |
| Sección 4    | 20                       | 16.6                             | 16.6                             |
| Sección 5    | 40                       | 23.2                             | 23.2                             |
| Sección 6    | 30                       | 14.3                             | 9.0                              |
| <b>Total</b> | <b>100</b>               | <b>63.5</b>                      | <b>58.2</b>                      |

Tabla 55: Comparación de puntajes con medidas de postcierre y sin ellas

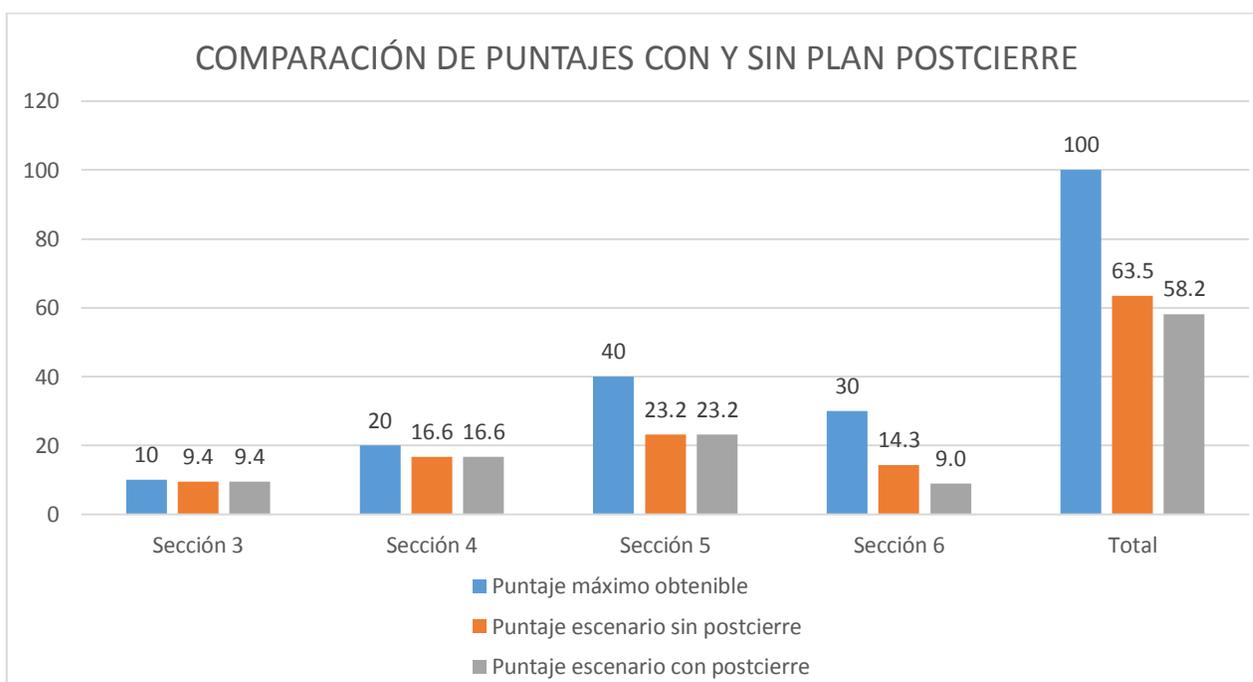


Figura 49: Comparación entre el puntaje máximo obtenible versus los escenarios con y sin plan postcierre

La existencia de un plan postcierre disminuye notablemente el puntaje en la sección 6, pero el resultado global no tiene una reducción tan significativa. Por lo tanto, a pesar de crear las mejores medidas de cierre y postcierre, esta herramienta no disminuirá su puntaje de forma importante y, como consecuencia, solo aumentarán los costos de los planes de cierre y postcierre. Es así como este sistema de clasificación constituye una importante herramienta de gestión y planificación para dar prioridad a la investigación y remediación de futuros residuos y remanentes mineros mediante la prevención, utilizando diseños que

prevengan la migración de contaminantes y las buenas prácticas en la construcción y operación de la mina. Por otro lado, si se obtiene un puntaje bajo en un escenario, esto no significa que sea mejor que otro escenario con un puntaje ligeramente mayor, ya que puede que la diferencia se deba a que el puntaje bajo haya sido obtenido con información faltante o con preguntas sin responder.

Dentro de las limitantes de este sistema está el hecho de que la evaluación de sitios contaminados se realiza en función de su potencial impacto negativo sobre la salud de ser humano y el medio ambiente, y si bien puede ser usado para hacer análisis en proyectos ya establecidos dadas algunas preguntas, no es su finalidad. Por otro lado, el sistema constituye solo una herramienta de detección. No está diseñada para proporcionar ya sea una evaluación de riesgos cualitativa o cuantitativa, sino más bien es una herramienta específicamente para la clasificación y priorización. Por lo que está fuera del alcance de esta tomar en consideración factores de carácter social, tecnológico o político. Por tanto, suelen ser necesarias investigaciones adicionales para los requisitos legales. Otra limitante es que es necesaria una cantidad definida de información existente que caracterice el sitio para su clasificación; no obstante, el sistema fue desarrollado en base a una revisión de los protocolos existentes de clasificación de sitios contaminados y técnicas de evaluación de riesgos, por lo tanto, se debe tener en cuenta que a medida que transcurren los años, dicha información debe ser actualizada y complementada. Y como última restricción, los residuos o remanentes mineros no deben ser clasificados con relación a otro de otra naturaleza, por ejemplo, no se deben comparar botaderos con tranques de relaves. El sistema propone que los sitios deben ser clasificados en sus características individuales con el fin de determinar la clasificación apropiada en distintos escenarios

Se recomienda analizar los siguientes puntos para mejorar o corregir el sistema AE-PC:

- 1- Agregar análisis y estudios correspondientes a asegurar la estabilidad química de los residuos y remanentes mineros en el postcierre
- 2- Se recomienda contar con una base de datos actualizada de los siguientes puntos:
  - Nuevas tecnologías y medidas aplicables a la remediación y/o cierre de faenas
  - Costos de las medidas de cierre y postcierre
  - Valores o rangos de valores de los parámetros técnicos físicos y químicos que aseguren la estabilidad de un residuos o remanente minero

Por otra parte, la metodología de planificación de postcierre planteada en este trabajo, entrega la capacidad, tanto técnico como económica, para la creación o cambios de los planes de cierre y postcierre, actualizando sus actividades y presupuestos sin mayor impacto en el costo final. Dicha capacidad presenta una mayor responsabilidad para generar estimaciones más precisas y preparadas para las distintas contingencias, logrando una gestión más transparente y autosostenible. Esto se evidencia en varios factores:

- 1- Al considerar un desglose de las probables contingencias, las medidas de mantención correctiva y los planes de acción de accidentes o incidentes, es posible hacer una estimación de los reales costos por contingencias a considerar y no aplicar el típico 10% sobre los gastos directos totales de las medidas de postcierre. De hecho, en el ejemplo aplicado, las contingencias constituyen entre un 40% a un 45% del costo total directo.

- 2- Al considerar el costo indirecto total en el cálculo del monto anual de las medidas de postcierre hace posible una estimación más exacta de los gastos reales que se realizan para la ejecución de la medida. En el caso del ejemplo aplicado, este valor asciende a un 5% del costo directo total, lo cual puede variar según las condiciones de la faena, pero no deja de ser una consideración importante a la hora de calcular el monto del fondo postcierre y que permite, además, afrontar situaciones de sobrecostos al no considerarlo en la evaluación
- 3- Al considerar un desglose de las actividades realizadas en monitoreo y mantención preventiva, detallando acciones a tomar, frecuencia y plazos, entre otras, es posible tener un conocimiento más acabado de cada medida adoptada y los costos involucrados, ya que es más sencillo gestionar los costos a lo largo de la vida operativa de la faena y actualizarlos de forma más precisa a medida que se acerca el cierre de la faena por medio de la disminución del rango entre los límites de precisión y, en consecuencia, disminuyendo la incertidumbre.

Al comparar el ejemplo aplicado de esta metodología con un caso en la cual no se aplique, se llegaría al siguiente resultado:

| <b>Unidad monetaria</b> | <b>VPN con metodología</b> | <b>VPN sin metodología</b> |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>UF</b>               | 17,083                     | 8,557                      |
| <b>USD</b>              | 683,306                    | 342,292                    |
| <b>CLP</b>              | 444,148,643                | 222,489,493                |

Tabla 56: Valor presente neto obtenido un escenario con metodología aplicada y otro sin aplicarse

Dado el resultado anterior, el hecho de no considerar costos indirectos y tolerancias en la estimación de costos, además de no estimar un porcentaje del costo que se acerque más a la realidad de las contingencias, implica una disminución de un 50% del monto del fondo postcierre final, es decir, que el nivel riesgo e incertidumbre aumentan como máximo en un 40% a un 50%

Resumiendo, cabe mencionar que la propuesta apunta a:

1. Evitar sobre costo de proyectos, retraso en la construcción y puesta en marcha de la operación
2. Aumentar el desarrollo de la planificación y diseño del cierre y postcierre mineros
3. Clasificar y ubicar los residuos y remanentes mineros, a fin de optimizar su posterior uso en movimientos de tierra en la mina, por ejemplo, cubriendo relaves durante la rehabilitación del sitio
4. Aumentar el establecimiento de objetivos que minimicen el impacto ambiental total de la minería
5. Anticipar o evitar problemas ambientales potenciales que obligan a incurrir en gastos considerables
6. Lograr que la organización tenga un enfoque preventivo, en lugar de reactivo, en la configuración de su futuro, es decir, que pueda realizar actividades e influir en ellas

Esta metodológica debe llevarse a cabo como una planificación estratégica durante la etapa de evaluación de proyectos y sus futuras actualizaciones. Debe ejecutarse mediante equipos de trabajos multidisciplinarios que aporten herramientas propias para la elaboración de un plan de postcierre exitoso. El logro de un buen desempeño en la ejecución del postcierre requiere de un exigente control de calidad, y para ello, el SERNAGEOMIN debe velar por crear una cultura de calidad que asegure que los objetivos se

cumplan una vez se lleve a cabo el plan postcierre, teniendo en cuenta que, una vez en ejecución, ya no se puede volver atrás en la planificación a reparar detalles que se olvidaron considerar en la fiscalización.

Se debe comprender que la metodología propuesta en este trabajo se constituye en la etapa de la evaluación de proyectos. Por lo que es recomendable crear e implementar herramientas que midan el avance físico de la etapa de postcierre durante los años de su ejecución. Estas herramientas deben abarcar el control de costos y calidad, con el fin de hacer un buen uso del fondo postcierre en los plazos estipulados en el plan. Por otro lado, se recomienda la integración de la variable ambiental de manera cuantitativa a la valorización del bloque en un modelo de bloques para facilitar la cuantía del impacto ambiental. Con esto, se podría facilitar la realización de análisis de incertidumbre y concluir el impacto del uso de sistemas y metodologías como los propuestos en este trabajo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. SERNAGEOMIN, 2002, Guía Metodológica para el Cierre de Faenas Mineras
2. SERNAGEOMIN, 2004, Guía metodológica de evaluación de riesgos para el cierre de faenas mineras
3. SERNAGEOMIN, 2014, Guía metodológica para la presentación de planes de cierre sometidos al procedimiento de aplicación general
4. Australian and New Zealand Minerals and Energy Council & Minerals Council of Australia, 2000, Strategic Framework for Mine Closure.
5. Perú, Dirección general de asuntos ambientales mineros, 2006, Guía para la elaboración de planes de cierre de minas metodológica para el cierre de minas
6. ICMM, 2008, Planificación del Cierre Integrado de Minas: Equipo de Herramientas
7. Chile, Ministerio Secretaría General De La Presidencia, 2005, Decreto 100, Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la constitución política de la república de Chile, septiembre 2005
8. Chile, Ministerio Secretaría General De La Presidencia, 2006, Ley 20096, Establece Mecanismo de Control Aplicables a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono, marzo 2006
9. Chile, Ministerio Secretaría General De La Presidencia, 1994, Ley 19300, Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente, marzo 1994
10. Chile, Ministerio del Medio Ambiente, 2012, Decreto 40, Aprueba reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental, octubre 2012
11. Chile, Ministerio de Minería, 2011, Ley 20551, Regula el cierre de faenas e instalaciones mineras, noviembre 2011.
12. Chile, Ministerio del Medio Ambiente, 2013, decreto 40, Aprueba reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental, agosto 2013
13. Revista *“Qué Pasa Minería”* edición diciembre 2015 artículos:
  - I. Estudio UDP: *“Se necesita una estrategia nacional de minería”*
  - II. *“Mejoramiento de la institucionalidad ambiental”*
14. Revista *“Qué Pasa Minería”* edición agosto 2014 artículo:
  - I. *“La minería y su relación con las comunidades”*
15. C. Twigge-Molecey, COOPER, 2003, Knowledge, technology and profit, COPPER
16. Helen Lingard, Lance Saunders, Payam Pirzadeh, Nick Blismas, Brian Kleiner, Ron Wakefield, 2015, "The relationship between pre-construction decision-making and the effectiveness of risk control: Testing the time-safety influence curve", Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 22 Iss: 1, pp.108 – 124
17. Luis Bañón Blázquez, José Beviá García, 2000, Manual de carreteras volumen I: elementos y proyecto

18. Thomas Clover, 1998, Pocket Reference.
19. C. F. Dávila, 2004, Mejora Continua de Sistemas de Gestión.
20. J. Montolio, 2013, Conseguir la Excelencia en las Operaciones.
21. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2008, National Classification System for Contaminated Sites Guidance Document.
22. Rodrigo Alejandro Calabrán Toro, 2009, Evaluación de Riesgo Ambiental del Tranque de Relave Las Tórtolas ubicado en la comuna de Colina Región Metropolitana de Santiago.
23. Cía. Minera Disputada de Las Condes S.A., 1985, Proyecto de Expansión Los Bronces Tranque de Relaves Las Tórtolas.
24. Anglo American Sur S.A., 2007, Informe Consolidado de Evaluación Proyecto: Desarrollo Los Bronces.
25. Geotecnia Consultores, 1985, Estudio Ambiental Sistema de disposición de Relaves Las Tórtolas.
26. Norma: DS 90/00 MINSEGPRES: Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales
27. Norma: DS 46/02 MINSEGPRES Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas
28. Norma: DS 609/98 MOP Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillados
29. Norma: DS 594/99 SALUD (Arts. 17 y 20) Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo
30. Norma: DS 138/05 SALUD Establece Obligación de Declarar Emisiones que Indica
31. Norma: DS 185/91 MINERIA Reglamenta Funcionamiento de Establecimientos Emisores de Anhídrido Sulfuroso en todo el Territorio de la República
32. Norma: DS 165/98 MINSEGPRES Norma de Emisión del Contaminante Arsénico emitido al Aire
33. Norma: DS 167/99 MINSEGPRES Norma de Emisión para Olores Molestos (compuestos sulfuro de hidrógeno y mercaptanos: gases TRS) asociados a la fabricación de Pulpa Sulfatada
34. Norma: DS 148/03 MINSAL Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos - TRANSPORTE
35. Norma: DS 148/03 MINSAL Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos - ELIMINACION - Y REUSO Y RECICLAJE
36. Norma: DS 2467/94 MINSAL Aprueba Reglamento de Laboratorios de Medición y Análisis de Emisiones Atmosféricas Provenientes de Fuentes Estacionarias
37. Norma: DS 1583/92 MINSAL Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales que Indica

38. Norma: DS 4/92 MINSEGPRES Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales
39. Norma: DS 12/2010MMA Calidad del aire para MP2.5
40. Norma: DS 59/1998 MINSEGPRES modificada por DS 45/2001MMA Calidad del aire para MP10
41. Norma: DS 113/2002 y DS 22/2009 MINSEGPRES Calidad del aire para SO2
42. Norma: DS 114/2002 MINSEGPRES Calidad del aire para NO2
43. Norma: DS 115/2002 MINSEGPRES Calidad del aire para CO
44. Norma: DS 136/2000 MINSEGPRES Calidad del aire para Plomo
45. Norma: DS 4/1992 MINAGRI Calidad del aire para MPS en la cuenca del río Huasco, III Región

## 7. ANEXOS

### 7.1 MEDIDAS DE CONTROL DE RIESGOS PARA LA ETAPA DE CIERRE MINERO

Para este apartado se seguirá el siguiente análisis metodológico:

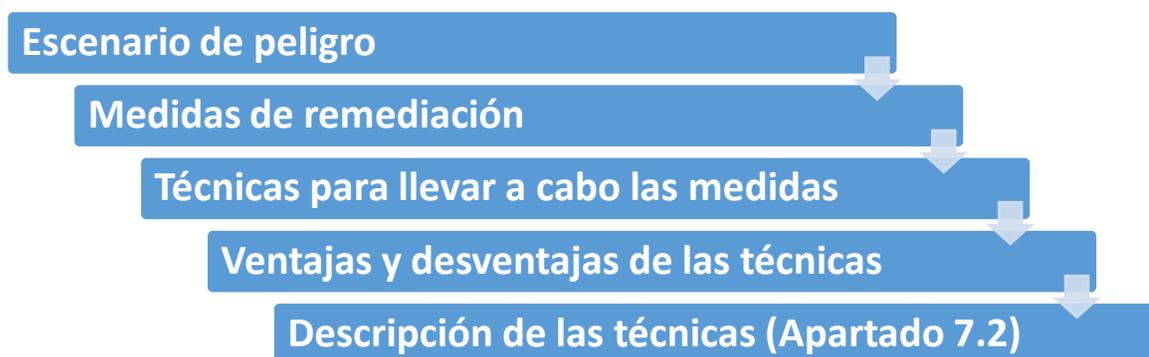


Figura 50: Metodología para la descripción de medidas de cierre

#### 7.1.1 CONTROL DE ACCESOS

Uno de los objetivos perseguidos por el cierre de una faena minera es proteger la seguridad de las personas o animales que pudieran ingresar a las instalaciones. Es por esto que se recurre a restringir o bloquear los accesos a la faena por medio de letreros, señalizaciones o cierre de caminos.

Estas medidas son aplicables como remediación a casi todos los residuos y remanentes mineros, reduciendo el riesgo con respecto a la seguridad, disminuyendo la exposición de las personas a situaciones de riesgo.

Las medidas son de bajo costo (según material empleado) en comparación a otras y pueden ser usadas en residuos o remanentes mineros muy extensos donde otra medida puede tener un alto costo.

Sin embargo, estas medidas de control no eliminan por completo la posibilidad de acceso a un sitio (evaluar riesgo remanente) y están sujetas a deterioro (según el clima) y vandalismo.

| <b>Escenario de peligro</b>                      | <b>Medidas</b>     |
|--|--------------------|
| Caída de personas en instalaciones o minas       | Señalética         |
| Contacto directo con residuos                    | Cercos             |
| Derrumbe de escombros y estructuras remanentes   | Bermas             |
| Accidentes vehiculares por mal estado de caminos | Bloqueo de caminos |

Tabla 57: Medidas de cierre para el control de accesos

| Medidas            | Ventaja   | Desventaja   |
|--------------------|---|--|
| Señalética         | Bajo costo; fácil de instalar                                     | Fácil de ignorar; sujeta a vandalismo; no impide el acceso de fauna  |
| Cercos             | Gran impedimento de acceso al sitio (vehículos, personas y fauna) | Mayor costo; mayor mantenimiento   |
| Bermas             | Bajo costo; puede usarse material de desecho o propio del lugar   | Poco impedimento (solo vehículos), se erosionan con el agua  |
| Bloqueo de caminos | Bajo costo  | Poco impedimento (solo vehículos); Puede interferir con el acceso al sitio en caso de emergencia o remediación |

Tabla 58: Ventajas y desventajas de las medidas de cierre para el control de accesos

Se deberán identificar, evaluar y justificar aquellos caminos que permanezcan operativos ya sea para la etapa de postcierre o para público en general. Se deberán realizar reperfilamientos de estos caminos y descompactación de aquellos que no se usarán. También puede evaluarse el uso de revegetación.

### 7.1.2 CONTROL DE TRANQUES O EMBALSES DE RELAVES

Para planificar el cierre de tranques de relaves se deben revisar al menos los siguientes aspectos:

1. **Evaluar la estabilidad frente a eventos sísmicos:** Evaluar estabilidad de los muros de depósitos, considerando amplificaciones sísmicas y respuesta de la estructura a la sollicitación dinámica. En el caso de que existan riesgos de falla, es preciso contar en el cierre con obras de refuerzo que aseguren que el comportamiento sísmico no resultará en vaciamientos de los depósitos ni en daños al sistema de control de descargas frente a crecidas. También se debe evaluar, si frente a eventos sísmicos, ocurriría licuefacción de los relaves debido a deformaciones por asentamientos diferenciales que podrían modificar las condiciones de escurrimiento en la superficie del depósito. Se deben predecir los daños en la cubierta de los depósitos, debido a los excesos de presión de poros generados. En el caso que las deformaciones y daños pongan en riesgo la estabilidad del depósito, deberán considerarse medidas de contingencia.
2. **Evaluar la estabilidad física de largo plazo:** Evaluar el manejo de aguas de relaves y de la cuenca aportante en forma controlada para evitar el exceso de filtraciones y erosión. La evaluación de la estabilidad de los depósitos debe incluir un análisis de riesgos frente a crecidas e inundaciones. En el caso que existan riesgos, las acciones de cierre deberán incluir un proyecto de obras de encauzamiento y de descarga de las aguas destinado a asegurar que los caudales no erosionen las obras, con el objetivo de evitar vaciamientos de relaves y la consiguiente contaminación de los medios físico, hídrico y biótico ubicados aguas abajo. Las obras de encauzamiento y descarga pueden incluir estructuras como canales de intercepción, barreras de contención, cubiertas y canales revestidos sobre embalses, o canales o túneles de desviación, vertederos y cualquier otra alternativa que garantice, con sus dimensiones y con sus resistencias, el paso de los caudales alrededor o sobre los depósitos sin contaminación de las aguas o de los suelos naturales. Las obras de mitigación de efectos de crecidas deberán ser diseñadas para mantenerse operativas, sin necesidad de mantenimiento a partir del cierre de las instalaciones.

3. Evaluar la colocación de una cubierta: Demostrar que el espesor y el material de recubrimiento sea el adecuado para los efectos que se proyectó.
4. Evaluar los accesos al tranque: El titular u operador minero, deberá actuar de acuerdo con los riesgos de accidentes asociados al ingreso de personas con posterioridad al cierre. Dependiendo de la ubicación de la faena y la población expuesta, deberá restringirse el acceso a los depósitos de relaves.
5. Determinar si la calidad del aire se verá afectada: Si existe riesgo de que la calidad del aire se vea afectada posterior al cierre de faena, y que ello afecte la salud de las personas y/o al medio ambiente, deberán proponerse medidas de mitigación para evitar la emisión de polvo por erosión eólica.

| Escenario de peligro                              | Medidas                                       |
|---|---|
| Liberación violenta de los relaves                | Estabilización de taludes                     |
| Erosión eólica de relaves y arrastre de estos     | Control de arrastres y aislamiento de relaves |
| Arrastre de relaves en caso de crecidas de agua   | Desviación de agua superficial                |
| Filtración de aguas de relave en la base del muro | Pozos recolectores                            |

Tabla 59: Medidas de cierre para tranques o embalses de relaves

| Medidas  | Técnicas  |
|--|---|
| Estabilización de taludes (Reducción de carga en la pendiente; Refuerzo de la pendiente)   | Descarga de taludes (descabezamiento del muro, tendido o reperfilamiento del talud o banqueo)<br>Construcción de muros<br>Revegetación y uso de geosintéticos |
| Control de arrastres y aislamiento de relaves (Previene contacto del relave con receptores; evitan el arrastre del relave por acción del viento; previene la descarga e infiltración de aguas que entraron en contacto con relaves); Se aplica sobre relaves disecados (no hay agua superficial) | Cubrimiento con suelo natural<br>Cubierta y sello o encapsulamiento<br>Revegetación   |
| Desviación de agua superficial (previene la percolación de agua superficial, evita su contacto (dentro y a través) de las instalaciones de los relaves) y arrastre de contaminantes. Asegura estabilidad de las obras  | Construcción de canales de contorno   |
| Pozos recolectores   | Construcción de pozos recolectores al pie del muro del tranque  |

Tabla 60: Técnicas de medidas de cierre para tranques o embalses de relaves

| <b>Técnicas</b>                         | <b>Ventajas</b>   | <b>Desventajas</b>  |
|---|---|---|
| Descabezamiento del muro                | Quita peso del muro; bajo costo (solo remoción de tierra)   | Aumenta pendiente del talud; reducción de carga libre; disminuye capacidad del embalse  |
| Tendido o reperfilamiento del talud     | Mejora estabilidad de pendientes; no se ve afectada la capacidad del embalse (puede aumentarse)   | Grandes movimientos de tierra; Requiere disponibilidad de tierra al final de la pendiente; Aumenta tamaño del embalse   |
| Banqueo                                 | Mejora estabilidad; Reduce la pendiente general   | Difícil de ejecutar en embalses existentes; requiere mantenimiento  |
| Construcción de muros                   | Mejora estabilidad; requiere espacios pequeños  | Difícil instalación; no es conveniente para todas las pendientes  |
| Revegetación de taludes y geosintéticos | Fácil instalación; estéticos  | Mejora levemente la estabilidad; depende del clima y suelo del talud; impracticable en climas áridos;   |
| Cubrimiento con suelo natural           | Fácil de hacer con medios locales   | No asegura impermeabilización; una capa simple es más propensa a erosión, no retendrá toda la infiltración y parte de la humedad se evaporará a la atmosfera    |
| Cubierta y sello o encapsulamiento      | Muy efectivo; buen aislamiento  | Alto costo  |
| Revegetación                            | Mejora el paisaje; control de agua debido al incremento de la evaporación   | Lento crecimiento de especies vegetales; depende de condiciones químicas y físicas del material que actuará como sustrato; depende del clima                    |
| Construcción de canales de contorno     | Evita entrada de agua en la cubeta; evita la acumulación de agua en la cubeta (previene de liberación violenta de relaves); reduce el riesgo por crecidas de agua que puedan rebalsar el embalse o tranque; mejora la resistencia del relave dentro de la instalación | Requiere mantención periódica; no es una solución total; requiere de una alta planificación y diseño con el fin de que el agua desviada no genere otros riesgos |
| Pozos recolectores                      | Mejora la captación de aguas de relaves, evita filtración y contaminación a cursos de agua existentes   | Alto costo. Requiere operación, mantención y monitoreo durante un largo período de tiempo en el postcierre  |

Tabla 61: Ventajas y desventajas de las técnicas de medidas de cierre para tranques o embalses de relaves

### 7.1.3 CONTROL DE RAJOS ABIERTOS Y CANTERAS

Para planificar el cierre de rajos abiertos y canteras debe al menos revisarse los siguientes aspectos:

1. Evaluar la estabilidad de paredes de rajos y canteras e identificar probables áreas de subsidencia: El objetivo es proteger la seguridad de las personas y fauna que podrían ingresar con posterioridad al cierre de la faena. Se debe evaluar el riesgo de falla de los taludes, desprendimiento de material y las posibles subsidencias que podrían ocurrir. En caso de que exista un alto nivel de riesgo, se deberá proponer acciones para evitar accidentes de personas y medio ambiente.
2. Evaluar la presencia de agua subterránea y superficial: Se debe tomar en cuenta la presión de poros, nivel freático, cantidad de precipitaciones (nivales y/o pluviales), cercanía de cuerpos de agua superficiales o subterráneas y monitoreo anteriores.

| Escenario de peligro  | Medidas                                    |
|---|--|
| Colapso de taludes podría expandir el rajo afectando comunidades cercanas, actividades económicas y el medio ambiente   | Mejora Estabilidad física                  |
| Contaminación: descarga de drenaje (contaminación hídrica superficial); Acumulación de agua dentro del rajo (contaminación directa a receptores que accedan al rajo); infiltración de drenaje (contaminación hídrica subterránea) | Control hidrológico y tratamiento de aguas |

Tabla 62: Medidas de cierre para rajos abiertos y canteras

| Medidas                                      | Técnicas                                      |
|--|---|
| Mejorar estabilidad física                   | Reestructuración pared del rajo               |
|  | Apernado de rocas                             |
|  | Relleno del rajo                              |
| Control hidrológico y encauzamiento de aguas | Apertura de drenaje                           |
|  | Desviación de agua superficial lejos del rajo |

Tabla 63: Técnicas de medidas de cierre para rajos abiertos y canteras

| Técnicas                                      | Ventajas   | Desventajas  |
|---|--|--|
| Reestructuración pared del rajo               | Mejora estabilidad; estabilidad de paredes a largo plazo   | Costoso; expansión del rajo  |
| Apernado de rocas                             | Mejora estabilidad; bajo costo en áreas pequeñas   | Costoso en áreas grandes; sujeto a erosión y meteorización; se aflojan con el tiempo               |
| Relleno del rajo                              | El relleno total elimina el rajo; Control total o parcial de los peligros asociados a inestabilidad de las paredes y caídas de personas; Puede ser usado para la deposición de relaves y rocas | Afecta la calidad del agua subterránea, altos costos asociados al movimiento de material           |
| Apertura de drenaje                           | Control de bajo costo de la presión de agua en las paredes del rajo a largo plazo  | Solo se aplica en lugares donde la presión de agua implica inestabilidad de la pared del rajo      |
| Desviación de agua superficial lejos del rajo | Bajo costo; no genera lodos ni situaciones de lubricación de fracturas o fallas que desencadenen en una inestabilidad de las paredes del rajo  | Depende de las condiciones de la faena y la dirección que se les asigne a las aguas lejos del rajo |

Tabla 64: Ventajas y desventajas de las técnicas de medidas de cierre para rajos abiertos y canteras

## 7.1.4 CONTROL DE MINAS SUBTERRÁNEAS

Al momento de planificar el cierre los aspectos que deberían ser considerados son:

1. Minimizar las infiltraciones de aguas: Con el objetivo de evaluar el riesgo de contaminación de cuerpos de agua, ya sea superficiales o subterráneos, el titular u operador minero deberá evaluar la potencialidad de que el mineral residual expuesto en las labores subterráneas sea afectado por la circulación de aguas provenientes de la reposición de las napas subterráneas o por el agua que se filtra a través de las fracturas debido a las precipitaciones en el área de emplazamiento, y que en el futuro pudieran desencadenar el proceso de generación de aguas ácidas o la disolución de contaminantes. Para evaluar, al menos deberá tenerse en cuenta:
  - 1.1. Las características geoquímicas del yacimiento y roca huésped
  - 1.2. Cercanía de cuerpos de agua superficiales y subterránea
  - 1.3. El nivel de precipitaciones, ya sean nivales o pluviales.
  - 1.4. La ubicación de las descargas de agua a través de las labores subterráneas hacia cuerpos de agua.
2. Identificar las áreas con probabilidad de subsidencias: Con el objetivo de proteger la seguridad de las personas y animales que circulan por el lugar. Se deberá evaluar el riesgo de caída de planchones de roca, hundimientos y las posibles subsidencias que podrían ocurrir con posterioridad al cierre. Si el nivel de riesgo es alto, el titular u operador minero deberá proponer acciones para minimizar los riesgos.
3. Evaluar la necesidad de bloquear los túneles, chimeneas y piques: El titular u operador minero deberá actuar de acuerdo con los accidentes asociados al ingreso de personas y animales con posterioridad al cierre. Dependiendo de la ubicación de la faena y los receptores, se debe restringir el acceso a las labores subterráneas como túneles, chimeneas y piques. Por esta razón, se deberá evaluar la necesidad de cierre o sellado de boca de labores, instalación de señalizaciones y barreras.

| Escenario de peligros  | Medidas   |
|--|---|
| Caída de personas a labores abiertas; derrumbes de roca sobre personas que ingresa a la mina | Control acceso para prevenir ingreso<br>Sellado de piques y socavones |
| Aumento del tamaño de la subsidencia; agrietamientos mayores                                 | Control de subsidencia  |

Tabla 65: Medidas de cierre para minas subterráneas

| Medidas                              | Técnicas                                 |
|--------------------------------------|--|
| Control acceso para prevenir ingreso | Sellado de piques y socavones            |
| Sellado de piques y socavones        | Estructuras de soporte                   |
| Control de subsidencia               | Relleno de labores subterráneas          |
|                                      | Colapso inducido de labores subterráneas |

Tabla 66: Técnicas de medidas de cierre para minas subterráneas

| Técnicas                                 | Ventaja   | Desventajas  |
|--|---|--|
| Sellado de piques y socavones            | Buen control de acceso; Puede controlar el ingreso de agua. Pueden ser más o menos permanentes.   | Alto costo. No es tan eficiente para remediar descarga de agua al exterior   |
| Estructuras de soporte                   | Menor costo; puede aplicarse a sectores específicos (más agrietados)  | Riesgos para los trabajadores que la instalan; Los soportes se deterioran con el tiempo; No bloquea el acceso a mina   |
| Relleno de labores subterráneas          | Solución permanente; Previene el acceso a mina; Conserva las condiciones iniciales superficiales; Grouting permite un control efectivo en temas de calidad del agua | Alto costo; Difícil asegurar que todos los potenciales sectores de subsidencia cuenten con relleno. Se requieren estudios para determinar qué galerías, piques o sectores de la mina requieren relleno |
| Colapso inducido de labores subterráneas | Solución permanente; Previene el acceso a mina;   | Mayor costo; afecta a terrenos superficiales de gran extensión   |

Tabla 67: Ventajas y desventajas de las técnicas de medidas de cierre para minas subterráneas

Además de estas medidas, también se puede considerar el perfilamiento de taludes de los portales, dándole una topografía similar al entorno y asegurando un buen escurrimiento de las escorrentías superficiales. Se puede considerar también el relleno de las áreas que presentan subsidencias en conjunto con una renivelación de la superficie y perfilamiento de taludes, dándole una topografía similar al entorno y asegurando un buen escurrimiento de las escorrentías superficiales.

### 7.1.5 CONTROL DE DEPÓSITOS MASIVOS

Para planificar el cierre de depósitos masivos se debe al menos revisar los siguientes aspectos:

1. **Evaluar la estabilidad de largo plazo:** La evaluación de la estabilidad debe incluir un análisis de riesgos frente a crecidas e inundaciones. Si el nivel de riesgo es alto, las acciones de cierre deben incluir medidas para el manejo de las aguas, evitando el exceso de infiltraciones y la erosión de los taludes.
2. **Evaluar la estabilidad frente a eventos sísmicos:** Se deben considerar las amplificaciones sísmicas predecibles de la estructura a la sollicitación dinámica. En el caso que el nivel de riesgo sea alto, es decir, que existan riesgos de falla, es preciso evaluar los impactos que podrían tener en el medio ambiente y personas, y contar en el cierre con obras para contener el escurrimiento de los derrames de material.
3. **Evaluar los riesgos de acceso a los depósitos:** Se debe considerar como objetivo la protección de la seguridad de las personas y animales, el titular u operador minero deberá actuar de acuerdo con los accidentes asociados al ingreso de personas y animales con posterioridad al cierre. Dependiendo de la ubicación de la faena y la población expuesta, deberá restringirse el acceso a los botaderos, a menos que el nivel riesgo residual sea el mínimo.

| <b>Tipos de depósitos masivos</b> |
|-----------------------------------|
| Relaves en torta                  |
| Pilas de rípios de lixiviación    |
| Estériles                         |
| Minerales de baja ley             |
| Botaderos de desmonte             |
| Escorias                          |

Tabla 68: Tipos de depósitos masivos a considerar

| <b>Escenario de peligros</b>   | <b>Medidas</b>  |
|--|---|
| Derrumbes<br>Remoción en masa<br>Caídas de rocas<br>Fallas de talud<br>Flujos aluviales<br>Heridas corto punzante<br>Arrastre de material (lluvias o crecidas de agua)<br>Erosión eólica y arrastre de polvo | Estabilidad de taludes (Mejorar estabilidad física)<br><br>Control hidrológico y tratamiento de aguas<br><br>Desviación de agua superficial<br><br>Control de arrastres y aislamiento |

Tabla 69: Medidas de cierre para depósitos masivos

| <b>Medidas</b>   | <b>Técnicas</b>   |
|--|---|
| Estabilización de taludes (Reducción de carga en la pendiente; Refuerzo de la pendiente)   | Descarga de taludes (descabezamiento del muro, tendido o reperfilamiento del talud o banqueo)<br>Perfilamiento completo<br>Construcción de muros<br>Revegetación y uso de geosintéticos |
| Control de arrastres y aislamiento (Previene contacto del polvo con receptores; evitan el arrastre de polvo por acción del viento; previene la descarga e infiltración de aguas que entraron en contacto con los depósitos); Se aplica sobre depósitos secos | Cubrimiento con suelo natural<br>Cubierta y sello o encapsulamiento<br>Revegetación   |
| Desviación de agua superficial (previene la percolación de agua superficial, evita su contacto (dentro y a través) de los depósitos) y arrastre de contaminantes. Asegura estabilidad de las obras   | Construcción de canales de contorno   |

Tabla 70: Técnicas de medidas de cierre para depósitos masivos

| <b>Técnicas</b>                         | <b>Ventajas</b>   | <b>Desventajas</b>  |
|---|---|---|
| Descabezamiento del muro                | Quita peso del muro; bajo costo (solo remoción de tierra)   | Aumenta pendiente del talud; reducción de carga libre; disminuye capacidad del embalse  |
| Tendido o reperfilamiento del talud     | Mejora estabilidad de pendientes al asegurar un ángulo igual o menor al de reposo   | Grandes movimientos de tierra; Requiere disponibilidad de tierra al final de la pendiente   |
| Banqueo                                 | Mejora estabilidad; Reduce la pendiente general   | Difícil de ejecutar en embalses existentes; requiere mantenimiento  |
| Perfilamiento completo                  | Más económica medida de remediación; Mejora a largo plazo; Mejora estabilidad de pendientes al asegurar un ángulo igual o menor al de reposo en todo el depósito; no necesita la construcción de muros  | Grandes movimientos de tierra; Requiere disponibilidad de tierra al final de la pendiente   |
| Construcción de muros                   | Mejora estabilidad; requiere espacios pequeños  | Difícil instalación; no es conveniente para todas las pendientes  |
| Revegetación de taludes y geosintéticos | Fácil instalación; estéticos  | Mejora levemente la estabilidad; depende del clima y suelo del talud; impracticable en climas áridos;   |
| Cubrimiento con suelo natural           | Fácil de hacer con medios locales   | No asegura impermeabilización; una capa simple es más propensa a erosión, no retendrá toda la infiltración y parte de la humedad se evaporará a la atmósfera    |
| Cubierta y sello o encapsulamiento      | Muy efectivo; buen aislamiento  | Alto costo  |
| Revegetación                            | Mejora el paisaje; control de agua debido al incremento de la evaporación   | Lento crecimiento de especies vegetales; depende de condiciones químicas y físicas del material que actuará como sustrato; depende del clima                    |
| Construcción de canales de contorno     | Evita entrada de agua en la cubeta; evita la acumulación de agua en la cubeta (previene de liberación violenta de relaves); reduce el riesgo por crecidas de agua que puedan rebalsar el embalse o tranque; mejora la resistencia del relave dentro de la instalación | Requiere mantención periódica; no es una solución total; requiere de una alta planificación y diseño con el fin de que el agua desviada no genere otros riesgos |

Tabla 71: Ventajas y desventajas de las técnicas de medidas de cierre para depósitos masivos

## 7.1.6 CONTROL DE OBRAS ESTRUCTURALES CIVILES Y OTROS

Para planificar el cierre de obras civiles se debe tener conocimiento de los tipos de instalaciones y escenarios de peligros que pueden estar asociados:

| <b>Tipos</b>                        |
|-------------------------------------|
| Plantas de procesamiento            |
| Oficinas y campamentos              |
| Talleres, bodegas y polvorines      |
| Redes y estanques de agua           |
| Tendidos y subestaciones eléctricas |
| Caminos y puentes                   |

Tabla 72: Tipos de obras estructurales civil y otros a considerar

| <b>Escenarios de peligro</b>                  | <b>Medidas</b>                               |
|---|--|
| Caídas de estructuras y equipos               | Desmontaje y demolición                      |
| Contacto con elementos inseguros              | Cuidado en el tiempo del patrimonio cultural |
| Explosiones                                   | Control de accesos                           |
| Accidentes de vehículo por vías en mal estado |  |

Tabla 73: Medidas de cierre para obras estructurales civil y otros

| <b>Pasos para desmontaje/demolición</b>  | <b>Pasos para cuidado en el tiempo</b>  |
|--|---|
| 1.- Identificar estructuras e instalaciones que no necesiten descontaminación                          | 1.- Declaración de Monumento Histórico  |
| 2.- Retiro de fragmentos con contaminantes (estructuras de asbestos, por ejemplo)                      | 2.- Aplicar señalización                |
| 3.- Desmontar estructuras e instalaciones hasta dejarlas en bloques o fragmentos simples (sin uniones) | 3.- Acuerdos con organismos públicos    |
| 4.- Descontaminación (lavado de sustancias contaminantes adheridos)                                    | 4.- Consolidación física                |
| 5.- Manejo de aguas y sedimentos del paso anterior   | 5.- Programas de monitoreo y mantención |
| 6.- Demolición (si aplica)   |   |
| 7.- Clasificación (Reventa, reciclaje, disposición final)  |   |

Tabla 74: Descripción de medidas de cierre para obras estructurales civiles y otros

La demolición y desmontaje es una solución permanente que no necesita de monitoreo ni mantención.

La renivelación de la topografía, debe realizarse a 30 cm sobre el nivel de las fundaciones de los equipos, instalaciones y radieres de concreto que no hayan podido ser retirados, con el objeto de evitar apozamientos de agua o la formación de zonas erosionables.

## 7.2 DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS APLICADAS A MEDIDAS DE CIERRE

### 7.2.1 CONTROL DE ACCESOS

| <b>Técnicas</b>           | <b>Descripción</b>  |
|---------------------------|---|
| <b>Señalética</b>         | Instalación de señales de advertencia<br>Indicar de forma clara el riesgo, descripción de elementos tóxicos y descripción de los efectos negativos en la salud e integridad física de la persona<br>Instalación alrededor de la obra de interés<br>Instalación en un lugar firme (estable)<br>Instalación en un lugar visible<br>Construida de material resistente a T° extremas y eventos climáticos poco frecuentes |
| <b>Cercos</b>             | Instalación de barrera de materiales<br>Materiales: Mallas alambre, madera, fierro, concreto, cortina vegetal<br>Su perímetro debe medir al menos 1,1 veces el perímetro de la obra<br>Cortina vegetal: control de polvo y mejora el aspecto estético   |
| <b>Bermas</b>             | Se construyen en base a pretilas de gaviones, concreto, material alrededor de la obra<br>Su perímetro debe medir al menos 1,1 veces el perímetro de la obra   |
| <b>Bloqueo de caminos</b> | Colocar material a lo largo del ancho de los caminos<br>Material: Grava, áridos, suelo vegetal<br>Altura: Suficiente para que impida el paso de vehículos (1.5m mínimo)   |

Tabla 75: Descripción de técnicas de medidas de cierre para el control de accesos

## 7.2.2 CONTROL DE TRANQUES DE RELAVES

| Técnicas   | Descripción   |
|--|---|
| Descarga de taludes  | Descabezamiento del muro: Usado en botaderos y bancos de rajos; Remoción de la parte superior del muro; reduce la carga obre la pendiente (disminuye riesgo de falla); Usado en tranques donde no se utiliza la capacidad total de la cubeta; Cuidar que la generación de terraplenes no tenga impacto negativo en el funcionamiento del embalse;   |
|  | Tendido o reperfilamiento del talud: Adición de material y modificación de la pendiente;  |
|  | Banqueo: Reperfilamiento de la pendiente mediante una serie de bancos; Se puede implementar en la construcción del tranque o embalses   |
| Construcción de muros  | Resistencia de movimientos rotatorios al pie de taludes inestables; Alternativa aplicable cuando hay poco espacio para la instalación de tendido; diseño recto; depende de las condiciones de estabilidad del talud y presencia de agua subterránea   |
| Revegetación y uso de geosintéticos  | Mallas tridimensionales; redes y mantas metálicas; mantas volumétricas o georedes; Promueven el crecimiento de vegetación en los taludes; La vegetación previene la erosión, reduce la infiltración y las raíces proveen soporte estructural; beneficios estéticos; puede ser usado como técnica única (no involucra modificaciones a la estructura del embalse o tranque) o complemento de otras más radicales   |
| Cubrimiento con suelo natural  | Cubrimiento de capa (o múltiples capas) de suelo sobre los relaves; puede existir una capa superior destinada al crecimiento vegetal para controlar la infiltración de agua hacia los relaves más abajo;  |
| Cubierta y sello o encapsamiento   | Aislar material de relaves por medio de capas impermeables (previene el acceso de aire y agua) para evitar la generación de lixiviados tóxicos; Se coloca una capa de baja permeabilidad (barrera) sobre los materiales tóxicos para evitar el ingreso de agua; Se coloca una segunda capa vegetal para proteger la barrera y promover la evaporación   |
| Revegetación   | Puede instalarse directamente sobre los relaves (cuando las condiciones lo dicten); también se puede instalar sobre la capa de suelo previamente instalada; Se recomienda el uso de especies nativas  |
| La dimensión y características del canal dependen de la pendiente, materiales usados y magnitud de caudal. | <p><b>Dimensión del canal:</b> Depende de los caudales de descarga considerando períodos de alto caudal y precipitaciones, geomorfología y superficie de área pluvial aportante. Se usa la fórmula de Manning que relaciona el caudal de escurrimiento, pendiente hidráulica y sección de escurrimiento del caudal. El diseño debe asegurar una revancha amplia debido a las crecidas, además de resistir eventos meteorológicos y naturales a largo plazo.</p> <p><b>Velocidades de diseño:</b> Parámetro importante para evitar la erosión de la sección del canal. Depende de la pendiente, rugosidad de los materiales del canal y sección transversal. A mayor velocidad implica el uso de materiales más resistentes. Canales mal diseñados para la velocidad implican un futuro acumulamiento de sedimentos.</p> <p><b>Otros parámetros de diseño:</b> Radios mínimos de curvatura, geometría de la sección transversal y cambios en condiciones de escurrimiento (cambios de pendiente)</p> |
| Pozos recolectores   | <b>Batería de pozos al pie del muro, desde donde recircula agua del relave a un depósito de acidulación el cual generará agua para el riego de vegetación (los pozos pueden quedar habilitados para permitir mediciones posteriores al cierre). Se debe considerar continuar con el monitoreo de aguas durante el período estimado de 30 años en que operará la batería de pozos, y un lapso posterior de 2 años después de finalizada la operación de los mismos</b>   |

Tabla 76: Descripción de técnicas de medidas de cierre para tranques o embalses de relaves

### 7.2.3 CONTROL DE RAJOS ABIERTOS Y CANTERAS

| <b>Técnicas</b>                                      | <b>Descripción</b>   |
|--|--|
| <b>Control de accesos</b>                            | Según costos se puede usar cerco o berma en el perímetro del rajo (2m alto y 5m ancho como mínimo)   |
|  | Señalización alrededor del perímetro   |
|  | Restricción de caminos de acceso al rajo usando cerco, berma o bloqueo   |
|  | Control perimetral debe considerar no estar ubicadas en lugares inestables (fallas, macizo meteorizado, zonas de fractura)   |
|  | Control perimetral debe considerar una distancia de seguridad al rajo  |
| <b>Reestructuración pared del rajo</b>               | Identificación de zonas de fallas o meteorización (sectores potenciales a colapsar)  |
|  | Remover secciones débiles de paredes   |
|  | Remover secciones de pared que puedan colapsar   |
|  | Reducción de taludes   |
|  | Reducción del ángulo cara banco  |
|  | Descascarillado (remoción de material inestable en la cumbre del banco). Se aplica a rajo más pequeños   |
| <b>Apernado de rocas</b>                             | Apernado en sectores específicos de alta inestabilidad del macizo  |
|  | Convenientes para el corto y mediano plazo   |
|  | Deben monitorearse y mantenerse (reemplazo) regularmente   |
| <b>Apertura de drenaje</b>                           | Perforación de la pared en intervalos regulares para facilitar el drenaje  |
|  | N° y espaciado depende de las condiciones hidrogeológicas locales  |
| <b>Relleno del rajo</b>                              | No se aplica cuando hay problemas de drenaje ácido a menos que sea un relleno que neutralice esto (relleno calcáreo)   |
|  | Un relleno total implica que la superficie final vuelva a tener la infiltración límite de la antigua área del rajo   |
|  | Un relleno total implica una remediación total del área y que pueda volver a ser usada   |
|  | Para aplicar el relleno deben existir estudios geoquímicos locales y evaluaciones hidrológicas que respalden que el relleno no afecte a aguas subterráneas                                       |
|  | Debe previamente realizarse una simulación o modelamiento de la calidad del agua subterránea a largo plazo en condiciones de relleno del rajo  |
| <b>Desviación de agua superficial lejos del rajo</b> | La dirección de las aguas lejos del rajo no debe afectar negativamente a las comunidades, medio ambiente o actividades económicas (así como a otras faenas)                                      |
|  | Diseño cuidadoso de los cauces de las aguas; cuidar que las desviaciones no sean rectas (evitar que se tape el cauce)  |
|  | Se requiere de monitoreo periódico visual y mantenimiento regular, con el fin de detectar erosión y evitar acumulaciones de agua producto de bloqueos del cauce y generar el libre flujo de agua |

Tabla 77: Descripción de técnicas de medidas de cierre para rajos abiertos y canteras

## 7.2.4 CONTROL DE MINAS SUBTERRÁNEAS

| Técnicas                      | Descripción   |
|-------------------------------|---|
| Sellado de piques y socavones | A largo plazo se basa en sellos de roca o construcciones de concreto  |
|                               | A corto plazo se basa en sellos de barreras metálicas   |
|                               | Se pueden construir con desechos mineros, rocas, material externo o concreto  |
|                               | Evaluar condiciones hidráulicas (algunos casos)   |
|                               | La acumulación de agua tras el sello produce filtraciones y fallas estructurales (presión)  |
|                               | Si se sella la descarga de agua en un lugar, puede originarse en otro   |
|                               | <p><b>PIQUE:</b> Su estructura debe evitar el colapso o falla ante cargas futuras; Las capas de concreto deben sobresalir de la superficie para evitar que sean cargadas accidentalmente (inspección visual y mantención de limpieza o control de accesos); El sello debe ser grande con el fin de evitar la excavación lateral por ajenos; El uso de cubiertas metálicas pesadas como sello son blanco de robos; si no existe relleno en el pique antes de sellarse es más fácil la rotura del sello por fuerzas o presiones externas; El tapón de los piques debe ser construido bajo el nivel de roca meteorizada (mejora la resistencia); Aunque se use tapón de hormigón el pique debe estar cubierto y rellenado en su interior; Los tapones necesitan ser resistentes al agua y deben considerarse en su diseño la permeabilidad, elasticidad, fuerza de compresión de rocas adyacentes y agua acumulada; Materiales: rocas, espuma de poliuretano, hormigón, etc. (según plazo en servicio)</p> |
|                               | <p><b>SOCAVONES O GALERÍAS DE ACCESO (ADITS):</b> Se sellan con un tapón en su acceso; Construcción a través de un vaciado continuo (si es intermitente, se generan interfaces estructuralmente débiles, lo que disminuye la vida útil del tapón); los tapones deben estar anclados a la roca adyacente; Antes de su construcción debe analizarse las condiciones de la roca y retirar todo planchón o roca suelta o alterada del lugar (si la roca alterada es extensa, debe buscarse otro lugar donde taponear); Tipos de tapones: típico y reductor; Además debe sellarse la puerta de entrada (barrera preventiva del tapón)</p>  |

Tabla 78: Descripción de técnicas de medidas de cierre para minas subterráneas

Las siguientes técnicas previenen el hundimiento y el colapso imprevisto del terreno en minas subterráneas:

| Técnicas                                      | Descripción   |
|---|---|
| ESTRUCTURAS DE SOPORTE                        | Fortificar mediante refuerzos estructurales la obra especificada; es difícil aplicarla en minas con años de abandono debido a los riesgos sobre los trabajadores (por lo tanto, se debe aplicar durante el cierre; Si el riesgo de subsidencia es alto, usar esta técnica consideraría tomar riesgos adicionales; Es de bajo costo y es una técnica que puede focalizarse en los sitios de mayor inestabilidad; Las estructuras de refuerzo se deterioran con el tiempo   |
| RELLENO DE LABORES SUBTERRÁNEAS               | <p>Relleno de labores subterráneas de mayor riesgo (mayor inestabilidad); Se debe evitar hacer un relleno masivo por sus altos costos por eso debe evaluarse bien cuáles son los sectores más inestables o con roca de mala calidad; Esto es una solución a largo plazo para la subsidencia; previene el ingreso a la mina; control efectivo de problemas de calidad de agua (según clase de material)</p> <p><b>RELLENO POR GRAVEDAD:</b> Relleno con material granular (granulometría media-fina) y agua, a veces se puede usar material de relave con baja humedad. Puede introducirse mediante perforaciones, piques o chimeneas existentes, formando una pila cónica de material (limitada por el ángulo de reposo según tipo de material). Se ingresa material hasta llenar la perforación. Una vez llena la perforación, se realizarán otras para continuar rellenando la faena. Con esta técnica se llena aprox. 1/3 del espacio vacío</p> <p><b>GROUTING:</b> Técnica de inyección de continuo de material de relleno usada cuando las labores subterráneas tengan galerías o espacios vacíos que pudieran colapsar debido a la mala calidad del macizo; se usa lechada (cemento y agua); la inyección debe ser continua para que la distribución del fluido sea uniforme y asegurar un mayor volumen de roca; La inyección se realiza mediante pequeñas perforaciones desde la superficie; Si la mina está inundada, el agua puede extraerse para aplicar el grout sobre la cavidad seca (el agua puede usarse para hacer la mezcla también), pero aun así el grout puede aplicarse directamente ya su mayor densidad desplazará al agua a otros sectores (el grout se irá posando en el fondo); también se usa para formar columnas de material resistente para labores verticales (debe bombearse lentamente hasta que la perforación vertical sea llenada)</p> |
| COLAPSO INDUCIDO DE MINAS MEDIANTE TRONADURAS | <p>Una técnica alternativa es acordonar y controlar el acceso a la mayor área posible (mayor al área potencialmente afectada) Sin embargo la opción es factible solo si la magnitud del riesgo no es demasiado alta según la evaluación de riesgos</p> <p>Se evita el riesgo futuro de subsidencia, siendo una solución a largo plazo. Se colapsa la mina y se reduce el riesgo de colapsos futuros no controlados. Una limitación importante es que no deben existir instalaciones en la superficie que puedan ser afectadas por el colapso inducido</p>   |

Tabla 79: Descripción de técnicas de medidas de cierre para subsidencias

## 7.2.5 CONTROL DE DEPÓSITOS MASIVOS

| Técnicas   | Descripción  |
|--|--|
| Descarga de taludes  | Descabezamiento del muro: Usado en botaderos y bancos de rajos; Remoción de la parte superior del muro; reduce la carga obre la pendiente (disminuye riesgo de falla); Usado en tranques donde no se utiliza la capacidad total de la cubeta; Cuidar que la generación de terraplenes no tenga impacto negativo en el funcionamiento del embalse;  |
|  | Tendido o reperfilamiento del talud: Adición de material y modificación de la pendiente;   |
|  | Banqueo: Reperfilamiento de la pendiente mediante una serie de bancos; Se puede implementar en la construcción del tranque o embalses  |
| Perfilamiento completo   | El perfilamiento de los taludes y coronas, y la construcción de canales de contorno, debe dar una pendiente positiva al escurrimiento de agua para evitar la infiltración de las escorrentías superficiales. Además, se debe contribuir a disminuir la altura del botadero o pilas y disminuir el ángulo de los taludes. En este perfilamiento deben construirse además plataformas y terrazas con el fin de contener material que pueda derrumbarse y albergar crecimiento vida vegetal si aplica   |
| Construcción de muros  | Resistencia de movimientos rotatorios al pie de taludes inestables; Alternativa aplicable cuando hay poco espacio para la instalación de tendido; diseño recto; depende de las condiciones de estabilidad del talud y presencia de agua subterránea  |
| Revegetación y uso de geosintéticos  | Mallas tridimensionales; redes y mantas metálicas; mantas volumétricas o georedes; Promueven el crecimiento de vegetación en los taludes; La vegetación previene la erosión, reduce la infiltración y las raíces proveen soporte estructural; beneficios estéticos; puede ser usado como técnica única (no involucra modificaciones a la estructura del embalse o tranque) o complemento de otras más radicales  |
| Cubrimiento con suelo natural  | Cubrimiento de capa (o múltiples capas) de suelo sobre los relaves; puede existir una capa superior destinada al crecimiento vegetal para controlar la infiltración de agua hacia los relaves más abajo;   |
| Cubierta y sello o encapsulamiento   | Aislar material de relaves por medio de capas impermeables (previene el acceso de aire y agua) para evitar la generación de lixiviados tóxicos; Se coloca una capa de baja permeabilidad (barrera) sobre los materiales tóxicos para evitar el ingreso de agua; Se coloca una segunda capa vegetal para proteger la barrera y promover la evaporación  |
| Revegetación   | Puede instalarse directamente sobre los relaves (cuando las condiciones lo dicten); también se puede instalar sobre la capa de suelo previamente instalada; Se recomienda el uso de especies nativas   |
| La dimensión y características del canal dependen de la pendiente, materiales usados y magnitud de caudal. | <p><b>Dimensión del canal:</b> Depende de los caudales de descarga considerando períodos de alto caudal y precipitaciones, geomorfología y superficie de área pluvial aportante. Se usa la fórmula de Manning que relaciona el caudal de escurrimiento, pendiente hidráulica y sección de escurrimiento del caudal. El diseño debe asegurar una revancha amplia, además de resistir eventos meteorológicos y naturales a largo plazo, como, por ejemplo, crecidas, inundaciones y flujos con arrastre de material.</p> <p><b>Velocidades de diseño:</b> Parámetro importante para evitar la erosión de la sección del canal. Depende de la pendiente, rugosidad de los materiales del canal y sección transversal. A mayor velocidad implica el uso de materiales más resistentes. Canales mal diseñados para la velocidad implican un futuro acumulamiento de sedimentos.</p> <p><b>Otros parámetros de diseño:</b> Radios mínimos de curvatura, geometría de la sección transversal y cambios en condiciones de escurrimiento (cambios de pendiente)</p> |

Tabla 80: Descripción de técnicas de medidas de cierre para depósitos masivos

## 7.3 ESTUDIOS Y PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

### 7.3.1 CONTROL DE ACCESOS

A continuación, se enlistan los estudios y parámetros mínimos a analizar para la evaluación del control de accesos según tipo de control.

| <b>Tipos</b>       | <b>Parámetros</b>  |
|--------------------|--|
| Señalética         | Visibilidad, legibilidad, componentes de soporte, integridad |
| Cercos             | Perímetro, altura, componentes de soporte, integridad        |
| Bermas             | Perímetro, altura, integridad, componentes de soporte        |
| Bloqueo de caminos | Altura, integridad   |

Tabla 81: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación del control de accesos

Hay que evaluar los efectos de las crecidas y precipitaciones locales y la necesidad de perfilar los caminos transitables en el tiempo como también los no transitables, de acuerdo a los requerimientos para disminuir la erosión y de apozamiento de aguas

### 7.3.2 TALUDES

A continuación, se enlistan los estudios y parámetros mínimos a analizar para la evaluación de los taludes en los siguientes depósitos: Relaves en torta, rípios de lixiviación, botaderos de desmonte, botaderos de baja ley, botaderos de estériles, rajos abiertos y tranques de relaves:

| Estudios de condición actualizada   | Motivo   |
|---|--|
| Levantamiento topográfico (nivelación)  | Estudio de deformaciones del coronamiento de botaderos y pilas   |
| Medición de pendientes y lectura de extensómetros   | Cálculo de pendiente de taludes y sus movimientos en el tiempo   |
| Inspección in situ de zonas de debilidad y meteorizadas   | Mapear y estimar el comportamiento del macizo rocoso mediante sistemas de clasificación  |
| Inspección in situ de descargas de agua   | Mapear sectores con presencia de agua y altas presiones de poros   |
| Sondajes  | Caracterización de suelo y subsuelo; caracterización del macizo rocoso   |
| Estudio de densidad in situ   | Caracterización del macizo rocoso  |
| Medición de presión de poros y niveles freáticos (piezómetro)   | Evaluar presencia de agua en taludes, presión de poros, lubricación de estructuras geológicas y ubicación del nivel freático en el tiempo  |
| Estudios electromagnéticos  | Evaluar presencia de zonas débiles en el subsuelo  |
| Test de penetración de cono   | Estudio de compactación y evaluación detallada de estabilidad del suelo, licuefacción bajo influencia sísmica, permeabilidad, estratigrafía y resistencia o capacidad de soportar cargas sobre él  |
| Medir extensión de los escombros procedentes de fallas producidas a la fecha  | Evaluación de la actividad de las fallas   |
| Inspección in situ de fracturas cerradas/abiertas, fallas, grietas y cárcavas   | Mapear y estimar el comportamiento del macizo rocoso mediante sistemas de clasificación. Detectar deslizamientos por inestabilidad de bloques debido a la presencia de estructuras geológicas mayores (deslizamiento de planos, deslizamiento de cuñas, problemas de volcamiento)  |
| Análisis granulometría  | Determinar de las características geotécnicas del macizo rocoso y suelo, realizar un reconocimiento geotécnico y obtener datos para modelamiento y simulaciones, conocer el comportamiento del suelo y subsuelo ante esfuerzos, determinar capacidad de drenaje  |
| Análisis del contenido de humedad   |  |
| Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, límites de Atterberg  |  |
| Ensayo de corte directo y triaxial  |  |
| Test de proctor   |  |
| Ensayo de consolidación   |  |
| Comportamiento frente a eventos sísmicos extremos   | Establecer las condiciones sísmicas que servirían de base para el estudio geotécnico. Determinar las aceleraciones máximas que debe esperarse que sean excedidas para periodos de retorno de 100, 500 y 1.000 años. Estimar la probabilidad de excedencia del sismo máximo creíble. El concepto de máximo sismo creíble se refiere a aquel sismo que tenga una probabilidad mayor a 90% de ocurrencia en un período determinado. |
| Ángulos de reposo   | Mediciones en las cuales se establece el ángulo o pendiente crítica en el cual el material puede fluir   |
| Ángulo de inclinación del talud, valor de cohesión del material, coeficiente de fricción interna del material y ángulo de rozamiento interno del suelo, peso unitario del material seco y saturado. | Estudio preliminar del tipo de falla que se produce según superficie de deslizamiento. Parámetros necesarios para métodos de cálculos de estabilidad de taludes  |
| Sobrecarga y peso de los estratos del talud   | Parámetros necesarios para métodos de cálculos de estabilidad de taludes   |

Tabla 82: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación de taludes

Los métodos de cálculo de estabilidad de taludes tienen como propósito determinar el factor de seguridad estático y sísmico, los cuales deben ser mayor que 1.5. Los distintos métodos de cálculos pueden organizarse y mostrarse mediante el siguiente diagrama:

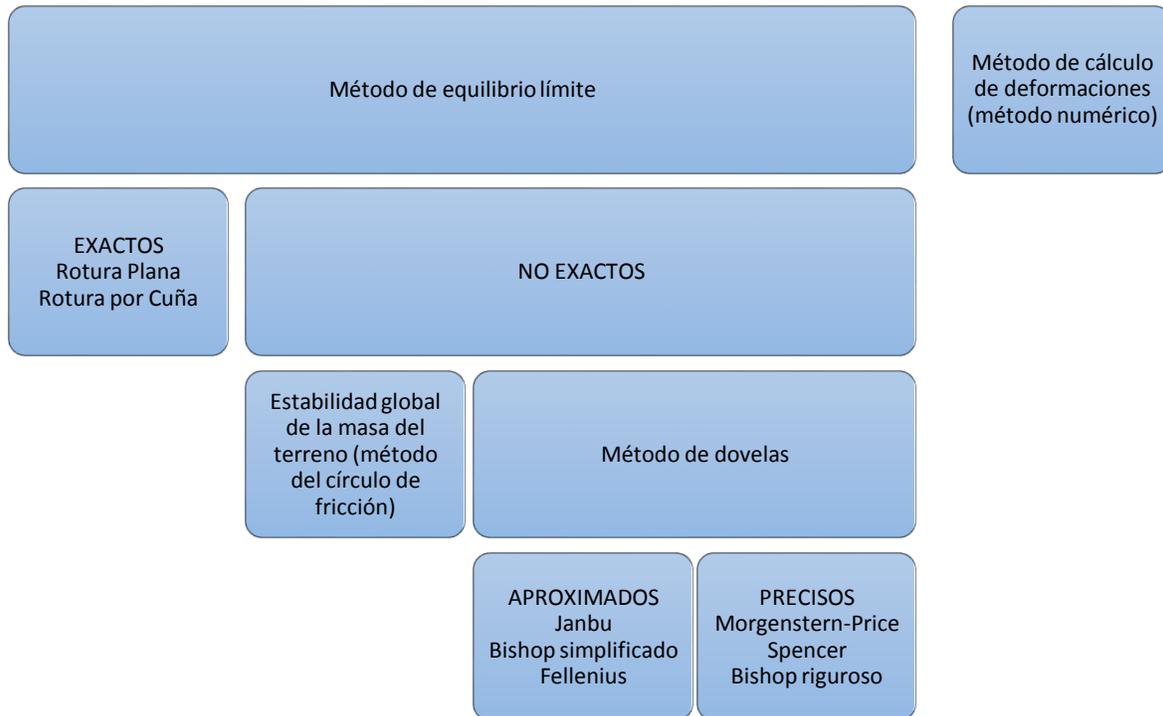


Figura 51: Métodos de análisis de estabilidad de taludes

### 7.3.3 APERNADO DE ROCAS

A continuación, se enlistan los estudios y parámetros mínimos a analizar para la evaluación de los apernados de rocas.

| Parámetros  | Motivo   |
|---|--|
| Medición de esfuerzos   | Uso del método de overcoring y empleando la celda triaxial Hollow Inclusion para caracterizar esfuerzos en el macizo rocoso. Aporta en la elección del tipo de perno y dirección del apernado  |
| Inspección in situ de zonas de debilidad y meteorizadas                                 | Mapear y estimar el comportamiento del macizo rocoso mediante sistemas de clasificación  |
| Inspección in situ de descargas de agua   | Mapear sectores con presencia de agua y altas presiones de poros. Estudios de acidez del agua Aporta en la elección del tipo de perno y análisis de su desgaste en el tiempo.  |
| Sondajes, ensayos de corte directo y triaxial y estudio de densidad in situ             | Caracterización del macizo rocoso  |
| Medición de presión de poros y niveles freáticos (piezómetro)                           | Evaluar presencia de agua en taludes, presión de poros, lubricación de estructuras geológicas y ubicación del nivel freático en el tiempo. Aporta en la elección de tipo de perno y aplicación de resina de recubrimiento del perno en caso de ser necesario   |
| Estudios electromagnéticos  | Evaluar presencia de zonas débiles   |
| Inspección in situ de fracturas cerradas/abiertas, fallas, grietas y cárcavas           | Mapear y estimar el comportamiento del macizo rocoso mediante sistemas de clasificación. Detectar deslizamientos por inestabilidad de bloques debido a la presencia de estructuras geológicas mayores (deslizamiento de planos, deslizamiento de cuñas o problemas de volcamiento) con el fin de analizar la dirección del apernado.   |
| Comportamiento frente a eventos sísmicos extremos                                       | Establecer las condiciones sísmicas que servirían de base para el estudio geotécnico. Determinar las aceleraciones máximas que debe esperarse que sean excedidas para periodos de retorno de 100, 500 y 1.000 años. Estimar la probabilidad de excedencia del sismo máximo creíble. El concepto de máximo sismo creíble se refiere a aquel sismo que tenga una probabilidad mayor a 90% de ocurrencia en un período determinado. |
| Orientación del apernado  | Determina si la colocación del apernado se ajusta con los criterios de diseño  |
| Características del apernado (largo, material, tipo de perno y certificación del perno) | Determina si el apernado es apropiado según las características del macizo rocoso  |
| Estado del apernado (ajustes, oxidación del material, derrumbes y vandalismo)           | Determina estado del apernado con el fin de evaluar ajustes, rediseño de la malla y detectar zonas de peligro que deben ser aisladas   |
| Control del patrón de pernos (Pattern)  | Determinar si el espaciamiento de pernos cumple con la malla de diseño   |
| ESR   | Factor de seguridad de los pernos que depende del uso y del nivel de seguridad de la estructura. Nos indica la vida útil del perno   |
| Lectura de extensómetros  | Análisis de deformaciones de paredes en el tiempo  |
| Ensayo de tracción de perno   | Medir el rendimiento de anclaje del perno según solicitudes del diseño   |

Tabla 83: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación de apernado de rocas

### 7.3.4 APERTURAS DE DRENAJE

A continuación, se enlistan los estudios y parámetros mínimos a analizar para la evaluación de apertura de drenaje.

| Parámetros  | Motivo  |
|---|---|
| Número y espaciado de las perforaciones                                       | Mantener características de diseño para asegurar un adecuado drenaje de aguas   |
| Estado de las perforaciones   | Evaluar la obstrucción de perforaciones   |
| Estado de drenaje   | Evaluar flujo del drenaje   |
| Estudios hidrología e hidrogeología   | Evaluar la presencia de agua en términos de cantidad de flujos y variaciones  |
| Inspección in situ de fracturas cerradas/abiertas, fallas, grietas y cárcavas | Mapear y estimar el comportamiento del macizo rocoso mediante sistemas de clasificación. Detectar deslizamientos por inestabilidad de bloques debido a la presencia de estructuras geológicas mayores (deslizamiento de planos, deslizamiento de cuñas o problemas de volcamiento) con el fin de analizar posibles obstrucciones, zonas de debilidad o derrumbes en el sector de las perforaciones de drenaje |

Tabla 84: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación de apertura de drenajes

### 7.3.5 RELLENO DE RAJO

A continuación, se enlistan los estudios y parámetros mínimos a analizar para la evaluación de relleno de rajo.

| Parámetros   | Motivo  |
|--|---|
| Medición niveles freáticos (piezómetro)                                      | Evaluar presencia o ubicación del nivel freático en el tiempo   |
| Estudios electromagnéticos   | Evaluar presencia de zonas débiles en el subsuelo   |
| Sondajes y test de penetración de cono                                       | Estudio de compactación y evaluación detallada de estabilidad del suelo, licuefacción bajo influencia sísmica, permeabilidad, estratigrafía y resistencia o capacidad de soportar cargas sobre él   |
| Análisis granulometría   | Determinar de las características geotécnicas del macizo rocoso y suelo, realizar un reconocimiento geotécnico y obtener datos para modelamiento y simulaciones, conocer el comportamiento del suelo y subsuelo ante esfuerzos, determinar capacidad de drenaje |
| Análisis del contenido de humedad  |   |
| Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, límites de Attenberg |   |
| Ensayo de corte directo y triaxial   |   |
| Test de proctor  |   |
| Ensayo de consolidación  |   |

Tabla 85: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación de relleno de rajas

### 7.3.6 CANALES DE DESVIACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL

A continuación, se enlistan los estudios y parámetros mínimos a analizar para la evaluación de canales de desviación de agua superficial y canales perimetrales.

| Parámetros   | Motivo  |
|--|---|
| Estado de la capacidad y recorrido de los canales a lo largo de su recorrido | La dirección de las aguas no debe afectar negativamente a las comunidades, medio ambiente o actividades económicas (así como a otras faenas)  |
| Detectar desviaciones rectas de canales                                      | Se debe detectar estos errores de diseño para evitar que se tape el canal (respetar radios mínimos de curvatura)  |
| Erosión del canal  | Se deben detectar para evitar escurrimientos superficiales del canal  |
| Acumulación de agua debido a bloqueos parciales o totales                    | Se deben detectar para evitar escurrimientos superficiales y/o inundaciones   |
| Estudios climáticos e hidrológicos   | Considerar períodos de alto caudal y precipitaciones con el fin de compararlo con el diseño actual y programar visitas a terreno  |
| Detectar cambios de pendiente  | Detectar aquellas zonas donde la velocidad es mayor con el fin de monitorear la erosión de la sección del canal. Detectar aquellas zonas donde la velocidad es menor con el fin de monitorear posibles tapones de sedimentos y escurrimientos   |
| Geometría de la sección transversal  | Detectar zonas de acumulación de sedimentos para su limpieza o zonas de mayor erosión para su reparación  |
| Medición de la revancha  | El diseño debe asegurar una revancha amplia debido a las crecidas   |
| Medición de caudal   | Monitoreo de caudal de agua que transporta el canal en un determinado período   |
| Estado de taludes  | Dado tipo del terreno y pendiente pueden diseñarse taludes con el fin de evitar desbordes del canal. Estos deben analizarse según la sección TALUDES del presente texto   |
| Control de material en canales   | Remover el exceso de material que pueden generar obstrucción total o parcial del flujo de agua  |
| Diseño/Caudal  | Comparar la capacidad de diseño del canal con un caudal en pendiente favorable y con la máxima crecida registrada con el fin de asegurar un buen diseño a lo largo de su recorrido y evitar desbordes   |
| Intervenciones   | Intervenciones de aguas debido a la acción de animales o del hombre. Deben ser notificadas al SERNAGEOMIN y reparadas   |
| Elementos de diseño  | Corroborar en el tiempo que los parámetros de diseño no se han modificado significativamente debido a la erosión o a intervenciones animales o humanas. Se deben comparar los elementos de diseño originales con los actuales: Ancho superior del canal sin agua, ancho base canal, talud del canal aguas arriba y aguas abajo (si aplica), profundidad del canal, coeficiente de rugosidad, velocidad de escurrimiento, sección transversal y ancho de berma (si aplica) |

Tabla 86: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación de canales de desviación de aguas

### 7.3.7 TRANQUES DE RELAVES

A continuación, se enlistan los estudios y parámetros mínimos a analizar para la evaluación de tranques de relaves. Se habla sobre descabezamiento del muro, tendido o reperfilamiento del talud, banqueo, construcción de muros y gaviones, revegetación de taludes y geosintéticos, cubrimiento con suelo natural, cubierta y sello o encapsulamiento:

| Parámetro  | Motivo   |
|--|--|
| Medición de la pendiente del nuevo talud del muro (extensómetros)  | Las técnicas de descabezamiento del muro, tendido o reperfilamiento del talud y banqueo, modifican la pendiente del muro por lo cual se debe controlar que en el tiempo este valor se mantenga según su diseño de cierre   |
| Levantamiento topográfico (nivelación)   | Estudio de deformación del coronamiento del muro   |
| Lectura de extensómetros   | Controlar movimientos del muro o asentamientos de sectores en el tiempo  |
| Inspección in situ de zonas de debilidad y meteorizadas  | Mapear y estimar el comportamiento de zonas del muro   |
| Estudio de densidad in situ  | Caracterización del muro   |
| Medición de presión de poros y niveles freáticos (piezómetro)  | Evaluar presencia de agua en el muro, lubricación de estructuras geológicas y presencia de filtraciones en el tiempo (en el muro y su base)  |
| Estudios electromagnéticos   | Evaluar presencia de zonas débiles en el subsuelo  |
| Comportamiento del muro del tranque y muros construidos posteriormente en la base del tranque frente a eventos sísmicos extremos | Establecer las condiciones sísmicas que servirían de base para el estudio geotécnico. Determinar las aceleraciones máximas que debe esperarse que sean excedidas para periodos de retorno de 100, 500 y 1.000 años. Estimar la probabilidad de excedencia del sismo máximo creíble. El concepto de máximo sismo creíble se refiere a aquel sismo que tenga una probabilidad mayor a 90% de ocurrencia en un período determinado. |
| Análisis granulometría   | Determinar de las características geotécnicas del muro, realizar un reconocimiento geotécnico y obtener datos para modelamiento y simulaciones, conocer el comportamiento del suelo y subsuelo ante esfuerzos, determinar capacidad de drenaje   |
| Análisis del contenido de humedad y permeabilidad  |  |
| Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, límites de Attenberg   |  |
| Ensayo de corte directo y triaxial   |  |
| Test de proctor  |  |
| Ensayo de consolidación  |  |
| Estado del sistema de drenaje  | Revisar el estado de canales de captación de aguas y sistemas de drenaje en la base del muro. Tomar como referencia las actividades de DESVIACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES del capítulo anterior   |
| Test de penetración de cono  | Estudio de compactación y evaluación detallada de estabilidad del suelo, licuefacción bajo influencia sísmica, permeabilidad, estratigrafía y resistencia o capacidad de soportar cargas sobre él  |
| Medición de la humedad de relaves  | Detectar humedad residual en los relaves y medir el estado del mecanismo de evaporación utilizado  |
| Estudios estado estructural de muros, gaviones y canales perimetrales  | Revisión del estado de muros construidos, incluidos los de la base del talud, detectar presencia de fallas en ellos o movimientos en el tiempo. En tranques cercanos a ríos, revisar el estado de gaviones entre el tranque y el río   |
| Estudios hidrológicos e hidrogeológicos  | Evaluar en el tiempo los flujos de agua que pueden afectar el tranque  |
| Estudios de variables ambientales  | Monitoreo de la velocidad, dirección del viento y calidad del aire, con el fin de estimar el levantamiento de polvo de relaves secos. Monitoreo de precipitaciones y deshielos para estimar las crecidas de flujos de agua en el tiempo. Monitoreo de temperaturas para estimar y evaluar la evaporación de aguas residuales en el tranque   |
| Ángulos de reposo  | Mediciones en las cuales se establece el ángulo o pendiente crítica en el cual el material puede fluir   |
| Estudios de taludes  | Se debe controlar la cantidad y calidad de las arenas para mantener una altura y ángulos de talud que hagan estable el muro. Una buena estabilidad se alcanza con un talud de 3:1. El estudio se puede complementar el estudio con parámetros expuestos en la sección de TALUDES de este capítulo  |

Tabla 87: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación de tranques de relaves

| Parámetro  | Motivo  |
|--|---|
| Medición de variables climáticas   | Se debe tener un conocimiento acabado de las precipitaciones y temperaturas para el éxito del crecimiento de la cubierta vegetal sobre los taludes, considerando además el tipo de vegetación a utilizar                      |
| Revisión de estado de mallas, redes, mantas metálicas o georedes                                 | Estas estructuras promueven el crecimiento de vegetación. De estar dañadas por meteorización, derrumbes o vandalismo, deben ser reparadas o reemplazadas  |
| Análisis granulometría   | Determinar el comportamiento del suelo y subsuelo, determinar capacidad de drenaje y permeabilidad  |
| Análisis del contenido de humedad y permeabilidad  |   |
| Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, límites de Attenberg                     |   |
| Test de proctor  |   |
| Ensayo de consolidación  |   |
| Medición de presión de poros y niveles freáticos (piezómetro)                                    | Evaluar presencia de agua y de filtraciones en el tiempo  |
| Diagnóstico ambiental de los suelos  | Medir la calidad del suelo y su capacidad para generar y albergar vida vegetal. Medición de cantidad de contaminantes   |
| Medición de la velocidad y dirección del viento y calidad del aire                               | Estimación de la erosión del suelo. Medición de la calidad del aire por presencia de material particulado   |
| Medición de la humedad de relaves  | Detectar humedad residual en los suelos y subsuelo. Medir el estado del mecanismo de evaporación utilizado  |
| Crecimiento de especies vegetales  | Seguimiento del crecimiento de especies vegetales, análisis del tamaño de raíces. Una vez que las raíces de la especie vegetal estén en contacto con el suelo de relaves pueden experimentarse cambios o pérdidas de especies |
| Medición del factor de seguridad del suelo en presencia de vegetación ( $FS > 1$ )               | El árbol y su sistema de amarre del suelo por las raíces, confiere un mayor factor de seguridad   |
| Resistencia (expresada como cohesión) proporcionada por las raíces ( $C_r$ ) [ $\text{KN/m}^2$ ] | Parámetro necesario para el cálculo del factor de seguridad (Ver ecuación 2)  |
| Cohesión del suelo ( $C_s$ ) [ $\text{KN/m}^2$ ]   | Parámetro necesario para el cálculo del factor de seguridad   |
| Pendiente del talud o terreno en grados ( $\alpha$ )   | Parámetro necesario para el cálculo del factor de seguridad   |
| Sobrecarga dada por la especie vegetal ( $q_o$ ) [ $\text{KN/m}^2$ ]                             | Parámetro necesario para el cálculo del factor de seguridad   |
| Espesor de la capa de suelo en metros ( $D$ )  | Parámetro necesario para el cálculo del factor de seguridad   |
| Espesor de la capa de suelo saturado en metros ( $D_w$ )   | Parámetro necesario para el cálculo del factor de seguridad   |
| Coefficiente de fricción interna ( $\tan\theta$ )  | Parámetro necesario para el cálculo del factor de seguridad   |
| Peso unitario del suelo seco ( $\gamma$ ) [ $\text{KN/m}^3$ ]                                    | Parámetro necesario para el cálculo del factor de seguridad   |
| Peso unitario del suelo saturado ( $\gamma_{sat}$ ) [ $\text{KN/m}^3$ ]                          | Parámetro necesario para el cálculo del factor de seguridad   |

Tabla 88: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación de revegetación

$$FS = \frac{C_r + C_s + \cos^2(\alpha)[q_o + \gamma(D - D_w) + (\gamma_{sat} - \gamma)D_w]\tan(\theta)}{\sin(\alpha) \cos(\alpha) [q_o + \gamma(D - D_w) + \gamma_{sat}D_w]}$$

Ecuación 2: Cálculo del factor de seguridad en presencia de especies vegetativas

### 7.3.8 DEPÓSITOS MASIVOS

Para los depósitos masivos, las medidas de remediación adoptadas corresponden al aseguramiento de estabilidad física de taludes, perfilamiento de taludes y descabezamiento de coronamientos y retiro de sobrecargas, cubrimiento superficial, revegetación y desviación de agua superficial. Estas medidas han sido abordadas en los capítulos anteriores del anexo, por lo tanto, deben tomarse como referencias los parámetros enlistados en dichas secciones. Se debe realizar una evaluación de la estabilidad de los botaderos debe incluir un análisis de riesgos frente a crecidas e inundaciones y arrastre de material en crecidas.

### 7.3.9 MINAS SUBTERRÁNEAS

A continuación, se enlistan los estudios y parámetros mínimos a analizar para la evaluación de sellado de piques y socavones.

| <b>Parámetro</b>  | <b>Motivo</b>  |
|---|--|
| Análisis estructural de construcciones de concreto y roca             | Establecer presencia de fallas estructurales de los sellos producto de sobrecargas, presión de agua o desgaste de material   |
| Comportamientos estructurales frente a eventos sísmicos extremos      | Establecer las condiciones sísmicas que servirían de base para el estudio geotécnico y estructural de sellos y cierres de material de concreto. Determinar las aceleraciones máximas que debe esperarse que sean excedidas para periodos de retorno de 100, 500 y 1.000 años. Estimar la probabilidad de excedencia del sismo máximo creíble. El concepto de máximo sismo creíble se refiere a aquel sismo que tenga una probabilidad mayor a 90% de ocurrencia en un período determinado. |
| Medición de presión de poros y niveles freáticos (piezómetro)         | Evaluar presencia de agua en el terreno, presión de poros, lubricación de estructuras geológicas y ubicación del nivel freático en el tiempo   |
| Inspección in situ de descargas de agua                               | Mapear sectores con presencia de agua de descarga al exterior o de infiltración  |
| Evaluar condiciones hidráulicas de descarga de agua hacia el exterior | Describir el caudal de agua que sale al exterior y el diseño de captación de dichas aguas para encausarlas a canales de desviación de aguas superficiales  |
| Excavaciones laterales  | Verificar la presencia de excavaciones laterales que puedan afectar la eficiencia del sello  |
| Estado del sello de piques  | Verificar la integridad del sello debido a robos o vandalismo  |
| Inspección in situ de zonas de debilidad y meteorizadas               | Mapear y estimar el comportamiento del macizo rocoso alrededor del sello mediante sistemas de clasificación  |
| Estado de cierres de accesos a túneles, piques y chimeneas            | Verificar que los cierres o sellos están en buen estado y que reconstruyen parcial o totalmente el perfil de la superficie del terreno   |
| Estado de canales de desviación de aguas superficiales                | Ver capítulo de CANALES DE DESVIACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES. Corroborar que el drenaje de agua se mantiene en condiciones que alejan el agua de las entradas a la mina  |
| Estado de perfilamiento del terreno                                   | Que permita un buen escurrimiento de aguas superficiales   |

Tabla 89: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación de sellado de piques y socavones

A continuación, se enlistan los estudios y parámetros mínimos a analizar para la evaluación de subsidencias:

| <b>Parámetro</b>   | <b>Motivo</b>  |
|--|--|
| Medición de pendientes y lectura de extensómetros  | Cálculo de pendiente de paredes del cráter y movimientos de terreno en el tiempo   |
| Registro de movimientos del suelo  | Evaluar los movimientos del suelo mediante geófonos  |
| Medición de presión de poros y niveles freáticos (piezómetro)  | Evaluar presencia de agua en taludes, presión de poros, lubricación de estructuras geológicas y ubicación del nivel freático en el tiempo  |
| Inspección in situ de descargas de agua  | Mapear sectores con presencia de agua y altas presiones de poros   |
| Calidad del macizo rocoso  | Caracterizar mediante sondajes la roca circundante de la subsidencia según sistema GSI, RMR y MRMR   |
| Profundidad de la mina, densidad del material quebrado, perímetro basal de la zona quebrada, altura de material quebrado, altura del cráter, zona de influencia, zona estable, ángulo de quiebre y de fracturamiento                                 | Caracterizar la evolución de la subsidencia  |
| Mapear parámetros de la subsidencia  | Registrar parámetros visibles como dimensión de la zona de cráter, zona fracturada, zona continua, taludes, discontinuidades de la subsidencia, fallas tipo toppling, fracturas de tensionales, para la caracterización visual de la subsidencia   |
| Ángulo de inclinación del talud, valor de cohesión del material, coeficiente de fricción interna del material y ángulo de rozamiento interno del suelo, peso unitario del material seco y saturado, sobrecarga y peso de los estratos de los taludes | Estudio preliminar del tipo de falla que se produce según superficie de deslizamiento. Parámetros necesarios para métodos de cálculos de estabilidad de taludes por medio de análisis de equilibrio límite   |
| Comportamiento frente a eventos sísmicos extremos  | Establecer las condiciones sísmicas que servirían de base para el estudio geotécnico. Determinar las aceleraciones máximas que debe esperarse que sean excedidas para periodos de retorno de 100, 500 y 1.000 años. Estimar la probabilidad de excedencia del sismo máximo creíble. El concepto de máximo sismo creíble se refiere a aquel sismo que tenga una probabilidad mayor a 90% de ocurrencia en un período determinado. |
| Desplazamiento vertical del terreno  | Estudio mediante el registro de variaciones de coordenadas planimétricas y altimétricas de puntos estratégicos utilizando equipos receptores GPS. También es posible realizar interferometría diferencial DinSAR para el monitoreo de la subsidencia.  |

Tabla 90: Parámetros mínimos a analizar para la evaluación de subsidencias

### 7.3.10 OBRAS ESTRUCTURALES CIVILES Y OTROS

Los estudios y monitoreos, posterior al desmontaje y/o demolición deben centrarse en detectar zonas de apozamiento de aguas y exposición de fundaciones de los equipos, instalaciones y radiers de concreto por erosión eólica, acción de vida silvestre o personas. En cuanto a los sitios protegidos, los estudios y monitoreos deben centrarse en verificar la integridad de sitios protegidos.

## 7.3 PREGUNTAS POR SECCIÓN AE-PC

### Sección 1: Preguntas preliminares

**¿Hay riesgo probable de contaminación bacteriana, biológica o radiactiva?**

Sí (Contactar inmediatamente con el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Salud para advertir de la presencia de dichos contaminantes)

No

**¿Se han llevado a cabo las investigaciones ambientales en los lugares donde se emplazan los PAM?**

Sí

No (Se marca una advertencia inmediata y se clasifica como simulación básica debido a la falta de investigación ambiental que apoye una simulación más detallada)

**¿Hay evidencia directa y significativa de los impactos a los seres humanos en el lugar o fuera de las instalaciones debido a la migración de contaminantes desde el sitio?**

Sí (Se marca con una advertencia y se clasifica con puntaje elevado debido al alto riesgo de contaminación a personas)

No

**¿Hay evidencia directa y significativa de los impactos a receptores ecológicos en el lugar o fuera de las instalaciones debido a la migración de contaminantes desde el sitio?**

Sí (Se marca con una advertencia y se clasifica con puntaje elevado debido al alto riesgo de contaminación ecológica)

No

**¿Se ha realizado una evaluación de riesgo para el cierre de minas?**

Sí

No (Se marca una advertencia inmediata y se clasifica como simulación básica debido a la falta de información de valor de riesgo residual que apoye las medidas de postcierre)

**¿Existe presencia de desechos volátiles o explosivos en el lugar?**

Sí (Contactar inmediatamente al Ministerio de Medio Ambiente)

No

### Sección 2: Caracterización del sitio de emplazamiento del PAM

**Tipo de PAM**

**Descripción del PAM**

**Latitud y Longitud (Grados, min y segs)**

**UTM (Norte y Este)**

**Altitud (msnm)**

**Área de ocupación**

**Clima**

**Geografía**

**Descripción del lugar de emplazamiento del PAM**

### Sección 3: Características del contaminante

#### 1- Residencia Media

- a. ¿Cuál de los siguientes medios de residencia se conocen (o sospecha) para los contaminantes? (Información: Una puntuación cada vez mayor de residencia de los químicos que exceden o se sospecha que exceden la concentración establecida en la normativa ambiental aplicable, a menudo equivale a un mayor riesgo potencial debido a un aumento en el número de posibles vías de exposición)
- i. Suelo
    - 1. Sí (2)
    - 2. No (0)
    - 3. Sin información (1)
  - ii. Agua subterránea
    - 1. Sí (2)
    - 2. No (0)
    - 3. Sin información (1)
  - iii. Agua superficial
    - 1. Sí (2)
    - 2. No (0)
    - 3. Sin información (1)
  - iv. Sedimentos
    - 1. Sí (2)
    - 2. No (0)
    - 3. Sin información (1)

La puntuación total se calcula sumando las puntuaciones individuales de cada medio de residencia

#### 2- Peligro Químico

- a. ¿Cuál es el grado relativo de peligro químico del contaminante en la lista de clasificación de riesgo? (Información: Peligro se refiere a las propiedades físicas de un producto químico que puede causar daño. El objetivo de esta categoría es medir calificar el potencial de toxicidad. El grado relativo de peligro químico debe seleccionarse con base al contaminante más peligrosos conocido o sospechado de estar presente en el sitio. El grado de riesgo ha sido definido por la FCSAP, junto a una lista de sustancias con el peligro asociado bajo, medio o alto)
- i. Alto (8)
  - ii. Medio (4)
  - iii. Bajo (2)
  - iv. Sin información (6)

### 3- Factor de excedencia

- a. ¿Cuál es la relación entre la concentración del contaminante medido y las normas ambientales aplicables? (Información: La relación se determina como el cociente entre la concentración contaminante medida y la concentración promedio permitida por la normativa ambiental aplicable. La clasificación debe basarse en contaminante con mayor excedencia respecto a las normas ambientales.

Alta = La concentración de contaminantes es 100 veces mayor que lo establecido en la normativa ambiental aplicable.

Medio = La concentración de contaminantes es entre 10 y 99.99 veces mayor que lo establecido en la normativa ambiental aplicable.

Bajo = La concentración de contaminantes es entre 1 y 9.99 veces mayor que lo establecido en la normativa ambiental aplicable.

Líquidos en fase no acuosa (NAPL) = Es un contaminante de baja solubilidad (no se disuelve en agua) pero permanece como un líquido separado del agua. Se debe considerar esta alternativa solo en el caso que el contaminante esté presente en un nivel suficientemente alto de saturación (mayor que la saturación residual) de tal manera que existe un potencial significativo para la movilidad)

- i. Líquidos en fase no acuosa móviles (8)
- ii. Alto:  $\geq 100$  (6)
- iii. Medio: [10-100[ (4)
- iv. Bajo: [1-100] (2)
- v. Sin información (6)

### 4- Cantidad de contaminante

- a. ¿Cuál es el área que cubren todos los contaminantes? (Información: Medir o estimar el área o la cantidad de contaminación total de conocida o sospechada en el sitio. El área de contaminación se define como el área o volumen de los medios contaminados (suelo, sedimentos, aguas subterráneas, aguas superficiales) Una cantidad mayor de una sustancia puede dar lugar a una mayor de exposición y/o una mayor probabilidad de migración)

- i. > 10 hectáreas o 5.000 m<sup>3</sup> (9)
- ii. 2 a 10 hectáreas o 1000 a 5000 m<sup>3</sup> (6)
- iii. < 2 hectáreas o 1000 m<sup>3</sup> (3)
- iv. Sin información (6)

- b. ¿Cuántos tipos distintos de contaminantes hay presentes?

- i. Uno (1)
- ii. Dos a cuatro (2)
- iii. Cinco o más (3)
- iv. Sin información (3)

## Sección 4: Migración del contaminante

### 1- Aguas subterráneas

- a. Propiedades del agua subterránea:
  - i. Agua potable o no potable con receptores claros (12)
  - ii. Agua potable o no potable con sospecha de receptores (6)
  - iii. No existe evidencia de aguas subterráneas o dentro de los 5 km del sitio no hay ambientes receptores (0)
- b. Identificación de Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC)
  - i. Las concentraciones de contaminantes exceden las concentraciones permisibles y significa un riesgo para la vida acuática, riego, ganado y/o recreación. Existe contacto conocido de contaminantes con agua según observaciones in situ. Los desechos químicos han demostrado ser tóxico según pruebas in situ (12)
  - ii. La información del punto anterior es potencial o se sospecha (6)
  - iii. Ausencia de contacto o exposición del agua a contaminantes (existe una distancia entre el contaminante y el agua mayor a 5km) (0)
- c. Movilidad (Información: Para los metales es necesario medir el pH del agua. Para compuestos orgánicos se utilizará documento anexo "Soil Screening Guidance: Technical Background Document" propuesto por "United States Environmental Protection Agency", 1996)
  - i. Alta (Orgánicos:  $\log K_{oc} (L/kg) < 2.7$ ; Metales en condiciones ácidas:  $pH < 5$ ; Metales en condiciones alcalinas:  $pH > 8.5$ ) (4)
  - ii. Media (Orgánicos:  $\log K_{oc} (L/kg) = [2.7, 3.7[$ ; Metales en condiciones ácidas:  $pH = [5, 6]$ ; Metales en condiciones alcalinas:  $pH = [7.5, 8.5]$ ) (2)
  - iii. Baja (Orgánicos:  $\log K_{oc} (L/kg) = [3.7, 5]$ ; Metales en condiciones ácidas:  $pH > 6$ ; Metales en condiciones alcalinas:  $pH < 7.5$ ) (1)
  - iv. Sin información (2)
- d. Existencia de contención de contaminantes en el subsuelo (Información: natural o artificial que atenúe los procesos migratorios hacia aguas subterráneas, se debe establecer si existen o no las condiciones de estado estacionario)
  - i. No existe contención (4)
  - ii. Contención parcial (2)
  - iii. Contención total (0)
  - iv. Sin información (2)
- e. Distancia horizontal al agua subterránea
  - i. De 0 a <300 metros (3)
  - ii. [100, 500] metros (2)
  - iii. >500 metros (1)
  - iv. Sin información (2)

- f. **Espesor de la capa de confinamiento que separa las aguas subterráneas de los contaminantes (Información: La capa de confinamiento es el material con poca o nula permeabilidad o conductividad hidráulica (como la arcilla), por la cual el agua no pasa a través o su tasa de movimiento es muy lenta)**
- i. 3 metros o menos (incluye la discontinuidad o inexistencia de capa, o simplemente el afloramiento de aguas subterráneas) (3)
  - ii. 3 a 10 metros (1)
  - iii. Mayor a 10 metros (0)
  - iv. Sin información (2)
- g. **Conductividad hidráulica de la capa de confinamiento (Información: Ver anexos. Se estima la conductividad hidráulica y permeabilidad del material de la capa)**
- i.  $>10^{-4}$  [cm/s] o inexistencia de capa de confinamiento (3)
  - ii.  $[10^{-4}, 10^{-6}]$  [cm/s] (2)
  - iii.  $<10^{-6}$  [cm/s] (1)
  - iv. Sin información (2)
- h. **Factor de infiltración de precipitaciones (Información: Se obtiene de la siguiente formula [Precipitaciones anuales en mm/1000] x [factor de permeabilidad del suelo]. Ver anexos para el factor de permeabilidad. En caso de precipitaciones en forma de nieve, multiplicar el factor de precipitaciones por 10)**
- i. Alta ( $\geq 1$ ) (3)
  - ii. Media [0.5, 1[ (2)
  - iii. Baja ]0, 0.5[ (1)
  - iv. Inexistente (0)
  - v. Sin información (2)
- i. **Conductividad hidráulica del acuífero**
- i.  $>10^{-2}$  [cm/s] (3)
  - ii.  $[10^{-2}, 10^{-4}]$  [cm/s] (2)
  - iii.  $<10^{-4}$  [cm/s] (1)
  - iv. Sin información (2)
- j. **Nivel de vulnerabilidad del acuífero según método BGR (Información: Ver anexos. Se calcula según el método BGR del “Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos establecido en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas”, Decreto supremo n° 46 de 2002)**
- i. Alta (3)
  - ii. Media (2)
  - iii. Baja (1)
  - iv. Sin información (2)

## 2- Aguas superficiales

- a. **Propiedades del agua superficial:**
  - i. Agua potable o no potable con receptores claros (12)
  - ii. Agua potable o no potable con sospecha de receptores (6)
  - iii. No existe evidencia de aguas superficiales o dentro de los 5 km del sitio no hay ambientes receptores (0)
  
- b. **Identificación de Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC)**
  - i. Las concentraciones de contaminantes exceden las concentraciones permisibles y significa un riesgo para la vida acuática, riego, ganado y/o recreación. Existe contacto conocido de contaminantes con agua según observaciones in situ. Los desechos químicos han demostrado ser tóxico según pruebas in situ (12)
  - ii. La información del punto anterior es potencial o se sospecha (6)
  - iii. Ausencia de contacto o exposición del agua a contaminantes (existe una distancia entre el contaminante y el agua mayor a 5km) (0)
  
- c. **Movilidad (Información: Para los metales es necesario medir el pH del agua. Para compuestos orgánicos se utilizará documento anexo "Soil Screening Guidance: Technical Background Document" propuesto por "United States Environmental Protection Agency", 1996)**
  - i. Alta (Orgánicos:  $\log K_{oc}$  (L/kg) <2.7; Metales en condiciones ácidas:  $\text{pH} < 5$ ; Metales en condiciones alcalinas:  $\text{pH} > 8.5$ ) (4)
  - ii. Media (Orgánicos:  $\log K_{oc}$  (L/kg) = [2.7, 3.7]; Metales en condiciones ácidas:  $\text{pH} = [5, 6]$ ; Metales en condiciones alcalinas:  $\text{pH} = [7.5, 8.5]$ ) (2)
  - iii. Baja (Orgánicos:  $\log K_{oc}$  (L/kg) = [3.7, 5]; Metales en condiciones ácidas:  $\text{pH} > 6$ ; Metales en condiciones alcalinas:  $\text{pH} < 7.5$ ) (1)
  - iv. Sin información (2)
  
- d. **Existencia de contención de contaminantes (Información: Revisar los sistemas de contención naturales o artificiales existentes, relacionar estas estructuras a las condiciones del lugar, la proximidad a las aguas superficiales y determinar si se logra la contención completa)**
  - i. No existe contención (no hay barreras que intervienen entre el sitio y el agua superficial cercana) (4)
  - ii. Contención parcial (Por ejemplo, barreras naturales, árboles, acequias y estanques de sedimentación) (2)
  - iii. Contención total (Por ejemplo, tapado, bermas y diques. Incluyendo contención de productos químicos) (0)
  - iv. Sin información (2)
  
- e. **Distancia al agua superficial**
  - i. De 0 a <100 metros (3)
  - ii. [100, 300] metros (2)
  - iii. >300 metros (1)
  - iv. Sin información (2)

- f. ¿En qué parte del curso del río se encuentra más cercano el residuo o remanente minero?
- i. Curso alto (erosión) (3)
  - ii. Curso medio (transporte) (2)
  - iii. Curso bajo (sedimentación) (1)
  - iv. Sin información (2)
- g. Topografía (Información: Revisar documentos sobre la topografía del lugar y la pendiente del terreno circundante. Ver anexo de clasificación de pendientes)
- i. Los contaminantes están sobre el nivel del suelo y la pendiente es inclinada o muy inclinada (5)
  - ii. Los contaminantes están en o por debajo del nivel del suelo y la pendiente es inclinada o muy inclinada (4)
  - iii. Los contaminantes están sobre el nivel del suelo y la pendiente es suave a moderadamente inclinada (3)
  - iv. Los contaminantes están en o por debajo del nivel del suelo y la pendiente es suave a moderadamente inclinada (2)
  - v. Los contaminantes están sobre el nivel del suelo y la pendiente es muy suave o plana (1)
  - vi. Los contaminantes están en o por debajo del nivel del suelo y la pendiente es muy suave o plana (0)
  - vii. Sin información (2)
- h. Potencial de escorrentía (Información: Ver anexos. El potencial de escorrentía se calcula multiplicando el factor de precipitaciones anuales por el factor de permeabilidad. Factor de precipitaciones anuales = precipitaciones anuales [mm] divididas por 1000. El factor de permeabilidad puede verse en la tabla de anexos. En caso de que las precipitaciones sean en forma de nieve, multiplicar el factor de precipitaciones por 10)
- i. Alta (potencial escorrentías > 0.6) (4)
  - ii. Moderada ( $0.4 < \text{potencial de escorrentía} < 0.6$ ) (3)
  - iii. Baja (puntuación escorrentía  $0.2 < \text{precipitaciones} < 0.4$ ) (2)
  - iv. Muy baja ( $0 < \text{potencial de escorrentía} < 0.2$ ) (1)
  - v. Ninguno (potencial de escorrentía = 0) (0)
  - vi. Sin información (3)
- i. Potencial de inundación (Información: Revisar cartas de inundaciones o potencial de inundación de los cursos de agua, tanto aguas arriba como aguas abajo. Esta información está disponible en el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile y en la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile)
- i. 1 inundación cada 2 años (3)
  - ii. 1 inundación cada 10 años (2)
  - iii. 1 inundación cada 50 años (1)
  - iv. No hay inundación (0)
  - v. Sin información (2)

**3- Los suelos (Polvo en suspensión, exposición cutánea e ingestión)**

- a. La dirección del viento ¿Implica incidencia directamente (dirección y sentido) a comunidades, sitios protegidos, glaciares, fuentes de agua, lugares con presencia de especies vulnerables o con actividades tipo agricultura, ganadería o acuicultura? (Información: Se debe evaluar duración anual que el viento tiene algún grado de incidencia)
  - i. Sí, directamente (100%-50%) (6)
  - ii. Sí, parcialmente (49%-5%) (3)
  - iii. No (<5%) (1)
  - iv. Sin información (2)
  
- b. ¿Existe riesgo de erosión eólica? (Información: Toda faena en la que, durante su operación, el viento alcance una velocidad mayor o igual a los 20Km/Hr o se observe elevación de polvo desde caminos, rajos, botaderos, etc., será considerada "Faenas con riesgo de erosión eólica")
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (3)
  
- c. Identificación de Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC) en los suelos (Información: Recopilar información disponible sobre la calidad de los suelos superficiales (hasta 1.5 metros de profundidad) en el sitio e identifique las sustancias químicas de interés potencial y compárelos con los límites permisibles por la norma vigente aplicable)
  - i. La medición de COPC excede la normativa vigente aplicable (12)
  - ii. Se sospecha que la medición de COPC excede la normativa (6)
  - iii. La medición de COPC no excede la normativa vigente aplicable (0)
  
- d. ¿Los suelos están cubiertos?
  - i. Expuesto (4)
  - ii. Con cobertura vegetal (3)
  - iii. Con cobertura de jardines (2)
  - iv. Pavimentado (0)
  - v. Sin información (3)
  
- e. ¿Qué parte del año el sitio permanece cubierto por nieve?
  - i. 0% a 10% del año (4)
  - ii. 10% a 50% del año (3)
  - iii. 50% a 80% del año (2)
  - iv. 80% a 99% del año (1)
  - v. Sin información (2)

#### 4- Vapor

- a. **Identificación de Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC) en el vapor**
  - i. Existen concentraciones de sustancias químicas superiores a las permisibles en el aire (12)
  - ii. Se sospecha la existencia de concentraciones de sustancias químicas superiores a las permisibles en el aire (6)
  - iii. No existen concentraciones de sustancias químicas superiores a las permisibles en el aire (0)
  
- b. **Volatilidad relativa de la sustancia química (Información: Ver Anexos. Se basa en la constante de la Ley de Henry. Cada sustancia tiene una volatilidad que puede ser calculada a través de su constante de la Ley de Henry. La constante, es un indicador de la solubilidad de la fracción gaseosa de la sustancia en un líquido. Si la constante indica que la sustancia no es volátil, se asigna un valor cero y las tres preguntas siguientes de la sección "vapor" se les asignarán automáticamente las puntuaciones de cero)**
  - i. Alto:  $H' > 0.1$  (6)
  - ii. Moderado:  $0.001 \leq H' \leq 0.1$  (4)
  - iii. Bajo:  $H' < 0.001$  (2)
  - iv. No volátil:  $H' = 0$  (1)
  - v. Sin información (3)
  
- c. **Tamaño de grano del suelo (Información: Cuanto mayor es la permeabilidad de los suelos, mayor es el movimiento de los vapores)**
  - i. Fino: más del 50% de partículas de masa son inferior a 75  $\mu\text{m}$  de diámetro medio,  $D_{50} < 75 \mu\text{m}$  (2)
  - ii. Grueso: más más del 50% de partículas de masa son superior a 75  $\mu\text{m}$  de diámetro medio,  $D_{50} > 75 \mu\text{m}$  (4)
  - iii. Sin información (2)
  
- d. **Profundidad entre la superficie y la fuente contaminante**
  - i. Baja o nula: Menor o igual a 5 metros (4)
  - ii. Media: 10m – 5m (2)
  - iii. Alta: Mayor a 10 metros (0)
  - iv. Sin información (1)
  
- e. **Existencia de vías preferenciales de migración de evaporación de aguas (Información: Las vías preferenciales son zonas donde es más probable que ocurra la migración ya que hay menor resistencia al flujo. Por ejemplo, conductos subterráneos como alcantarillado y servicios públicos de desagües o sistemas sépticos, sumideros y grietas en el suelo)**
  - i. Sí (4)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)

## 5- Movimiento de sedimentos

- a. Migración de sedimentos que contienen Sustancias Químicas de Interés Potencial (COPC)
  - i. Los sedimentos depositados originalmente en el sitio han migrado (12)
  - ii. Se sospecha que los sedimentos depositados originalmente en el sitio han migrado (6)
  - iii. Los sedimentos han sido contenidos y no hay ninguna indicación de que migrarán en el futuro o hay ausencia de vías de migración de sedimentos (es decir, dentro de los 5 km del sitio no hay medios acuáticos receptores, y por lo tanto no hay sedimentos) (0)
  
- b. Los sedimentos que contienen concentraciones de sustancias químicas superiores a las permisibles ¿Se encuentran cubiertos con sedimentos limpios? (Información: Los sedimentos limpios no contienen concentraciones de sustancias químicas superiores a las permisibles. Extraer muestras o revisar las evaluaciones de sedimentos existentes)
  - i. Sí (2)
  - ii. No (4)
  - iii. Sin información (1)
  
- c. Espesor de la capa de sedimentos limpios:
  - i. <1.5m (4)
  - ii. 1.5m a 5m (2)
  - iii. >5m (0)
  - iv. Sin información (2)
  
- d. Para los lagos y los hábitats marinos poco profundos ¿Los sedimentos contaminados son afectados por la acción de las mareas, el oleaje o movimiento de hélices de transporte marítimo? (Información: Si el sedimento se encuentra en un río, la respuesta es “no”. La próxima pregunta considera ríos)
  - i. Sí (4)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
- e. ¿En qué parte del río se encuentran los sedimentos contaminados? (Información: Si los sedimentos están en un hábitat tipo lago o marina, seleccione “no”)
  - i. Curso alto (erosión) (4)
  - ii. Curso medio (transporte) (3)
  - iii. Curso bajo (sedimentación) (2)
  - iv. No se encuentran en ríos (0)
  - v. Sin información (2)

## 6- Remociones en masa

- k. ¿El sitio de emplazamiento es considerado lluvioso? (Información: Cualquier zona en la cual se presenten precipitaciones medias históricas superior a 250 mm/año será considerada como zona lluviosa)
- Sí (2)
  - No (0)
  - Sin información (1)
- l. ¿Existe escurrimiento de aguas superficiales al interior de minas subterráneas, rajos u otro tipo de instalaciones?
- Sí (2)
  - No (0)
  - Sin información (1)
- m. ¿Existe presencia de aguas subterráneas en faena? (Información: Se considera "Faena con presencia de aguas subterráneas" a toda que presenta afloramiento y presencia de agua en sus galerías y toda faena minera a cielo abierto con escurrimiento de aguas subterráneas por los taludes y acumulación de agua en el fondo del rajo)
- Sí (2)
  - No (0)
  - Sin información (1)
- n. ¿La faena presenta riesgo sísmico? (Información: Toda faena minera ubicada entre la XV y X región será considerada como "Faenas con riesgo sísmico")
- Sí (2)
  - No (0)
  - Sin información (1)
- o. ¿Se ha determinado el comportamiento frente a eventos sísmicos extremos? (Información: Establecer las condiciones sísmicas que servirían de base para el estudio geotécnico. Determinar las aceleraciones sísmicas básicas máximas que se espera que sean excedidas para periodos de retorno de 100, 500 y 1.000 años. Estimar la probabilidad de excedencia del sismo máximo creíble, es decir, aquel sismo que tenga una probabilidad mayor a 90% de ocurrencia en un período determinado)
- Sí (0)
  - No (2)
  - Sin información (1)
- p. ¿Se han realizado estudios de estabilidad de taludes? (Información: Estudios de método de equilibrio límite en sus distintas variantes o según el método numérico de cálculo de deformaciones. Se necesita como mínimo el ángulo del talud, cohesión del material, coeficiente de fricción interna del material y ángulo de rozamiento interno del suelo, peso unitario del material seco y saturado.)
- Sí (0)
  - No (2)
  - Sin información (1)

- q. **Factor de seguridad estático y sísmico (Información: Evaluar el peor caso)**
- i. FS mayor o igual a 1.5 (1)
  - ii. FS = [1.3, 1.5[ (2)
  - iii. FS = [1.1, 1.3[ (4)
  - iv. FS menor a 1.1 (6)
  - v. Sin información (5)
- r. **Ángulo de reposo del material (Información: Se mide según el tipo de material asociado. El ángulo de reposo establece el ángulo o pendiente crítica en el cual el material puede fluir)**
- i. El material en el sitio posee un ángulo de reposo que supera el ángulo de reposo típico (4)
  - ii. El material en el sitio posee un ángulo de reposo igual al ángulo de reposo típico (2)
  - iii. El material en el sitio posee un ángulo de reposo menor al ángulo de reposo típico (0)
  - iv. Sin información (1)
- s. **¿Existen especies vegetales en el sitio? (Información: Las especies vegetales y su sistema de amarre del suelo por las raíces, confiere un mayor factor de seguridad. De no existir, responder “No” a esta y la siguiente pregunta)**
- i. Sí (0)
  - ii. No (4)
  - iii. Sin información (1)
- t. **Medición del factor de seguridad (FS) del suelo en presencia de vegetación (Información: Como mínimo se deben tener presentes los siguientes valores: resistencia proporcionada por las raíces expresada como cohesión [KN/m<sup>2</sup>], cohesión del suelo [KN/m<sup>2</sup>], pendiente del talud o terreno en grados, sobrecarga dada por la especie vegetal [KN/m<sup>2</sup>], espesor de la capa de suelo en metros, espesor de la capa de suelo saturado en metros coeficiente de fricción interna (tan  $\theta$ ), peso unitario del suelo seco y saturado [KN/m<sup>3</sup>])**
- i. FS mayor o igual a 1.5 (1)
  - ii. FS = [1.3, 1.5[ (2)
  - iii. FS = [1.1, 1.3[ (3)
  - iv. FS menor a 1.1 (4)
  - v. No existen especies vegetativas (4)
  - vi. Sin información (3)

## Sección 5: **Exposición a contaminantes**

**NOTA:** En esta sección se pueden incluir los efectos adversos en base a la contaminación cruzada o directa en la cadena de alimentos para los seres humanos y/o animales. Sin embargo, el peso de la evidencia debe demostrar una relación directa de la fuente y el traslado. Alguien experimentado debe proporcionar una descripción detallada de las fuentes investigadas para evaluar y determinar la exposición e impacto en la vecindad del sitio contaminado.

### Sección 5.1: **Personas**

#### 3- Impacto conocido

- a. **Exposición conocida (Información: Esta categoría se puede basar en los resultados de las evaluaciones de riesgos, estudios que han informado que se exceden los niveles aceptables definidos por la jurisdicción para los productos químicos y evaluaciones basadas en análisis de sangre u otras pruebas basadas en la salud)**
  - i. **Impacto adverso documentado o exposición alta que tiene o va a resultar en un efecto adverso, lesión, perjuicio o menoscabo de la seguridad como consecuencia del lugar contaminado (24)**
  - ii. **Fuertes sospechas Impacto adverso documentado o exposición alta que tiene o va a resultar en un efecto adverso, lesión, perjuicio o menoscabo de la seguridad como consecuencia del lugar contaminado. Basado en observaciones o pruebas indirectas (12)**
  - iii. **No hay exposiciones ni probables impactos cuantificados o sospechosos en humanos (0)**

#### 4- Impacto potencial

- a. **Uso de suelos (Información: Si el uso futuro de la tierra es más "sensible" que el uso actual de la tierra, se debe evaluar el caso más sensible)**
  - i. **Agrícola (12)**
  - ii. **Residencial/Recreacional (10)**
  - iii. **Comercial (6)**
  - iv. **Industrial (2)**
  - v. **Sin información (3)**
- b. **Nivel de accesibilidad a la parte contaminada del sitio (probabilidad de entrar en contacto con la contaminación)**
  - i. **Barreras limitadas para impedir el acceso al sitio; contaminación no cubierta (12)**
  - ii. **Acceso moderado o sin barreras; los contaminantes están cubiertos o no cubiertos en ubicaciones remotas (6)**
  - iii. **Acceso controlado o ubicación remota de contaminantes cubiertos (3)**
  - iv. **Sin información (3)**

- c. **Distancia de lugares de residencia o actividad económica al sitio contaminado**
  - i. Entre 0 a 1km (5)
  - ii. Entre 1km a 3km (3)
  - iii. Entre 3km a 5km (2)
  - iv. Mayor a 5km (0)
  - v. Sin información (3)
  
- d. **Contaminación por contacto directo (Información: Se espera contaminación por contacto dérmico con sedimentos solo si la parte superior de los suelos, es decir los primeros 1.5 metros, están contaminados. Se debe considerar la exposición a los suelos, aguas subterráneas y superficiales, vapor, polvo y sedimentos)**
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
- e. **Inhalación de vapor: ¿Hay edificios habitables en un radio de 30 metros a los suelos o aguas con contaminación volátil? (Información: Consultar la sección 4 “Migración de contaminantes” para analizar la volatilidad de los contaminantes)**
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
- f. **Inhalación de polvo (Información: Identificar si el suelo superficial, es decir los primeros 1.5 metros, está contaminado y el tamaño de grano)**
  - i. Fino: más del 50% de partículas de masa son inferior a 75  $\mu\text{m}$  de diámetro medio,  $D_{50} < 75 \mu\text{m}$  (6)
  - ii. Grueso: más más del 50% de partículas de masa son superior a 75  $\mu\text{m}$  de diámetro medio,  $D_{50} > 75 \mu\text{m}$  (3)
  - iii. Suelos superficiales no tienen contaminantes (0)
  - iv. Sin información (1)
  
- g. **Ingesta de agua (Información: Se basa en la proximidad a un suministro de agua de consumo)**
  - i. 0 a 100 metros (6)
  - ii. 100 a 300 metros (5)
  - iii. 300 metros a 1 km (4)
  - iv. 1 a 5 km (3)
  - v. Ausencia de agua potable (2)
  - vi. Sin información (2)
  
- h. **¿Existe una fuente alternativa de agua fácilmente disponible?**
  - i. Sí (0)
  - ii. No (4)
  - iii. Sin información (1)

- i. ¿Es posible la ingesta de suelo por parte de las personas? (Información: Si los suelos contaminados se encuentran dentro de los primeros 1.5 metros de la superficie, es posible la exposición e ingesta de suelos, sobretodo en niños)
  - i. Sí (4)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
- j. Los alimentos consumidos por las personas ¿Han sido cultivados con agua contaminada y/o tierra contaminada? (Información: Use los informes de evaluación de riesgo para la salud humana (u otros) para determinar si hay dependencia de las fuentes de alimentos con el sitio contaminado)
  - i. Sí (4)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
- k. Fuerte dependencia de la población local sobre los recursos naturales para su supervivencia
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)

## Sección 5.2: Ecológico

### 3. Impacto conocido

- a. Exposición conocida (Información: Los efectos que serían considerados graves incluyen efectos sobre la supervivencia, crecimiento o reproducción que podrían poner en peligro la viabilidad de una población de receptores ecológicos en el lugar observado. Esta categoría se puede basar en los resultados de las evaluaciones de riesgos y se aplica a los estudios que han informado del peligro ecológico. Los efectos ecológicos deben ser evaluados a nivel de población o comunidad. Por ejemplo, los efectos a nivel de población incluyen la reducción de la reproducción, el crecimiento o la supervivencia de una especie; los efectos a nivel comunitario incluyen la reducción de la diversidad de especies o abundancia relativa)
  - i. Impacto adverso documentado o exposición cuantificado alta que tiene o va a resultar en un efecto adverso, lesión o perjuicio o menoscabo de la seguridad para los organismos terrestres o acuáticos, como resultado del lugar contaminado (24)
  - ii. Impacto adverso o exposición fuertemente sospechada alta que tiene o va a resultar en un efecto adverso, lesión o perjuicio o menoscabo de la seguridad para los organismos terrestres o acuáticos, como resultado del lugar contaminado (12)
  - iii. Exposiciones o impactos en los organismos terrestres o acuáticas no sospechosos (1)

#### 4. Impacto potencial

- a. **Uso del suelo (Información: Revisar mapas de zonificación y usos de tierra. Si el uso de la tierra futura propuesta es más "sensible" que el uso actual de la tierra, se debe evaluar este factor asumiendo el uso futuro propuesto en su lugar)**
  - i. **Agricultura y tierras salvajes (Información: Uso agrícola se define como usos de la tierra donde las actividades están relacionadas con la capacidad productiva de la tierra o las instalaciones (por ejemplo, invernaderos) y están relacionadas con la alimentación y la vivienda de los animales como el ganado. Las tierras salvajes se agrupan con las tierras agrícolas debido a las similitudes en los receptores que se espera que ocurra (por ejemplo, los mamíferos herbívoros y aves) y la necesidad de similar un alto nivel de protección para garantizar el funcionamiento ecológico) (12)**
  - ii. **Residencial y zonas verdes (Información: Tierra habitable de manera permanente, temporal o estacional, que además posee usos de recreo en la naturaleza y requieren de la capacidad natural o humana para sostenerse) (6)**
  - iii. **Comercial e industrial (Información: se definen como terrenos en los que las actividades están relacionadas con la compra, venta o comercialización de productos o servicios, así como usos de la tierra que están relacionados con la producción, la fabricación y el almacenamiento de materiales) (3)**
  
- b. **Recepción potencial ¿Están o estarán las plantas y/o animales probablemente expuestos a los suelos contaminados en el sitio? (Información: Si los suelos contaminados se encuentran en la parte superior de la tierra, se supone que existe contacto directo de los suelos con las plantas y los invertebrados. La exposición a suelos más profundos de 1.5m es posible, pero menos probable)**
  - i. **Sí (6)**
  - ii. **No (0)**
  - iii. **Sin información (1)**
  
- c. **Ingesta de agua ¿Están o estarán los animales terrestres ingiriendo agua probablemente contaminada en el sitio?**
  - i. **Sí (6)**
  - ii. **No (0)**
  - iii. **Sin información (1)**
  
- d. **Ingesta de tierra ¿Están o estarán los animales terrestres ingiriendo tierra probablemente contaminada en el sitio? (Información: La mayoría de los animales ingieren un poco de tierra mientras comen materia vegetal o habitan el suelo)**
  - i. **Sí (6)**
  - ii. **No (0)**
  - iii. **Sin información (1)**

- e. **Distancia del área ecológica sensible al sitio contaminado (Información: Se considera que dentro de 1km de un sitio, hay una preocupación por la contaminación. Por lo tanto, si un receptor del medio ambiente se encuentra dentro de esta área del sitio estará sujeto a evaluaciones adicionales. También se considera que cualquier receptor de medio ambiente situado mayor de 5km no va a ser una preocupación para la evaluación)**
  - i. 0 a 500m (12)
  - ii. 500m a 1km (6)
  - iii. 1 a 5km (3)
  - iv. Mayor a 5km (2)
  - v. Sin información (2)
  
- f. **Descripción del medio ambiente acuático**
  - i. Sensible (áreas de cosecha de mariscos o peces, parques marinos, reservas ecológicas, rutas de migración de peces, recursos alimenticios de especies acuáticas, zonas de desove y tránsito de especies en peligro de extinción) (6)
  - ii. Típico (áreas que no están incluidas en el apartado de “sensibles”) (4)
  - iii. Sin ambiente acuático (0)
  - iv. Sin información (2)
  
- g. **Recepción potencial en medio acuático ¿Está o estará el medio ambiente acuático probablemente expuesto a aguas terrestres contaminadas?**
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
- h. **Distancia desde el sitio contaminado a un importante recurso de agua superficial (Información: Se considera que dentro de 1km de un sitio, hay una preocupación por la contaminación. Por lo tanto, si un receptor del medio ambiente se encuentra dentro de esta área del sitio estará sujeto a evaluaciones adicionales. También se considera que cualquier receptor de medio ambiente situado mayor de 5km no va a ser una preocupación para la evaluación)**
  - i. 0 a 500m (12)
  - ii. 500m a 1km (6)
  - iii. 1 a 5km (3)
  - iv. Mayor a 5km (2)
  - v. Sin información (2)
  
- i. **¿Hay alguna posibilidad de que una especie en riesgo esté presente en el sitio contaminado?**
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)

### Sección 5.3: Otros

2. ¿Existe evidencia conocida de impacto visual estético?
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
5. ¿Existe evidencia de un potencial impacto visual estético producto de la migración de contaminantes o modificaciones físicas del sitio?
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
6. ¿Existe evidencia de impacto olfativo?
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
7. ¿Existe evidencia de impacto acústico?
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
14. ¿Existe evidencia de crecimiento excesivo de plantas en los cuerpos de agua? (Información: Un aumento del crecimiento de las plantas en un medio acuático puede sugerir enriquecimiento por nutrientes como, por ejemplo, nitrógeno o fósforo, los cuales al ser liberados a un organismo acuático pueden actuar como fertilizante)
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
15. ¿Hay pruebas de que el pescado, la carne o vegetales tomados del sitio o adyacente a este, tenga malos olores o sabores diferentes? (Información: Algunos contaminantes pueden generar un cambio distintivo en los alimentos de un sitio por bioacumulación)
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)
  
16. ¿Existe evidencia de intervención o modificación de sitios con valor patrimonial o cultural?
  - i. Sí (6)
  - ii. No (0)
  - iii. Sin información (1)

**17. ¿Existe evidencia de una potencial intervención o modificación de sitios con valor patrimonial o cultural debido a la migración de contaminantes o modificaciones físicas del sitio?**

- i. Sí (6)**
- ii. No (0)**
- iii. Sin información (1)**

**18. ¿Existe intervención o modificación de los accesos a sitios con valor patrimonial, cultural, natural o paisajístico?**

- i. Sí (6)**
- ii. No (0)**
- iii. Sin información (1)**

## Sección 6: Evaluación postcierre

### 1- Nivel de riesgo base

- a. ¿Cuál es el nivel de la severidad de las consecuencias?
  - i. Muy baja o despreciable (1)
  - ii. Baja (2)
  - iii. Moderada (3)
  - iv. Alta (4)
  - v. Muy alta o catastrófica (5)
  - vi. Sin información (3)
  
- b. ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de un hecho?
  - i. Muy baja (1)
  - ii. Baja (2)
  - iii. Moderada (3)
  - iv. Alta (4)
  - v. Muy alta (5)
  - vi. Sin información (3)
  
- c. ¿Cuál es el tipo de riesgo?
  - i. Bajo (1)
  - ii. Medio (2)
  - iii. Alto (3)
  - iv. Muy alto (4)
  - v. Sin información (5)

### 2- Medidas de control de riesgo base (Información: Se refiere a las medidas de cierre de faenas)

- a. Calidad de las medidas de control de riesgo base
  - i. Permanentes (1)
  - ii. Relativamente permanente (2)
  - iii. No permanentes (3)
  - iv. Sin información (2)
  
- b. Las medidas ¿Reducen la probabilidad de ocurrencia de un hecho?
  - i. Sí (0)
  - ii. No (4)
  - iii. Sin información (2)
  
- c. Las medidas ¿Reducen la severidad de las consecuencias de un hecho?
  - i. Sí (0)
  - ii. No (4)
  - iii. Sin información (2)

- d. Efectividad del control de la probabilidad de ocurrencia de un hecho
  - i. 100%-81% (1)
  - ii. 80%-61% (2)
  - iii. 60%-21% (3)
  - iv. 20%-0% (4)
  - v. Sin información (2)
  
- e. Efectividad de la reducción de la severidad de las consecuencias de un hecho
  - i. 100%-81% (1)
  - ii. 80%-61% (2)
  - iii. 60%-21% (3)
  - iv. 20%-0% (4)
  - v. Sin información (2)

### 3- Nivel de riesgo residual

- a. ¿Cuál es el nivel de la severidad de las consecuencias?
  - i. Muy baja o despreciable (1)
  - ii. Baja (2)
  - iii. Moderada (3)
  - iv. Alta (4)
  - v. Muy alta o catastrófica (5)
  - vi. Sin información (3)
  
- b. ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de un hecho?
  - i. Muy baja (1)
  - ii. Baja (2)
  - iii. Moderada (3)
  - iv. Alta (4)
  - v. Muy alta (5)
  - vi. Sin información (3)
  
- c. ¿Cuál es el tipo de riesgo?
  - i. Bajo (1)
  - ii. Medio (2)
  - iii. Alto (3)
  - iv. Muy alto (4)
  - v. Sin información (2)

- 4- **Medidas de control de riesgo residual (Información: se refiere a las medidas de postcierre de faenas. No se considera el monitoreo de variables ambientales ya que es una medida que siempre se debe realizar)**
- a. **¿Es necesario el monitoreo de las medidas de cierre?**
    - i. **Sí (6)**
    - ii. **No (0)**
    - iii. **Sin información (1)**
  
  - b. **¿Es necesaria la mantención de las medidas de cierre?**
    - i. **Sí (6)**
    - ii. **No (0)**
    - iii. **Sin información (1)**
  
  - c. **Frecuencia del monitoreo de las medidas de cierre**
    - i. **Diaría (6)**
    - ii. **Semanal (5)**
    - iii. **Mensual (4)**
    - iv. **Trimestral (3)**
    - v. **Semestral (2)**
    - vi. **Anual (1)**
    - vii. **Sin información (3)**
  
  - d. **Frecuencia de la mantención de las medidas de cierre**
    - i. **Diaría (6)**
    - ii. **Semanal (5)**
    - iii. **Mensual (4)**
    - iv. **Trimestral (3)**
    - v. **Semestral (2)**
    - vi. **Anual (1)**
    - vii. **Sin información (3)**
  
  - e. **¿Se ha determinado la ubicación de los sitios de monitoreo?**
    - i. **Sí (0)**
    - ii. **No (4)**
    - iii. **Sin información (2)**
  
  - f. **¿Se han considerado sitios de monitoreo en lugar de representación poblacional? (Zonas residenciales y agricultura)**
    - i. **Sí (0)**
    - ii. **No (4)**
    - iii. **Sin información (2)**

- g. ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de un evento terrestre o climático extremo?**
  - i. Muy baja (1)**
  - ii. Baja (2)**
  - iii. Moderada (3)**
  - iv. Alta (4)**
  - v. Muy alta (5)**
  - vi. Sin información (3)**
  
- h. ¿Existe un plan de contingencias de monitoreo y mantenciones correctivas a las medidas de cierre ante eventos naturales extremos?**
  - i. Sí (0)**
  - ii. No (4)**
  - iii. Sin información (2)**
  
- i. ¿Existe un plan de remediación para el medio ambiente en caso de fallas de las medidas de cierre?**
  - i. Sí (0)**
  - ii. No (4)**
  - iii. Sin información (2)**
  
- j. ¿Existe un plan de remediación para personas en caso de fallas de las medidas de cierre?**
  - i. Sí (0)**
  - ii. No (4)**
  - iii. Sin información (2)**
  
- k. Al no poder remediar completamente o remediar parcialmente el daño al medioambiente o a las personas producto de fallas de las medidas de cierre ¿Se considera un plan de indemnizaciones?**
  - i. Sí (0)**
  - ii. No (4)**
  - iii. Sin información (2)**
  
- l. ¿Existe un plan de reevaluación de las medidas de cierre una vez concluidos 5 años después del cierre efectivo de la faena?**
  - i. Sí (0)**
  - ii. No (4)**
  - iii. Sin información (2)**

## 7.4 MATERIAL DE APOYO AE-PC

### 7.4.1 FEDERAL CONTAMINATED SITES ACTION PLAN, 2008, PROPOSED HAZARD RANKING

El peligro está basado en los efectos potenciales sobre la salud de las personas y medioambiente. A continuación, se presenta un listado de distintos químicos y parámetros clasificados por peligro alto (H), medio (M) y bajo (L)

| Chemical/Parameter                           | Hazard |
|--|--------|
| Acetaldehyde                                 | H      |
| Acetone                                      | L      |
| Acrolein                                     | H      |
| Acrylonitrile                                | H      |
| Alachlor                                     | M      |
| Aldicarb                                     | H      |
| Aldrin                                       | H      |
| Allyl Alcohol                                | H      |
| Aluminum                                     | L      |
| Ammonia                                      | L      |
| Antimony                                     | H      |
| Arsenic                                      | H      |
| Atrazine                                     | M      |
| Azinphos-Methyl                              | H      |
| Barium                                       | L      |
| Bendiocarb                                   | H      |
| Benzene                                      | H      |
| Benzidine                                    | H      |
| Beryllium                                    | H      |
| Biphenyl, 1,1-                               | M      |
| 2,3,4,5-Bis(2-Butylene)tetrahydro-2-furfural | H      |
| Bis(Chloromethyl)Ether                       | H      |
| Bis(2-Chloroethyl)Ether                      | H      |
| Bis(2-Chloroisopropyl)Ether                  | H      |
| Bis(2-Ethylhexyl)Phthalate                   | H      |
| Boron  | L      |
| Bromacil                                     | M      |
| Bromate                                      | M      |
| Bromochlorodifluoromethane                   | M      |
| Bromochloromethane                           | H      |
| Bromodichloromethane                         | H      |
| Bromoform (Tribromomethane)                  | H      |
| Bromomethane                                 | M      |
| Bromotrifluoromethane                        | M      |
| Bromoxynil                                   | H      |

|  |   |
|--|---|
| Butadiene, 1,3-  | H |
| Cadmium  | H |
| Carbofuran   | M |
| Carbon Tetrachloride (Tetrachloromethane)                            | H |
| Captafol   | M |
| Chloramines  | M |
| Chloride   | L |
| Chloroaniline, P-  | H |
| Chlorobenzene (mono)   | M |
| Chlorobenzilate  | M |
| Chlorodimeform   | M |
| Chloroform   | H |
| Chloromethane  | M |
| Chloromethyl Methyl Ether  | M |
| (4-Chlorophenyl)Cyclopropylmethanone, O-((4-Nitrophenyl)Methyl)Oxime | H |
| <b>Chlorinated Benzenes</b>  |   |
| Monochlorobenzene  | M |
| Dichlorobenzene, 1,2-(O-DCB)   | M |
| Dichlorobenzene, 1,3- (M-DCB)  | M |
| Dichlorobenzene, 1,4- (P-DCB)  | H |
| Trichlorobenzene, 1,2,3-   | M |
| Trichlorobenzene, 1,2,4-   | M |
| Trichlorobenzene, 1,3,5-   | M |
| Tetrachlorobenzene, 1,2,3,4-   | M |
| Tetrachlorobenzene, 1,2,3,5-   | M |
| Tetrachlorobenzene, 1,2,4,5-   | M |
| Pentachlorobenzene   | M |
| Hexachlorobenzene  | H |
| <b>Chlorinated Ethanes</b>   |   |
| Dichloroethane, 1,1-   | M |
| Dichloroethane, 1,2- (Ethylene Dichloride (EDC))                     | H |
| Trichloroethane, 1,1,1-  | H |
| Trichloroethane, 1,1,2-  | M |
| Tetrachloroethane, 1,1,1,2-  | M |
| Tetrachloroethane, 1,1,2,2-  | M |
| <b>Chlorinated Ethenes</b>   |   |
| Monochloroethene (Vinyl Chloride)                                    | H |
| Dichloroeth(yl)ene, 1,1-   | H |
| Dichloroeth(yl)ene, 1,2- (cis or trans)                              | M |
| Trichloroeth(yl)ene (TCE)  | H |
| Tetrachloroeth(yl)ene (PCE)  | H |
| <b>Chlorinated Phenols</b>   |   |
| Monochlorophenols  | M |
| Chlorophenol, -2   | M |
| Dichlorophenols 2,4-   | M |
| Trichlorophenol, 2,4,5-  | H |

|  |   |
|--|---|
| Trichlorophenol, 2,4,6-                      | H |
| Tetrachlorophenol, 2,3,4,6-                  | H |
| Pentachlorophenol (PCP)                      | H |
| Chloromethane                                | M |
| Chlorophenol, -2                             | M |
| Chlorothalonil                               | H |
| Chlorpyrifos                                 | H |
| Chromium (Total)                             | M |
| Chromium (III)                               | L |
| Chromium (VI)                                | H |
| Coal Tar                                     | H |
| Cobalt                                       | L |
| Copper                                       | L |
| Creosote                                     | M |
| Crocidolite                                  | L |
| Cyanide (Free)                               | H |
| Cyanazine                                    | M |
| Dibenzofuran                                 | H |
| Dibromoethane,1,2-(Ethylene Dibromide (EDB)) | H |
| 1,2-Dibromo-3-Chloropropane                  | H |
| Dibromochloromethane                         | M |
| Dibromotetrafluoroethane                     | M |
| Dichlorobenzene,1,2-(O-DCB)                  | M |
| Dichlorobenzene,1,3-(M-DCB)                  | M |
| Dichlorobenzene,1,4-(P-DCB)                  | H |
| Dichlorobenzidine,3,3'-                      | H |
| DDD  | H |
| DDE  | H |
| DDT  | H |
| Deltamethrin                                 | M |
| Diazinon                                     | M |
| Dicamba                                      | H |
| Dichloroethane,1,1-                          | H |
| Dichloroethane,1,2-(EDC)                     | H |
| Dichloroeth(yl)ene,1,1-                      | H |
| Dichloroeth(yl)ene,Cis-1,2-                  | M |
| Dichloroeth(yl)ene,Trans-1,2-                | M |
| Dichloromethane(Methylene Chloride)          | H |
| Dichlorophenol,2,4-                          | M |
| Dichloropropane,1,2-                         | H |
| Dichloropropene,1,3-                         | H |
| Diclofop-Methyl                              | H |
| Didecyl Dimethyl Ammonium Chloride           | H |
| Dieldrin                                     | H |
| Dimethoate                                   | H |
| Diethyl Phthalate                            | M |

|   |          |
|---|----------|
| Diethylene Glycol                         | L        |
| Dimethyl Phthalate                        | M        |
| <b>Dimethylphenol,2,4-</b>                | <b>L</b> |
| Dinitrophenol,2,4-                        | M        |
| Dinitrotoluene,2,4-                       | H        |
| Dinoseb                                   | H        |
| Di-n-octyl Phthalate                      | H        |
| Dioxane,1,4-                              | H        |
| Dioxins/Furans                            | H        |
| Diquat                                    | M        |
| Diuron                                    | M        |
| Endosulfan                                | H        |
| Endrin                                    | H        |
| Ethylbenzene                              | M        |
| Ethylene Dibromide (EDB)                  | H        |
| Ethylene Glycol                           | L        |
| Ethylene Oxide                            | H        |
| Fluoroacetamide                           | M        |
| Fluorides                                 | L        |
| <b>Glycols</b>                            |          |
| Ethylene                                  | L        |
| Diethylene                                | L        |
| Propylene                                 | L        |
| Glyphosate                                | M        |
| <b>Halogenated Methanes</b>               |          |
| Bromochlorodifluoromethane                | M        |
| Bromochloromethane                        | M        |
| Bromodichloromethane                      | H        |
| Bromomethane                              | M        |
| Bromotrifluoromethane                     | M        |
| Chloroform                                | M        |
| Chloromethane                             | M        |
| Dibromochloromethane                      | M        |
| Dichloromethane (Methylene Chloride)      | H        |
| Methyl Bromide                            | M        |
| Tetrachloromethane (Carbon Tetrachloride) | H        |
| Tribromomethane(Bromoform)                | H        |
| Trihalomethanes(THM)                      | M        |
| Heptachlor                                | H        |
| Heptachlor Epoxide                        | H        |
| Hexachlorobenzene                         | H        |
| Hexachlorobutadiene                       | H        |
| Hexachlorocyclohexane, Gamma              | H        |
| Hexachloroethane                          | H        |
| Hydrobromofluorocarbons(HBFCS)            | M        |
| Hydrochlorofluorocarbons(HCFCS)           | M        |

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 3-Iodo-2-propynyl Butyl Carbamate     | H |
| Iron                                  | L |
| Lead                                  | H |
| Lead Arsenate                         | H |
| Leptophos                             | H |
| Lindane                               | H |
| Linuron                               | H |
| Lithium                               | L |
| Malathion                             | M |
| Manganese                             | L |
| Mercury                               | H |
| Methamidophos                         | H |
| Methoxylchlor                         | H |
| Methyl Bromide (Bromomethane)         | M |
| 2-Methyl-4-chloro-phenoxy Acetic Acid | M |
| Methyl Ethyl Ketone                   | L |
| Methyl Isobutyl Ketone                | L |
| Methyl Mercury                        | H |
| Methyl-Parathion                      | H |
| Methyl Tert Butyl Ether (MTBE)        | M |
| Metolachlor                           | M |
| Metribuzin                            | H |
| Molybdenum                            | L |
| Monochloramine                        | M |
| Monocrotophos                         | H |
| Nickel                                | H |
| Nitrilotriacetic Acid                 | H |
| Nitrate                               | L |
| Nitrite                               | M |
| Nonylphenol+Ethoxylates               | H |
| <b>Organotins</b>                     |   |
| Tributyltin                           | H |
| Tricyclohexyltin                      | H |
| Triphenyltin                          | H |
| Parathion                             | H |
| Paraquat (as Dichloride)              | H |
| Pentachlorobenzene                    | M |
| Pentachlorophenol(PCP)                | H |
| <b>Petroleum Hydrocarbons</b>         |   |
| Gasoline                              | H |
| Kerosene incl. Jet Fuels              | H |
| Diesel incl. Heating Oil              | M |
| Heavy Oils                            | L |
| CCME F1                               | H |
| CCME F2                               | M |
| CCME F3                               | L |

|   |   |
|---|---|
| CCME F4                                     | L |
| Phenol                                      | L |
| Phenoxy Herbicides                          | M |
| Phorate                                     | H |
| Phosphamidon                                | H |
| <b>Phthalate Esters</b>                     |   |
| Bis(2-Ethylhexyl)Phthalate                  | H |
| Diethyl Phthalate                           | H |
| Dimethyl Phthalate                          | H |
| Di-n-octyl Phthalate                        | H |
| Polybrominated Biphenyls(PBB)               | H |
| Polychlorinated Biphenyls(PCB)              | H |
| Polychlorinated Terphenyls                  | H |
| Polycyclic Aromatic Hydrocarbons            | H |
| Acenaphthene                                | M |
| Acenaphthylene                              | M |
| Acridine                                    | H |
| Anthracene                                  | M |
| Benzo(a)anthracene                          | H |
| Benzo(a)pyrene                              | H |
| Benzo(b)fluoranthene                        | H |
| Benzo(g,h,i)perylene                        | H |
| Benzo(k)fluoranthene                        | H |
| Chrysene                                    | M |
| Dibenzo(a,h)anthracene                      | H |
| Fluoranthene                                | M |
| Fluorene                                    | M |
| Indeno(1,2,3-c,d)pyrene                     | H |
| Methylnaphthalenes                          | M |
| Naphthalene                                 | M |
| Phenanthrene                                | M |
| Pyrene                                      | M |
| Quinoline                                   | H |
| Propylene Glycol                            | L |
| Radium                                      | H |
| Radon                                       | H |
| Selenium                                    | M |
| Silver                                      | L |
| Simazine                                    | M |
| Sodium                                      | L |
| Strontium-90                                | H |
| Strychnine                                  | H |
| Styrene                                     | H |
| Sulphate                                    | L |
| Sulphide                                    | L |
| 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxins (TCDD) | H |

|   |     |
|---|-----|
| Tebuthiuron                             | H   |
| Tetrachloroeth(yl)ene (PCE)             | H   |
| Tetraethyl Lead                         | H   |
| Tetrachlorobenzene, 1,2,3,4-            | H   |
| Tetrachlorobenzene, 1,2,3,5-            | H   |
| Tetrachlorobenzene, 1,2,4,5-            | H   |
| Tetrachloroethane, 1,1,1,2-             | M   |
| Tetrachloroethane, 1,1,2,2-             | M   |
| Tetrachlorophenol, 2,3,4,6-             | H   |
| Tetramethyl Lead                        | H   |
| Thallium                                | M   |
| Thiophene                               | M   |
| Tin                                     | L   |
| Toluene                                 | M   |
| Toxaphene                               | H   |
| Triallate                               | M   |
| Tribromomethane (Bromoform)             | H   |
| Tributyltetradecylphosphonium Chloride  | H   |
| Trichlorobenzene, 1,2,3-                | H   |
| Trichlorobenzene, 1,2,4-                | H   |
| Trichlorobenzene, 1,3,5-                | H   |
| Trichloroethane, 1,1,1-                 | H   |
| Trichloroethane, 1,1,2-                 | M   |
| Trichloroeth(yl)ene (TCE)               | H   |
| Tricyclohexyltin Hydroxide              | H   |
| Trichlorophenol, 2,4,5-                 | H   |
| Trichlorophenol, 2,4,6-                 | H   |
| Trifluralin                             | H   |
| Trihalomethanes (THM)                   | M   |
| Tris(2,3-Dibromopropyl)phosphate        | H   |
| Tritium                                 | L   |
| Uranium (Non-radioactive)/(Radioactive) | M/H |
| Vanadium                                | M   |
| Vinyl Chloride                          | H   |
| Xylenes                                 | M   |
| Zinc                                    | L   |

Tabla 91: Nivel de peligro por sustancia o parámetro

## 7.4.2 UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1996, SOIL SCREENING GUIDANCE: TECHNICAL BACKGROUND DOCUMENT

Koc: coeficiente de partición suelo-agua (Movilidad)

Kow: coeficiente de partición octanol-agua (Bioacumulación)

| Compound                   | Solubility in Water 20-25°C (mg/L) | Henry's Law Constant (atm-m <sup>3</sup> /mol) | Dimensionless Henry's law Constant (HLC [atm-m <sup>3</sup> /mol]*41) (25°C) | logKow | LogKoc (L/kg) |
|----------------------------|------------------------------------|--|--|--------|---------------|
| Acenaphthene               | 4.24E+00                           | 1.55E-04                                       | 6.36E-03   | 3.92   | 3.85          |
| Acetone                    | 1.00E+06                           | 3.88E-05                                       | 1.59E-03   | -0.24  | -0.24         |
| Aldrin                     | 1.80E-01                           | 1.70E-04                                       | 6.97E-03   | 6.5    | 6.39          |
| Anthracene                 | 4.34E-02                           | 6.50E-05                                       | 2.67E-03   | 4.55   | 4.47          |
| Benz(a)anthracene          | 9.40E-03                           | 3.35E-06                                       | 1.37E-04   | 5.7    | 5.6           |
| Benzene                    | 1.75E+03                           | 5.55E-03                                       | 2.28E-01   | 2.13   | 1.77          |
| Benzo(b)fluoranthene       | 1.50E-03                           | 1.11E-04                                       | 4.55E-03   | 6.2    | 6.09          |
| Benzo(k)fluoranthene       | 8.00E-04                           | 8.29E-07                                       | 3.40E-05   | 6.2    | 6.09          |
| Benzoic acid               | 3.50E+03                           | 1.54E-06                                       | 6.31E-05   | 1.86   | —             |
| Benzo(a)pyrene             | 1.62E-03                           | 1.13E-06                                       | 4.63E-05   | 6.11   | 6.01          |
| Bis(2-chloroethyl)ether    | 1.72E+04                           | 1.80E-05                                       | 7.38E-04   | 1.21   | 1.19          |
| Bis(2-ethylhexyl)phthalate | 3.40E-01                           | 1.02E-07                                       | 4.18E-06   | 7.3    | 7.18          |
| Bromodichloromethane       | 6.74E+03                           | 1.60E-03                                       | 6.56E-02   | 2.1    | 1.74          |
| Bromoform                  | 3.10E+03                           | 5.35E-04                                       | 2.19E-02   | 2.35   | 1.94          |
| Butanol                    | 7.40E+04                           | 8.81E-06                                       | 3.61E-04   | 0.85   | 0.84          |
| Butyl benzyl phthalate     | 2.69E+00                           | 1.26E-06                                       | 5.17E-05   | 4.84   | 4.76          |
| Carbazole                  | 7.48E+00                           | 1.53E-08                                       | 6.26E-07   | 3.59   | 3.53          |
| Carbon disulfide           | 1.19E+03                           | 3.03E-02                                       | 1.24E+00   | 2      | 1.66          |
| Carbon tetrachloride       | 7.93E+02                           | 3.04E-02                                       | 1.25E+00   | 2.73   | 2.24          |
| Chlordane                  | 5.60E-02                           | 4.86E-05                                       | 1.99E-03   | 6.32   | 5.08          |
| p-Chloroaniline            | 5.30E+03                           | 3.31E-07                                       | 1.36E-05   | 1.85   | 1.82          |
| Chlorobenzene              | 4.72E+02                           | 3.70E-03                                       | 1.52E-01   | 2.86   | 2.34          |
| Chlorodibromomethane       | 2.60E+03                           | 7.83E-04                                       | 3.21E-02   | 2.17   | 1.8           |
| Chloroform                 | 7.92E+03                           | 3.67E-03                                       | 1.50E-01   | 1.92   | 1.6           |
| 2-Chlorophenol             | 2.20E+04                           | 3.91E-04                                       | 1.60E-02   | 2.15   | —             |
| Chrysene                   | 1.60E-03                           | 9.46E-05                                       | 3.88E-03   | 5.7    | 5.6           |
| DDD                        | 9.00E-02                           | 4.00E-06                                       | 1.64E-04   | 6.1    | 6             |
| DDE                        | 1.20E-01                           | 2.10E-05                                       | 8.61E-04   | 6.76   | 6.65          |
| DDT                        | 2.50E-02                           | 8.10E-06                                       | 3.32E-04   | 6.53   | 6.42          |
| Dibenz(a,h)anthracene      | 2.49E-03                           | 1.47E-08                                       | 6.03E-07   | 6.69   | 6.58          |
| Di-n-butyl phthalate       | 1.12E+01                           | 9.38E-10                                       | 3.85E-08   | 4.61   | 4.53          |

|                            |          |          |          |      |      |
|----------------------------|----------|----------|----------|------|------|
| 1,2-Dichlorobenzene        | 1.56E+02 | 1.90E-03 | 7.79E-02 | 3.43 | 2.79 |
| 1,4-Dichlorobenzene        | 7.38E+01 | 2.43E-03 | 9.96E-02 | 3.42 | 2.79 |
| 3,3-Dichlorobenzidine      | 3.11E+00 | 4.00E-09 | 1.64E-07 | 3.51 | 2.86 |
| 1,1-Dichloroethane         | 5.06E+03 | 5.62E-03 | 2.30E-01 | 1.79 | 1.5  |
| 1,2-Dichloroethane         | 8.52E+03 | 9.79E-04 | 4.01E-02 | 1.47 | 1.24 |
| 1,1-Dichloroethylene       | 2.25E+03 | 2.61E-02 | 1.07E+00 | 2.13 | 1.77 |
| cis-1,2-Dichloroethylene   | 3.50E+03 | 4.08E-03 | 1.67E-01 | 1.86 | 1.55 |
| trans-1,2-Dichloroethylene | 6.30E+03 | 9.38E-03 | 3.85E-01 | 2.07 | 1.72 |
| 2,4-Dichlorophenol         | 4.50E+03 | 3.16E-06 | 1.30E-04 | 3.08 | —    |
| 1,2-Dichloropropane        | 2.80E+03 | 2.80E-03 | 1.15E-01 | 1.97 | 1.64 |
| 1,3-Dichloropropene        | 2.80E+03 | 1.77E-02 | 7.26E-01 | 2    | 1.66 |
| Dieldrin                   | 1.95E-01 | 1.51E-05 | 6.19E-04 | 5.37 | 4.33 |
| Diethylphthalate           | 1.08E+03 | 4.50E-07 | 1.85E-05 | 2.5  | 2.46 |
| 2,4-Dimethylphenol         | 7.87E+03 | 2.00E-06 | 8.20E-05 | 2.36 | 2.32 |
| 2,4-Dinitrophenol          | 2.79E+03 | 4.43E-07 | 1.82E-05 | 1.55 | —    |
| 2,4-Dinitrotoluene         | 2.70E+02 | 9.26E-08 | 3.80E-06 | 2.01 | 1.98 |
| 2,6-Dinitrotoluene         | 1.82E+02 | 7.47E-07 | 3.06E-05 | 1.87 | 1.84 |
| Di-n-octyl phthalate       | 2.00E-02 | 6.68E-05 | 2.74E-03 | 8.06 | 7.92 |
| Endosulfan                 | 5.10E-01 | 1.12E-05 | 4.59E-04 | 4.1  | 3.33 |
| Endrin                     | 2.50E-01 | 7.52E-06 | 3.08E-04 | 5.06 | 4.09 |
| Ethylbenzene               | 1.69E+02 | 7.88E-03 | 3.23E-01 | 3.14 | 2.56 |
| Fluoranthene               | 2.06E-01 | 1.61E-05 | 6.60E-04 | 5.12 | 5.03 |
| Fluorene                   | 1.98E+00 | 6.36E-05 | 2.61E-03 | 4.21 | 4.14 |
| Heptachlor                 | 1.80E-01 | 1.09E-03 | 4.47E-02 | 6.26 | 6.15 |
| Heptachlor epoxide         | 2.00E-01 | 9.50E-06 | 3.90E-04 | 5    | 4.92 |
| Hexachlorobenzene          | 6.20E+00 | 1.32E-03 | 5.41E-02 | 5.89 | 4.74 |
| Hexachloro-1,3-butadiene   | 3.23E+00 | 8.15E-03 | 3.34E-01 | 4.81 | 4.73 |
| a-HCH (a-BHC)              | 2.00E+00 | 1.06E-05 | 4.35E-04 | 3.8  | 3.09 |
| b-HCH (b-BHC)              | 2.40E-01 | 7.43E-07 | 3.05E-05 | 3.81 | 3.1  |
| g-HCH (Lindane)            | 6.80E+00 | 1.40E-05 | 5.74E-04 | 3.73 | 3.03 |
| Hexachlorocyclopentadiene  | 1.80E+00 | 2.70E-02 | 1.11E+00 | 5.39 | 5.3  |
| Hexachloroethane           | 5.00E+01 | 3.89E-03 | 1.59E-01 | 4    | 3.25 |
| Indeno(1,2,3-cd)pyrene     | 2.20E-05 | 1.60E-06 | 6.56E-05 | 6.65 | 6.54 |
| Isophorone                 | 1.20E+04 | 6.64E-06 | 2.72E-04 | 1.7  | 1.67 |
| Mercury                    | —        | 1.14E-02 | 4.67E-01 | —    | —    |
| Methoxychlor               | 4.50E-02 | 1.58E-05 | 6.48E-04 | 5.08 | 4.99 |
| Methyl bromide             | 1.52E+04 | 6.24E-03 | 2.56E-01 | 1.19 | 1.02 |
| Methylene chloride         | 1.30E+04 | 2.19E-03 | 8.98E-02 | 1.25 | 1.07 |
| 2-Methylphenol             | 2.60E+04 | 1.20E-06 | 4.92E-05 | 1.99 | 1.96 |
| Naphthalene                | 3.10E+01 | 4.83E-04 | 1.98E-02 | 3.36 | 3.3  |

|                           |          |          |          |      |      |
|---------------------------|----------|----------|----------|------|------|
| Nitrobenzene              | 2.09E+03 | 2.40E-05 | 9.84E-04 | 1.84 | 1.81 |
| N-Nitrosodiphenylamine    | 3.51E+01 | 5.00E-06 | 2.05E-04 | 3.16 | 3.11 |
| N-Nitrosodi-n-propylamine | 9.89E+03 | 2.25E-06 | 9.23E-05 | 1.4  | 1.38 |
| PCBs                      | —        | —        | —        | 5.58 | 5.49 |
| Pentachlorophenol         | 1.95E+03 | 2.44E-08 | 1.00E-06 | 5.09 | —    |
| Phenol                    | 8.28E+04 | 3.97E-07 | 1.63E-05 | 1.48 | 1.46 |
| Pyrene                    | 1.35E-01 | 1.10E-05 | 4.51E-04 | 5.11 | 5.02 |
| Styrene                   | 3.10E+02 | 2.75E-03 | 1.13E-01 | 2.94 | 2.89 |
| 1,1,2-Tetrachloroethane   | 2.97E+03 | 3.45E-04 | 1.41E-02 | 2.39 | 1.97 |
| Tetrachloroethylene       | 2.00E+02 | 1.84E-02 | 7.54E-01 | 2.67 | 2.19 |
| Toluene                   | 5.26E+02 | 6.64E-03 | 2.72E-01 | 2.75 | 2.26 |
| Toxaphene                 | 7.40E-01 | 6.00E-06 | 2.46E-04 | 5.5  | 5.41 |
| 1,2,4-Trichlorobenzene    | 3.00E+02 | 1.42E-03 | 5.82E-02 | 4.01 | 3.25 |
| 1,1,1-Trichloroethane     | 1.33E+03 | 1.72E-02 | 7.05E-01 | 2.48 | 2.04 |
| 1,1,2-Trichloroethane     | 4.42E+03 | 9.13E-04 | 3.74E-02 | 2.05 | 1.7  |
| Trichloroethylene         | 1.10E+03 | 1.03E-02 | 4.22E-01 | 2.71 | 2.22 |
| 2,4,5-Trichlorophenol     | 1.20E+03 | 4.33E-06 | 1.78E-04 | 3.9  | —    |
| 2,4,6-Trichlorophenol     | 8.00E+02 | 7.79E-06 | 3.19E-04 | 3.7  | —    |
| Vinyl acetate             | 2.00E+04 | 5.11E-04 | 2.10E-02 | 0.73 | 0.72 |
| Vinyl chloride            | 2.76E+03 | 2.70E-02 | 1.11E+00 | 1.5  | 1.27 |
| m-Xylene                  | 1.61E+02 | 7.34E-03 | 3.01E-01 | 3.2  | 2.61 |
| o-Xylene                  | 1.78E+02 | 5.19E-03 | 2.13E-01 | 3.13 | 2.56 |
| p-Xylene                  | 1.85E+02 | 7.66E-03 | 3.14E-01 | 3.17 | 2.59 |

Tabla 92: Niveles de solubilidad de distintas sustancias

### 7.4.3 RANGOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y PERMEABILIDAD PROPUESTOS

Freeze and Cherry, 1979:

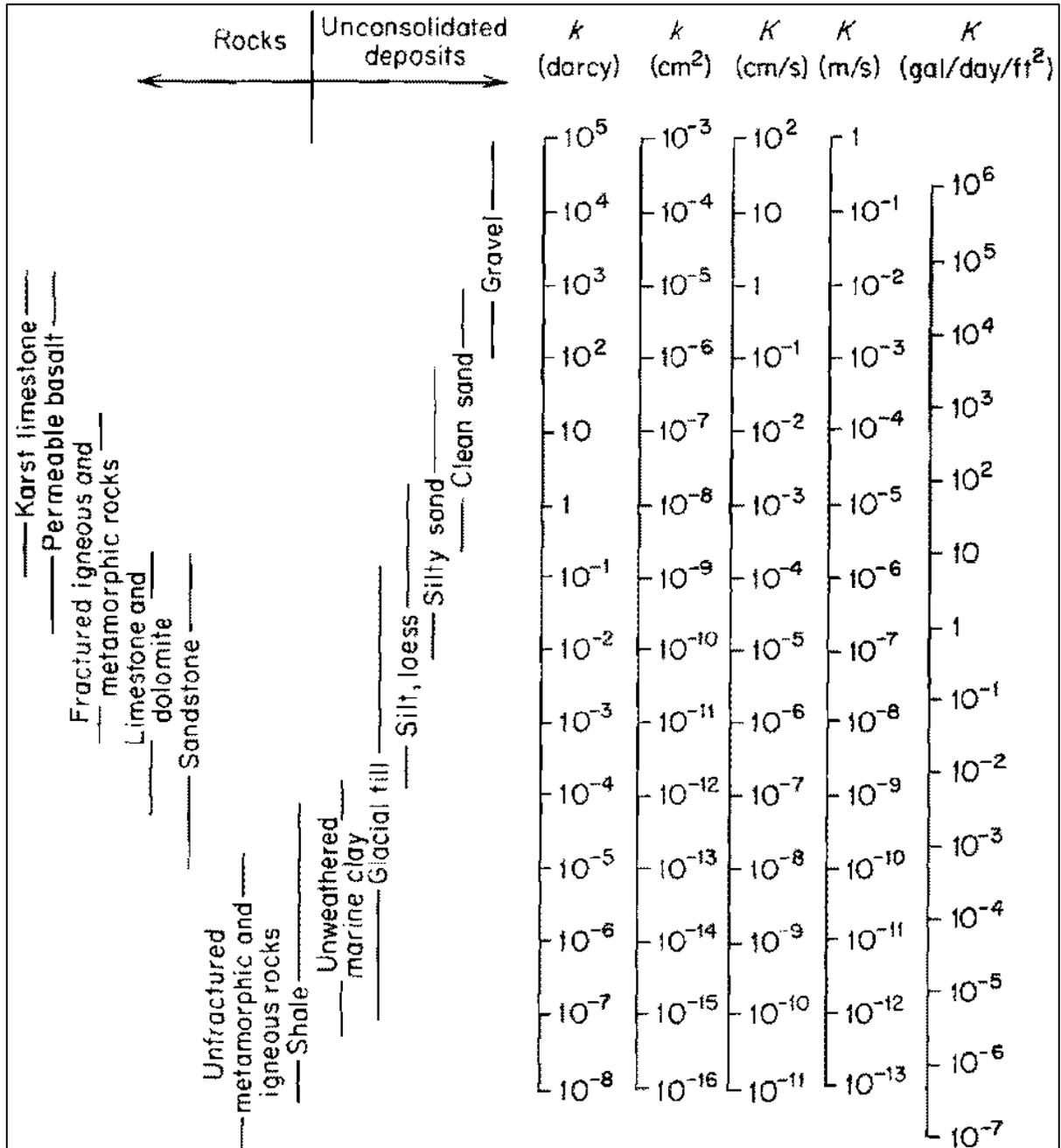


Figura 52: Rangos de conductividad hidráulica y permeabilidad según tipo de suelo (Freeze y Cherry, 1979)

Coduto, 1999:

| <b>Tipo de suelo</b>   | <b>Conductividad Hidráulica [cm/s]</b> |
|------------------------|--|
| Grava limpia           | 1 a 100                                |
| Arena y grava mezclada | E-2 a 10                               |
| Arena gruesa limpia    | E-2 a 1                                |
| Arena fina             | E-2 a E-1                              |
| Arena limosa           | E-3 a E-2                              |
| Arena arcillosa        | E-4 a E-2                              |
| Limo                   | E-8 a E-2                              |
| Arcilla                | E-10 a E-6                             |

Tabla 93: Conductividad hidráulica según tipo de suelo (Coduto, 1999)

Whitlow, 1994:

| <b>Grado de permeabilidad</b> | <b>Conductividad Hidráulica [cm/s]</b> |
|-------------------------------|--|
| Elevada                       | Superior a E-1                         |
| Media                         | E-1 a E-3                              |
| Baja                          | E-3 a E-5                              |
| Muy baja                      | E-5 a E-7                              |
| Prácticamente impermeable     | Menor a E-7                            |

Tabla 94: Grado de permeabilidad según conductividad hidráulica (Whitlow, 1994)

Resumiendo, las tablas anteriores se puede agrupar la textura del suelo y proponer factores de permeabilidad para cada una y calcular de forma aproximada un factor de infiltración de precipitaciones y escorrentía:

| <b>Textura del suelo</b> | <b>Factor de permeabilidad</b> |
|--------------------------|--------------------------------|
| Grava limpia             | 0.1                            |
| Arena y grava mezclada   | 0.2                            |
| Arena gruesa limpia      | 0.3                            |
| Arena fina               | 0.4                            |
| Arena limosa             | 0.5                            |
| Arena arcillosa          | 0.6                            |
| Limo                     | 0.8                            |
| Arcilla                  | 1                              |

Tabla 95: Factor de permeabilidad según textura de suelo

#### 7.4.4 POTENCIAL DE ESCORRENTÍA PROPUESTO

CCME, 1992:

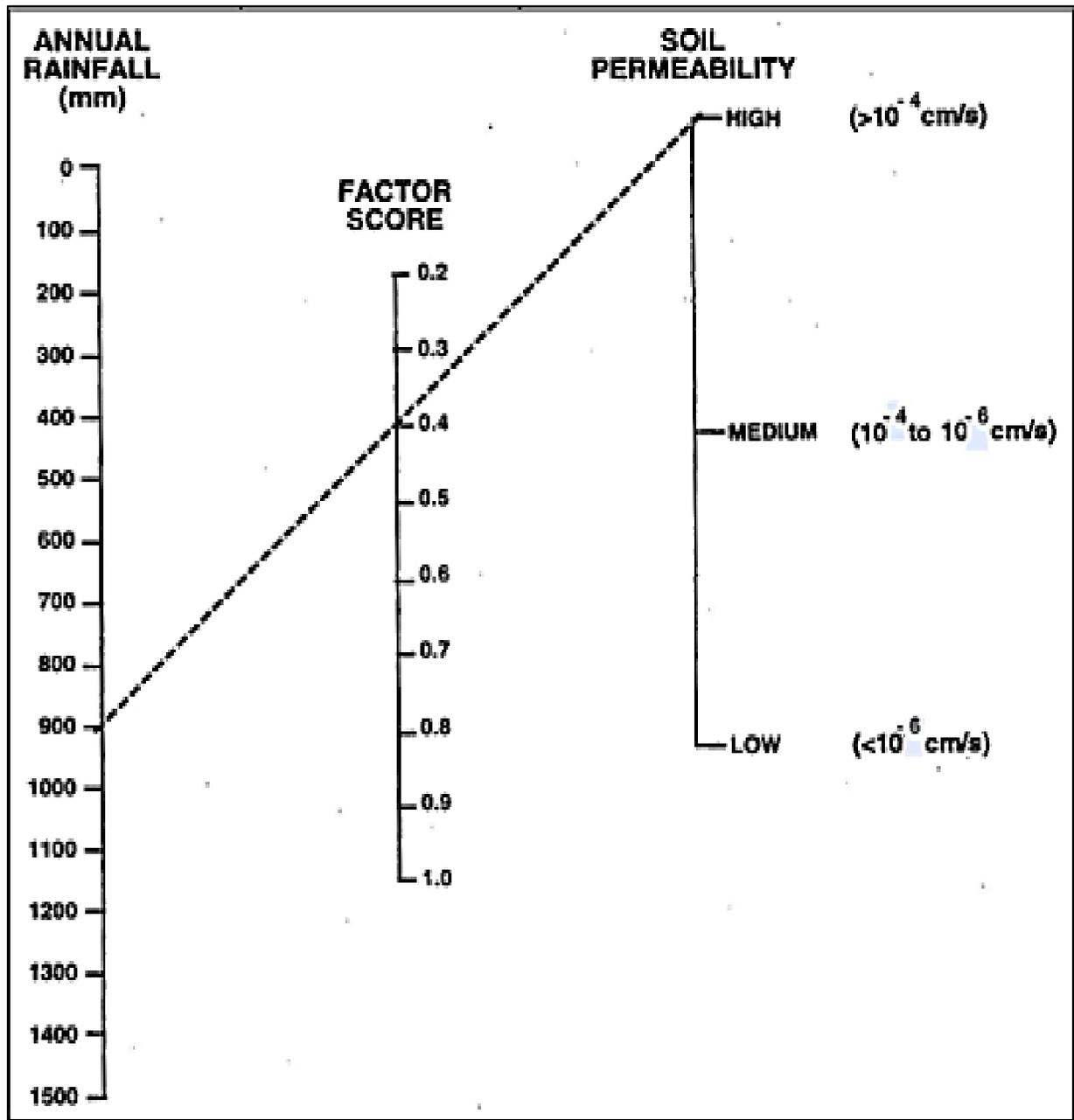


Figura 53: Potencial de escorrentía (CCME, 1992)

## 7.4.5 CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES PROPUESTO

Young, 1972

|  |                            |                       |   |   |   |       |                    |     |     |                  |
|--|----------------------------|-----------------------|---|---|---|-------|--------------------|-----|-----|------------------|
| 90<br>80<br>70<br>60<br>50<br>40<br>30<br>20<br>15<br>10<br>9<br>8<br>7<br>6<br>5<br>4<br>3<br>2<br>1<br>0.5<br>0.25 | Angle degrees (Log. Scale) | A                     | B | C | D | Altan | Overhanging        | 3.5 |     |                  |
|  |                            |                       |   |   |   |       | Precipitous        |     | 90° | Almost vertical  |
|  |                            |                       |   |   |   |       | Precipitous        |     | 70° | Precipitous      |
|  |                            |                       |   |   |   |       | Very steep         |     | 45° | Very steep       |
|  |                            |                       |   |   |   |       | Very steep         |     | 30° | Very steep       |
|  |                            |                       |   |   |   |       | Very steep         |     | 18° | Moderately steep |
|  |                            |                       |   |   |   |       | High moderate      |     | 10° | Moderately steep |
|  |                            |                       |   |   |   |       | Low moderate       |     | 5°  | Moderate         |
|  |                            |                       |   |   |   |       | Gentle             |     | 2°  | Gentle           |
|  |                            |                       |   |   |   |       | Very high gradient |     | 1°  | Very gentle      |
| High gradient  | 0.5°                       | Level to Almost level |   |   |   |       |                    |     |     |                  |
| High gradient  | 0.25°                      | Level                 |   |   |   |       |                    |     |     |                  |

Figura 54: Clasificación de pendientes (Young, 1972)

| RESUMEN       |                         |
|---------------|-------------------------|
| Pendiente (°) | Clasificación           |
| <1°           | Plana o casi plana      |
| 1°-4°         | Muy suave               |
| 4°-8°         | Suave                   |
| 8°-16°        | Moderadamente inclinada |
| 16°-30°       | Inclinada               |
| >30°          | Muy inclinada           |

Tabla 96: Resumen de la clasificación de pendientes propuesta por Young (1992)

## 7.4.6 ESCALA DE BEAUFORT Y MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS EN EL AIRE

| Número de Beaufort | Velocidad del viento (km/h) | Nudos (millas náuticas/h) | Denominación                  | Efectos en tierra   |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|
| 0                  | 0 a 1                       | < 1                       | Calma                         | Calma, el humo asciende verticalmente   |
| 1                  | 2 a 5                       | 1 a 3                     | Ventolina                     | El humo indica la dirección del viento  |
| 2                  | 6 a 11                      | 4 a 6                     | Flojito (Brisa muy débil)     | Se caen las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos de los campos            |
| 3                  | 12 a 19                     | 7 a 10                    | Flojo (Brisa Ligera)          | Se agitan las hojas, ondulan las banderas   |
| 4                  | 20 a 28                     | 11 a 16                   | Bonancible (Brisa moderada)   | Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles                            |
| 5                  | 29 a 38                     | 17 a 21                   | Fresquito (Brisa fresca)      | Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada                     |
| 6                  | 39 a 49                     | 22 a 27                   | Fresco (Brisa fuerte)         | Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas.         |
| 7                  | 50 a 61                     | 28 a 33                   | Frescachón (Viento fuerte)    | Se mueven los árboles grandes, dificultad para caminar contra el viento                   |
| 8                  | 62 a 74                     | 34 a 40                   | Temporal (Viento duro)        | Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas muy dificultosa             |
| 9                  | 75 a 88                     | 41 a 47                   | Temporal fuerte (Muy duro)    | Daños en árboles, imposible andar contra el viento  |
| 10                 | 89 a 102                    | 48 a 55                   | Temporal duro (Temporal)      | Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones                          |
| 11                 | 103 a 117                   | 56 a 63                   | Temporal muy duro (Borrasca)  | Destrucción en todas partes, lluvias muy intensas, inundaciones muy altas                 |
| 12                 | 118                         | 64                        | Temporal huracanado (Huracán) | Voladura de autos, árboles, casas, techos y personas. Puede generar un huracán o un tifón |

Tabla 97: Escala de Beaufort de 1805, modificada y estandarizada en 1923:

| Partículas    | Diámetro [mm] | Velocidad del viento [m/s] | Velocidad del viento [Km/Hr] |
|---------------|---------------|----------------------------|------------------------------|
| Limo          | 0.05 - 0.01   | 0.1 - 0.05                 | 0.36 - 0.18                  |
| Arena fina    | 0.1           | 1 - 1.5                    | 3.6 - 5.4                    |
| Arena mediana | 0.5           | 5 - 6                      | 16.5 - 21.6                  |
| Arena gruesa  | 1             | 10 - 12                    | 36 - 43.2                    |

Tabla 98: Relación entre el tamaño de partículas y velocidad del viento necesaria para lograr su movimiento (Espinace, 2006)

## 7.4.7 MÉTODO BGR

Para calcular el valor de vulnerabilidad del acuífero se utilizará la metodología BGR, desarrollada en Alemania en 1993 por “The Federal Institute for Geosciences and Natural Resources”. Esta se encuentra autorizada por la Dirección General de Aguas por medio del Decreto supremo n° 46 de 2002 y se aplica según el “Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos establecido en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas” (departamento de conservación y protección de recursos hídricos, 2004)

El resultado de lo expuesto en el manual se debe clasificar según la siguiente tabla:

| <b>Clases de efectividad generalizada de protección y vulnerabilidad asociada</b> |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <b>Pt (número total de puntos)</b>  | <b>Efectividad generalizada de protección</b> | <b>Vulnerabilidad asociada (estimada) del acuífero antes emisiones</b> | <b>Tiempo de residencia aproximado en el suelo y subsuelo sobre el acuífero</b> |
| >=4000  | Muy alta                                      | Baja   | >25 años  |
| 2000-3999   | Alta  | Baja   | 10-25 años  |
| 1000-1999   | Moderada                                      | Media  | 3-10 años   |
| 500-999   | Baja  | Alta   | Varios meses a 3 años   |
| =<499   | Muy baja                                      | Alta   | Unos pocos días a 1 año   |

Tabla 99: Clasificación de resultados de vulnerabilidad de acuífero según método BGR

También se puede usar el método GOD, sin embargo, el SERNAGEOMIN, en un estudio comparativo entre el método BGR y GOD, llegó a la conclusión que para zonas en las que los montos de recarga (percolación al acuífero) son bajos, ambos métodos entregan resultados confiables, por lo que cualquiera de los métodos podría ser aplicado. Sin embargo, se recomienda considerar los resultados más conservadores obtenidos de ambos métodos. Para zonas en que se presenten altos montos de recarga (mayores a 300 mm/año) se recomienda priorizar los resultados entregados por el método BGR, ya que este factor adquiere gran importancia, aumentado la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos.

## 7.5 NORMATIVA APLICABLE

Los organismos del estado encargados de publicar la normativa ambiental aplicable (calidad, emisión y planes) son:

1. Ministerio del Medio Ambiente – SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental)
2. Ministerio del Medio Ambiente – SINCA (Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire)
3. Ministerio del Medio Ambiente – Expedientes Electrónicos de Planes y Normas
4. Ministerio de Salud – Salud Ambiental
5. Superintendencia de Servicios Sanitarios – Legislación y Normativa
6. Ministerio Secretaría General de la Presidencia
7. Ministerio de Obras Públicas – Direcciones y Áreas
8. Ley de Ozono (2006)
9. Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente
10. Ministerio de Minería
11. Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental – Normas de Emisión y Calidad
12. Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental – Planes de Prevención y Descontaminación Ambiental (PPDA)
13. Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental – Programas de Cumplimiento

A continuación, se presentan cuadros resúmenes con algunas de las normativas legales ambientales referentes al aire, agua y suelos en Chile

**AIRE:**

| <b>Normas primarias</b>                         |                                    |                                   |  |                                   | <b>D.S.N°</b>        |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------------|----------------------|
| <b>Contaminante</b>                             | <b>Período de la norma</b>         |                                   |  |                                   |                      |
|   | <b>1 hora</b>                      | <b>8 horas</b>                    | <b>1 día</b>                                   | <b>Anual</b>                      |                      |
| SO <sub>2</sub>                                 |                                    |                                   | 250 µg/m <sup>3</sup><br>(96 ppb)              | 80 µg/m <sup>3</sup><br>(31 ppb)  | 113/2002             |
| NO <sub>2</sub>                                 | 400 µg/m <sup>3</sup><br>(213 ppb) |                                   |  | 100 µg/m <sup>3</sup><br>(53 ppb) | 114/2002             |
| O <sub>3</sub>                                  |                                    | 120 µg/m <sup>3</sup><br>(61 ppb) |  |                                   | 112/2002             |
| CO  | 30 mg/m <sup>3</sup><br>(26 ppm)   | 10 mg/m <sup>3</sup><br>(9 ppm)   |  |                                   | 115/2002             |
| MP10  |                                    |                                   | 150 µg/m <sup>3</sup>                          | 50 µg/m <sup>3</sup>              | 59/1998 y<br>45/2001 |
| Plomo   |                                    |                                   |  | 0.5 µg/m <sup>3</sup>             | 136/2000             |
| MP2.5   |                                    |                                   | 50 µg/m <sup>3</sup>                           | 20 µg/m <sup>3</sup>              | 12/2011              |
| <b>Normas secundarias</b>                       |                                    |                                   |  |                                   |                      |
| SO <sub>2</sub>                                 | 700 µg/m <sup>3</sup>              |                                   | 260 µg/m <sup>3</sup>                          | 60 µg/m <sup>3</sup>              | 185/1991             |
| Material particulado<br>sedimentable (*)        |                                    |                                   | 150 mg/m <sup>2</sup><br>100 mg/m <sup>2</sup> |                                   | 4/1991               |
| Fe en material particulado<br>sedimentable (**) |                                    |                                   | 60 mg/m <sup>2</sup><br>30 mg/m <sup>2</sup>   |                                   | 4/1991               |

Tabla 100: Normativa ambiental aplicable para el aire

(\*) Material particulado sedimentable: 150 miligramos por metro cuadrado por día (mg/ (m<sup>2</sup> día)) como concentración media aritmética mensual y 100 (mg/ (m<sup>2</sup> día)) como concentración media aritmética anual.

(\*\*) Hierro en el material particulado sedimentable: 60 (mg/ (m<sup>2</sup> día)) como concentración media aritmética mensual, con excepción de los meses de septiembre, octubre, noviembre y primera mitad de diciembre en el que ésta será de 30 (mg/ (m<sup>2</sup> día)) como concentración media aritmética mensual. Por otro lado, serán 30 (mg/ (m<sup>2</sup> día)) como concentración media aritmética anual.

## AGUA:

| Elemento         | Unidad | Límite máximo |
|------------------|--------|---------------|
| Aluminio         | mg/l   | 5             |
| Arsénico         | mg/l   | 0.1           |
| Bario            | mg/l   | 4             |
| Berilio          | mg/l   | 0.1           |
| Boro             | mg/l   | 0.75          |
| Cadmio           | mg/l   | 0.01          |
| Cianuro          | mg/l   | 0.2           |
| Cloruro          | mg/l   | 200           |
| Cobalto          | mg/l   | 0.05          |
| Cobre            | mg/l   | 0.2           |
| Cromo            | mg/l   | 0.1           |
| Fluoruro         | mg/l   | 1             |
| Hierro           | mg/l   | 5             |
| Litio            | mg/l   | 2.5           |
| Litio (cítricos) | mg/l   | 0.075         |
| Manganeso        | mg/l   | 0.2           |
| Mercurio         | mg/l   | 0.001         |
| Molibdeno        | mg/l   | 0.01          |
| Níquel           | mg/l   | 0.2           |
| Plata            | mg/l   | 0.2           |
| Plomo            | mg/l   | 5             |
| Selenio          | mg/l   | 0.02          |
| Sodio porcentual | %      | 35            |
| Sulfato          | mg/l   | 250           |
| Vanadio          | mg/l   | 0.1           |
| Zinc             | mg/l   | 2             |

Tabla 101: Concentraciones máximas de elementos químicos en el agua para riego

| Clasificación  | Conductividad específica, c, $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C | Sólidos disueltos totales, s, mg/l a 105°C |
|--|---|--|
| Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales                                   | $c \leq 750$  | $s \leq 500$                               |
| Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles                                       | $750 < c \leq 1500$                                     | $500 < c \leq 1000$                        |
| Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos    | $1500 < c \leq 3000$                                    | $1000 < c \leq 2000$                       |
| Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos | $3000 < c \leq 7500$                                    | $2000 < c \leq 5000$                       |

Tabla 102: Clasificación de aguas para riego según su salinidad

| Características                                      | Requisito  |
|--|--|
| pH   | 6.5 a 8.3 excepto si las condiciones naturales de las aguas muestran valores diferentes, pero en ningún caso menor de 5 y mayor de 9 |
| Temperatura máxima [°C]                              | 30   |
| Mínima claridad                                      | Visualizar discos Secchi a 1.2m de profundidad   |
| Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales    | Ausentes   |
| Aceites flotantes y grasas máximo [mg/l]             | 5  |
| Aceites y grasas emulsificadas máximo [mg/l]         | 10   |
| Color máximo [Escala Pt-Co]                          | 100 (ausencia de colorantes artificiales)  |
| Turbiedad máxima [Escala sílice]                     | 50   |
| Coliformes fecales máximos [/100ml]                  | 1000   |
| Sustancias que produzcan olor o sabor inconvenientes | Ausentes   |

Tabla 103: Requisitos del agua para recreación con contacto directo

| Características                                       | Requisito   |
|---|---|
| Oxígeno disuelto mínimo [mg/l]                        | 5   |
| pH  | 6 a 9   |
| Alcalinidad total mínima [mg/l de CaCO <sub>3</sub> ] | 20  |
| Turbiedad por descarga [Unidades Escala Sílice]       | No debe aumentar el valor natural en más de 30 unidades                                   |
| Temperatura   | En flujos de agua corriente, no debe aumentar el valor natural en más de 3°C              |
| Color   | Ausencia de colorantes artificiales   |
| Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales     | Ausentes  |
| Sólidos sedimentables                                 | No debe exceder el valor natural  |
| Petróleo o cualquier otro hidrocarburo                | No debe haber: detección visual, olor perceptible o cubrimiento de fondo, orilla o ribera |

Tabla 104: Requisitos generales de aguas destinadas a vida acuática

| Tóxico                           | Factor de seguridad |
|----------------------------------|---------------------|
| Pesticidas                       | 1/100 de la LTm96   |
| Metales pesados                  | 1/100 de la LTm97   |
| Cianuros                         | 1/10 de la LTm98    |
| Tóxico no acumulativo            | 1/10 de la LTm99    |
| Tóxico acumulativo y persistente | 1/100 de la LTm100  |
| Detergentes                      | 1/10 de la LTm101   |

Tabla 105: Factores de seguridad para diferentes tóxicos

| Elemento o compuesto químico | Requisito | Unidad        |
|------------------------------|-----------|---------------|
| Cobre                        | =< 2      | mg/l          |
| Zinc                         | =< 3      | mg/l          |
| Cromo total                  | =< 0.05   | mg/l          |
| Fluoruro                     | =< 1.5    | mg/l          |
| Hierro                       | =< 0.3    | mg/l          |
| Manganeso                    | =< 0.1    | mg/l          |
| Magnesio                     | =< 125    | mg/l          |
| Selenio                      | =< 0.01   | mg/l          |
| Arsénico                     | =< 0.01   | mg/l          |
| Cianuro                      | =< 0.05   | mg/l          |
| Nitratos (NO3)               | =< 50     | mg/l          |
| Nitritos (NO2)               | =< 3      | mg/l          |
| Razón nitrato + nitrito      | =< 1      |               |
| Cadmio                       | =< 0.01   | mg/l          |
| Mercurio                     | =< 0.001  | mg/l          |
| Plomo                        | =< 0.05   | mg/l          |
| Tetracloroetano              | =< 40     | µg/l          |
| Benceno                      | =< 10     | µg/l          |
| Tolueno                      | =< 700    | µg/l          |
| Xilenos                      | =< 500    | µg/l          |
| DDT+DDD+DDE                  | =< 2      | µg/l          |
| 2.4 D                        | =< 30     | µg/l          |
| Lindano                      | =< 2      | µg/l          |
| Metoxicloro                  | =< 20     | µg/l          |
| Triclorometano               | =< 0.2    | mg/l          |
| Amoniaco (NH3)               | =< 1.5    | mg/l          |
| Cloruros                     | =< 400    | mg/l          |
| Sulfatos                     | =< 500    | mg/l          |
| pH                           | 6.5 a 8.5 |               |
| Sólidos disueltos            | =< 1500   | mg/l          |
| Color verdadero              | =< 20     | Unidades Pt-C |
| Olor                         | Inodora   |               |
| Sabor                        | Insípida  |               |
| Compuestos fenólicos         | =< 0.002  | mg/l          |
| Monocloramina                | =< 3      | mg/l          |
| Dibromoclorometano           | =< 0.1    | mg/l          |
| Bromodiclorometano           | =< 0.06   | mg/l          |
| Tribromometano               | =< 0.1    | mg/l          |
| Trihalometanos               | =< 1      | (*)           |

Tabla 106: Extracto de la norma chilena de calidad de agua potable NCh409

(\*) Suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo límite máximo

## SUELOS:

Norma lodos NCh2952c y Nch2880 (INN, 2004):

| Zona                             | Elemento (mg/kg) |      |     |     |     |    |    |     |      |
|----------------------------------|------------------|------|-----|-----|-----|----|----|-----|------|
|                                  | As               | Cd   | Cu  | Hg  | Ni  | Pb | Se | Zn  | Cr   |
| <b>Macrozona norte pH&gt;6.5</b> | 20               | 2    | 150 | 1,5 | 112 | 75 | 4  | 175 | n.n. |
| <b>Macrozona norte pH&lt;6.5</b> | 12,5             | 1,25 | 100 | 1   | 50  | 50 | 3  | 120 | n.n. |
| <b>Macrozona sur pH&gt;5</b>     | 10               | 2    | 75  | 1   | 30  | 50 | 4  | 175 | n.n. |

Tabla 107: Concentración máxima permitida de metales pesados totales en suelo agrícola

| Elemento  | Suelos con aptitud frutal y/o forestal | Suelos degradados |
|-----------|--|-------------------|
|           | mg/kg de MS (Materia Seca)             |                   |
| <b>As</b> | 20                                     | 40                |
| <b>Cd</b> | 8                                      | 40                |
| <b>Cu</b> | 1000                                   | 1200              |
| <b>Hg</b> | 10                                     | 20                |
| <b>Ni</b> | 80                                     | 420               |
| <b>Pb</b> | 300                                    | 400               |
| <b>Se</b> | 50                                     | 100               |
| <b>Zn</b> | 2000                                   | 2800              |
| <b>Cr</b> | n.n.                                   | n.n.              |
| <b>Mo</b> | n.n.                                   | n.n.              |

Tabla 108: Contenidos máximos de metales pesados totales permitidos en lodos aplicados a distintos suelos en Chile

| Metal     | Compost                    | Compost de Lodo | Compost orgánico |
|-----------|----------------------------|-----------------|------------------|
|           | mg/kg de MS (Materia Seca) |                 |                  |
| <b>As</b> | 15                         | 40              | 10               |
| <b>Cd</b> | 2                          | 8               | 1                |
| <b>Cu</b> | 100                        | 1000            | 50               |
| <b>Cr</b> | 120                        | 600             | 60               |
| <b>Hg</b> | 1                          | 4               | 1                |
| <b>Ni</b> | 20                         | 80              | 10               |
| <b>Pb</b> | 100                        | 300             | 50               |
| <b>Zn</b> | 200                        | 2000            | 60               |

Tabla 109: Contenido máximo permitido de metales pesados totales en compost

## 7.6 CONVERGENCIA DEL CÁLCULO DEL MONTO POSTCIERRE

Dada la ecuación del cálculo del monto postcierre se tiene que, para evaluar la perpetuidad, es necesario tender el índice “n” al infinito:

$$MPC = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1 + BCU10)^i} \rightarrow MPC = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{A_i}{(1 + BCU10)^i}$$

Ecuación 3: Valor presente neto del MPC cuando los años tienden a infinito

Para analizar que existe convergencia, es posible manipular la ecuación con el propósito de obtener una convergencia en el cálculo del fondo postcierre. Para esto, se asume constante el costo anual de las medidas de postcierre (A) y se manipula la sumatoria aplicando ciertas propiedades, llegando a la siguiente expresión:

$$MPC = A * \left[ \left( \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(1 + BCU10)^i} \right) - 1 \right] = A * \left[ \left( \sum_{i=0}^{\infty} f(i) \right) - 1 \right]$$

Ecuación 4: Simplificación de la ecuación MPC

Dado lo anterior, es evidente que la función  $f(i)$  es una sucesión de términos positivos en la sumatoria y que, además, al calcular su límite con  $i \rightarrow \infty$ ,  $f(i)$  tiende a cero. Por lo tanto, es posible aplicar el criterio de convergencia de D'Alembert para determinar si existe convergencia:

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \left| \frac{f(i+1)}{f(i)} \right| = \lim_{i \rightarrow \infty} \left| \frac{1}{(1 + BCU10)} \right| = \frac{1}{(1 + BCU10)} < 1 \text{ (existe convergencia)}$$

Ecuación 5: Demostración de convergencia del MPC cuando sus años tienden a infinito

En este caso, la convergencia de la serie geométrica viene dada por la siguiente expresión:

$$\sum_{i=0}^{\infty} ar^i = \frac{a}{1-r} \text{ (} a = \text{constante)}$$

Ecuación 6: Fórmula para el cálculo del valor de convergencia

Con el valor de la tasa BCU10 igual a 0.0142 (Fuente: Boletín mensual del Banco Central 06/06/2016), es posible calcular la convergencia:

$$\sum_{i=0}^{\infty} \left( \frac{1}{1 + BCU10} \right)^i = \frac{1}{1 - \frac{1}{1 + BCU10}} = 71.422$$

Ecuación 7: Cálculo de convergencia del MPC a una tasa BCU igual a 0.0142

$$\therefore MPC = A * [71.422 - 1] = 70.422 * A$$

Ecuación 8: Fórmula simplificada obtenida para calcular la convergencia del MPC